



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε τυπική κατοικία στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, με εφαρμογή της μεθόδου των βαθμοημέρων ψύξης και θέρμανσης.**



**Φοιτητής: Τοπαλίδης Πέτρος**  
**A.M. : 51204185**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Κωνσταντίνος Μουστρίης**

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

**Estimation of the energy consumed for heating and cooling purposes in a typical house in the greater Athens area applying cooling and heating degree days method.**



**Student : Peter Topalidis**  
**Registration Number : 51204185**

**Supervisor Professor : Dr. Konstantinos Moustris**

**ATHENS, JUNE 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε τυπική κατοικία στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, με εφαρμογή της μεθόδου των βαθμομέρων ψύξης και θέρμανσης.**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή :

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
<b>1</b>	<b>Μουστρής Κωνσταντίνος</b>	
<b>2</b>	<b>Ζαφειράκης Δημήτριος</b>	
<b>3</b>	<b>Σπυρόπουλος Γιώργος</b>	

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τοπαλίδης Πέτρος, Ιούνιος, 2023

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

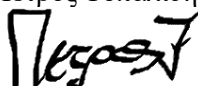
### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Πέτρος Τοπαλίδης του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 51204185 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι :**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο δηλών  
Πέτρος Τοπαλίδης  


## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την καταναλισκόμενη ενέργεια για τη θέρμανση και τη ψύξη μιας τυπικής, νέας μονοκατοικίας για δέκα διαφορετικές περιοχές στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, εφαρμόζοντας τη μέθοδο των βαθμομερών. Η μονοκατοικία αναφέρεται σε ένα κτίριο που βρίσκεται στο στάδιο του σχεδιασμού και όχι ενός νεόδμητου κτιρίου · σε μεμονωμένη ανέγερση που διαθέτει κοινά χαρακτηριστικά για τις δέκα περιοχές μελέτης, και λαμβάνει υπόψιν τις ελάχιστες απαιτήσεις που ορίζονται από τον εθνικό κανονισμό για τα κτίρια.

Σκοπός της μελέτης είναι αρχικά να παρουσιάσει τον απλό και γρήγορο τρόπο υπολογισμού των φορτίων θέρμανσης και ψύξης από τη μέθοδο των βαθμομερών καθώς και να αναλύσει τους παράγοντες που επηρεάζουν το τοπικό κλίμα και συμβάλουν στις διαφορές των υπολογισμένων φορτίων της κάθε περιοχής που μελετάται.

Τα κλιματικά δεδομένα συλλέχθηκαν από εγκατεστημένους μετεωρολογικούς σταθμούς του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και με βάση αυτά επιλέχθηκε η μέθοδος υπολογισμού των βαθμομερών να είναι αυτή που αξιοποιεί τις τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Οι βαθμομέρες θέρμανσης υπολογίστηκαν με θερμοκρασία βάσης τους 18 °C και οι βαθμομέρες ψύξης με τους 26 °C για όλους τους μήνες που υπήρχαν διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα στις δέκα περιοχές. Τέλος από αυτές τις βαθμομέρες υπολογίστηκε η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και οι εκλυόμενοι ρύποι.

Λέξεις κλειδιά : Μέθοδος βαθμομερών, Βαθμομέρες θέρμανσης, Βαθμομέρες ψύξης, Αστική θερμική νησίδα, Εθνικός κανονισμός των κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, Εκλυόμενοι ρύποι.

## Abstract

The present thesis studies the energy consumption for heating and cooling purposes for a typical, new single-family home for ten different areas in the greater Athens area, applying the degree-day method. The single-family home is referred to a building that is in the planning stage and not of one newly built; an isolated construction that has common characteristics for the ten areas of study, and takes into account the minimum requirements that are determined by the national building code.

The purpose of the study is firstly to present the simple and fast way of calculating the heating and cooling loads through the degree-day method, and also to analyse the factors that affect the local climate and their contribution to the calculated loads of every area that is studied.

The climate data has been collected by installed meteorological stations of the National Observatory of Athens and based on that, the method for calculating degree days was chosen to be the one that takes into account the daily mean temperatures. The heating degree days were calculated with base temperature of 18 °C and the cooling degree days of 26 °C for all the months that were available climate data for the ten areas. In conclusion, through the calculated degree days, has been calculated the primary energy consumption and the total emissions.

Keywords : Degree-day method, Heating degree days, Cooling degree days, Urban heat island, National building code (KENAK), Primary energy consumption, CO<sub>2</sub> Emissions.

## Περιεχόμενα

<b>Κατάλογος εικόνων</b> .....	<b>8</b>
<b>Κατάλογος πινάκων</b> .....	<b>10</b>
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή</b> .....	<b>12</b>
1. Εισαγωγή .....	13
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Θεωρητικό πλαίσιο</b> .....	<b>16</b>
2. Θεωρητικό πλαίσιο .....	17
2.1 Αστική θερμική νησίδα - Γενικά εισαγωγικά .....	17
2.1.1 Κλίμακες και είδη αστικής θερμικής νησίδας .....	21
2.1.2 Αίτια σχηματισμού του φαινομένου .....	24
2.1.3 Επιπτώσεις και επεμβάσεις μετριασμού .....	30
2.2. Θεωρία των βαθμοημερών - Γενικά εισαγωγικά .....	32
2.2.1 Η θερμοκρασία βάσης στα κτίρια .....	34
2.2.2 Υπολογισμός βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης .....	38
2.2.2.1 Η ωριαία μέθοδος υπολογισμού .....	39
2.2.2.2 Οι εξισώσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου.....	39
2.2.2.3 Η μέθοδος των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών .....	41
2.2.2.4 Η μέθοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας .....	41
2.2.2.5 Η μέθοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας των Schoenau και Kehrigh ...	41
2.2.2.6 Η μέθοδος του Hitchin .....	42
2.2.2.7 Η μέθοδος των Erbs et al. ....	42
2.2.3 Οι κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα .....	43
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Μεθοδολογία έρευνας</b> .....	<b>45</b>
3. Μεθοδολογία έρευνας .....	46
3.1 Γενικά εισαγωγικά .....	46
3.2 Τα κλιματικά δεδομένα .....	46
3.3 Τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά της μονοκατοικίας .....	51
3.4 Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου των βαθμοημερών και ο υπολογισμός τους.....	51
3.5 Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων .....	52
3.6 Ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων .....	55
3.7 Ο υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	56
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Αποτελέσματα και σχολιασμός</b> .....	<b>58</b>
4. Αποτελέσματα και σχολιασμός .....	59
4.1 Περιεχόμενα κεφαλαίου και αναμενόμενα αποτελέσματα .....	59
4.2 Υπολογισμένες βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης .....	59
4.3 Υπολογισμένα φορτία για θέρμανση και ψύξη .....	64
4.4 Τελικά αποτελέσματα .....	67
4.5 Ανάλυση και σχολιασμός .....	74
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα</b> .....	<b>77</b>
5. Συμπεράσματα .....	78
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>81</b>

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1. : Το προφίλ της αστικής θερμικής νησίδας για διαφορετικές περιοχές	17
Εικόνα 2.2. : Οι ενεργειακές αλληλεπιδράσεις και τα ενεργειακά ισοζύγια για την πιο απλή περίπτωση ενός φυσικού τοπίου και μιας αστικής περιοχής	19
Εικόνα 2.3. : Οι τρεις κλίμακες που δύναται να μελετηθεί το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας	21
Εικόνα 2.4. : Τα τέσσερα είδη της αστικής θερμικής νησίδας	22
Εικόνα 2.5. : Τα δύο είδη σχηματισμού του οριακού στρώματος	23
Εικόνα 2.6. : Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μιας τυπικής καλοκαιρινής μέρας	26
Εικόνα 2.7. : Το φάσμα της λευκαύγειας και ορισμένες ενδεικτικές τιμές	26
Εικόνα 2.8. : Ο επηρεασμός της διάταξης των κτιρίων στη ροή του αέρα	27
Εικόνα 2.9. : Ο τρόπος ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος στις αστικές χαράδρες	28
Εικόνα 2.10. : Οι διεργασίες της εξατμισοδιαπνοής	29
Εικόνα 2.11. : Το σύνολο των διαφορετικών διαδικασιών και παραμέτρων που συμβάλλουν στη δημιουργία της αστικής θερμικής νησίδας	30
Εικόνα 2.12. : Ο τρόπος σχηματισμού του τροποσφαιρικού όζοντος	31
Εικόνα 2.13. : Η θερμοκρασία βάσης στα κτίρια που καλύπτει τη ζώνη άνεσης και η ενεργειακή ισορροπία ενός κτιρίου μαζί με τις τυπικές πηγές για τα εσωτερικά κέρδη	35
Εικόνα 2.14. : Το ψυκτικό φορτίο ως συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας και η ανάδειξη της ανακρίβειας στη χρήση σταθερής θερμοκρασίας βάσης	36
Εικόνα 2.15. : Παραδείγματα της μεθόδου της ενεργειακής υπογραφής για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας βάσης	37
Εικόνα 2.16. : Μέθοδος γραμμικής επίδοσης : διαγράμματα μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας και βαθμομερών θέρμανσης με ανοδική καμπύλη και καθοδική καμπύλη	38
Εικόνα 2.17. : Μέθοδος γραμμικής επίδοσης : διάγραμμα μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας και βαθμομερών θέρμανσης όπου η μεταβλητή $a$ τείνει στο μηδέν	38
Εικόνα 2.18. : Οι τέσσερις διαφορετικές σχέσεις της θερμοκρασίας βάσης με τις μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες τιμές	40
Εικόνα 2.19. : Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας	44
Εικόνα 3.1. : Οι διαθέσιμες ενότητες του ιστοτόπου Meteo.gr και ορισμένοι διαθέσιμοι σύνδεσμοι για τη πλοήγηση σε ορισμένες υπηρεσίες	47
Εικόνα 3.2. : Το σύνολο των διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών στην Αθήνα	47
Εικόνα 3.3. : Οι δέκα επιλεγμένες περιοχές προς μελέτη της κατανάλωσης ενέργειας	49
Εικόνα 3.4 : Η μορφή των μηνιαίων δεδομένων που παρέχονται από το meteosearch για συγκεκριμένο μήνα και έτος	50
Εικόνα 4.1. : Γράφημα της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών	69
Εικόνα 4.2. : Γράφημα της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη	



ψύξη, των δέκα περιοχών .....	69
Εικόνα 4.3. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών .....	70
Εικόνα 4.4. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη ψύξη, των δέκα περιοχών .....	70
Εικόνα 4.5. : Γράφημα των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών .....	71
Εικόνα 4.6. : Γράφημα των εκλυόμενων ρύπων για τη ψύξη, των δέκα περιοχών ...	71
Εικόνα 4.7. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών .....	72
Εικόνα 4.8. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής των εκλυόμενων ρύπων για τη ψύξη, των δέκα περιοχών.....	72
Εικόνα 4.9. : Γράφημα της ποσοστιαίας αναλογίας των ποσοστών της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας για τη θέρμανση και τη ψύξη των δέκα περιοχών.....	73
Εικόνα 4.10. : Γράφημα της ποσοστιαίας αναλογίας των ποσοστών των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση και την ψύξη των δέκα περιοχών.....	73

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1. : Οι εξισώσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης .....	40
Πίνακας 2.2. : Οι εξισώσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου για τον υπολογισμό των βαθμομερών ψύξης .....	40
Πίνακας 2.3. : Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη .....	43
Πίνακας 3.1. : Οι επιλεγμένοι σταθμοί που θα συλλεχθούν τα δεδομένα και σχετικές πληροφορίες για αυτούς .....	48
Πίνακας 3.2. : Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου .....	53
Πίνακας 3.3. : Τμήμα του πίνακα 2.3. της TOTEE 20701-1/2017, για τον απαιτούμενο νωπό αέρα ανά χρήση κτιρίου .....	54
Πίνακας 3.4. : Εκτιμώμενα BTU για τον κάθε χώρο του εξεταζόμενου κτιρίου .....	55
Πίνακας 3.5. : Συντελεστές για τη μετατροπή σε πρωτογενή ενέργεια και τις εκπομπές CO <sub>2</sub> .....	56
Πίνακας 4.1. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Αθήνα κέντρο' .....	60
Πίνακας 4.2. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Αμπελόκηποι' .....	60
Πίνακας 4.3. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Άλιμος' .....	61
Πίνακας 4.4. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Αγ. Παρασκευή' .....	61
Πίνακας 4.5. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Μαρούσι' .....	61
Πίνακας 4.6. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Ανω Λιόσια' .....	62
Πίνακας 4.7. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Πέραμα' .....	62
Πίνακας 4.8. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Πεντέλη' .....	62
Πίνακας 4.9. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Ραφήνα' .....	62
Πίνακας 4.10.: Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Λαύριο' .....	63
Πίνακας 4.11. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Αθήνα κέντρο' .....	64
Πίνακας 4.12. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Αμπελόκηποι' .....	64
Πίνακας 4.13. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Άλιμος' .....	65
Πίνακας 4.14. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Αγ. Παρασκευή' .....	65

Πίνακας 4.15. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Μαρούσι’.....	65
Πίνακας 4.16. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Άνω Λιόσια’.....	66
Πίνακας 4.17. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Πέραμα’.....	66
Πίνακας 4.18. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Πεντέλη’.....	66
Πίνακας 4.19. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Ραφήνα’.....	67
Πίνακας 4.20. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Λαύριο’.....	67
Πίνακας 4.21. : Οι μέσες ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης και οι αντίστοιχες καταναλώσεις ενέργειας για τις δέκα διαφορετικές περιοχές της μελέτης .....	68
Πίνακας 4.22. : Οι μέσες ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και ψύξη και οι εκκλύμενοι ρύποι αυτών.....	68
Πίνακας 4.23. : Τα ποσοστά της πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση και τη ψύξη και τα ποσοστά των εκκλύμενων ρύπων για τη θέρμανση και τη ψύξη.....	68

---

# **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

## **Εισαγωγή**

---

# 1. Εισαγωγή

Η Βιομηχανική Επανάσταση στα μέσα του 19ου αιώνα σηματοδότησε ένα σημείο καμπής στην ιστορία καθώς συνέβαλε σε μια σειρά ραγδαίων μεταβολών σε τεχνικό, οικονομικό, κοινωνικό και πολιτισμικό επίπεδο. Εκτός όμως από τις εμφανείς μεταβολές υπήρχε και κάτι που αναπτυσσόταν υποδόρια· που δεν θα αργούσε να κάνει φανερή τη παρουσία του, επηρεάζοντας σημαντικά τη σχέση μας με τα πράγματα και απαιτώντας ταχείες και συλλογικές ενέργειες για την σοβαρή αντιμετώπισή του. Ο λόγος για τη κλιματική αλλαγή που διαμορφώνει ένα περιβάλλον απειλητικό για τη ζωή και τον άνθρωπο. Ο μετριασμός του ρυθμού αλλαγής για τη σταθεροποίηση του κλίματος αποτελεί ένα από τα πιο μείζονα ζητήματα του 21ου αιώνα.

Συνήθως αναφερόμενοι στην κλιματική αλλαγή εννοούμε την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και βρισκόμαστε πλέον σε μια εποχή όπου ως ανθρωπότητα είμαστε σε θέση να αποφανθούμε ότι για τις τωρινές, ραγδαίες αλλαγές στο κλίμα τα αίτια εκτός από φυσικά είναι κυρίως ανθρωπογενή [1]. Ακριβέστερα η υπερθέρμανση του πλανήτη προκαλείται από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases ή GHG) με βασικότερα αέρια το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) που καταλαμβάνουν περίπου το 98% των εκπομπών [2]. Η συμβολή του διοξειδίου του άνθρακα στις παγκόσμιες εκπομπές φτάνει το 70% [2], ποσοστό που προκύπτει, κατ' εξοχήν, από την συνεχή καύση ορυκτών καυσίμων για την ικανοποίηση των ενεργειακών μας αναγκών. Γενικά μέχρι το 1980 υπήρχε μια σχετική αβεβαιότητα γύρω από το ζήτημα ωστόσο όσο λάμβανε περισσότερη έκθεση ξεκαθάρριζε ολοένα και δριμύτερα η ανάγκη για διεθνή αναγνώριση και συνεργασία απέναντί του.

Η πρώτη διεθνής δράση που έθετε μελλοντικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών έλαβε χώρα στις 11 Δεκεμβρίου του 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας. Εκεί συμφωνήθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο και τέθηκε σε εφαρμογή στις 16 Φεβρουαρίου του 2005 [3]. Σε αυτό ορίστηκαν τα 6 αέρια του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη<sup>(\*)</sup>, καθώς και μια πρώτη δεσμευτική περίοδος από το 2008 έως το 2012 όπου οι ανεπτυγμένες χώρες όφειλαν να μειώσουν τις συνολικές τους εκπομπές κατά τουλάχιστον 5% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 [2][3]. Στις 8 Δεκεμβρίου του 2012 στη Ντόχα του Κατάρ συμφωνήθηκε μια δεύτερη δεσμευτική περίοδος από το 2013 έως το 2020 αυτή τη φορά με απαίτηση για μείωση κατά τουλάχιστον 18% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 [2].

Μια ακόμα σημαντική αναφορά διεθνής συμφωνίας, που δεν θα μπορούσε να λείπει, είναι αυτή που λήφθηκε στις 12 Δεκεμβρίου του 2015 και δεν είναι άλλη από τη Συμφωνία του Παρισιού· μια νομικά δεσμευτική συνθήκη για την κλιματική αλλαγή. Η ίδια η συμφωνία στοχεύει στην μακροπρόθεσμη σταθεροποίηση της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 2 βαθμών Κελσίου -και στην καλύτερη περίπτωση 1.5°C- σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Προκειμένου να ικανοποιηθεί αυτός ο στόχος θα πρέπει σε παγκόσμιο επίπεδο οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα να μειωθούν κατά 45% έως το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα του 2010 και μέχρι το 2050 να έχουμε μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τέλος τα κράτη δεσμεύονται να παρουσιάζουν κάθε 5 χρόνια τα εθνικά τους σχέδια δράσης για το κλίμα θέτοντας συνεχώς όλο και πιο φιλόδοξους στόχους [4].

---

\*1. 1) Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), 2) Μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), 3) Υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ), 4) Υδροφθοράνθρακες (HFC), 5) Πλήρως φθορισμένοι υδρογονάνθρακες ή Υπερφθοράνθρακες (PFC), 6) Εξαφθοριούχο θείο ( $\text{SF}_6$ ) [3].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, στο σύνολό της, αρχικά όρισε ως στόχο για την πρώτη περίοδο του Κιότο τη μείωση των εκπομπών στο 8% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 και αργότερα, την άνοξη του 2007, ύστερα από συνέλευση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, τέθηκαν στόχοι για 20% μείωση ως το 2020 [5] που ίσχυαν και για τη δεύτερη δεσμευτική περίοδο του Κιότο. Σε πιο μακρόπνοα σχέδια, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τη Συμφωνία του Παρισιού, αποφασίστηκε μείωση τουλάχιστον 40% για το 2030 και για το 2050 να είναι κλιματικά ουδέτερη. Ωστόσο, ήδη από το 2019 οι στόχοι του 20% είχαν επιτευχθεί [6,7]. Αυτό ώθησε την ΕΕ να επαναπροσδιορίσει τον στόχο για το 2030 και έτσι τον Δεκέμβριο του 2020 το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο έθεσε έναν πιο φιλόδοξο στόχο για μείωση εκπομπών τουλάχιστον 55% [6] συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990 και στις 14 Ιουλίου του 2021 να παρουσιάσει ένα νομικό πακέτο για το κλίμα γνωστό ως «Fit for 55» το οποίο περιλαμβάνει μια σειρά προτάσεων που αποβλέπουν στην επικαιροποίηση της υφιστάμενης νομοθεσίας και την εξασφάλιση μιας ομαλής πράσινης μετάβασης έως το 2030 και ύστερα [7,8].

Προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι αρχικοί στόχοι χρειάστηκε να παρθούν μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης που θα μείωναν την κατανάλωση ενέργειας. Οι αναγνωρισμένοι από την ΕΕ τομείς με τις σημαντικότερες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας είναι: ο κτιριακός τομέας, ο τομέας της βιομηχανίας και ο τομέας των μεταφορών [9]. Από αυτούς ιδιαίτερο ενδιαφέρον για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης παρουσιάζει ο τομέας των κτιρίων που συμβάλλει σε περισσότερο από 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας [10].

Η πρώτη οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (Energy Performance of Building Directive- EPBD), της ΕΕ προς τα κράτη μέλη της, ήταν η οδηγία 2002/91/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 που τέθηκε σε ισχύ στις 4 Ιανουαρίου του 2003 [10]. Σε αυτή ορίζονταν διατάξεις που αφορούσαν: τη θέσπιση μεθοδολογίας υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, την εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση νέων αλλά και υφιστάμενων κτιρίων, την ενεργειακή πιστοποίηση των κτιρίων και τέλος την επιθεώρηση λεβήτων και εγκαταστάσεων κλιματισμού [10]. Τα κράτη μέλη -και για να μεταφερθούμε σε εγχώριο επίπεδο- και η Ελλάδα μαζί όφειλαν να συμμορφωθούν με την οδηγία και να εναρμονίσουν την εθνική νομοθεσία τους μέχρι τις 4/1/2006 δηλαδή τρία χρόνια μετά την έναρξη ισχύος της [10]. Στην Ελλάδα αυτό επιτεύχθηκε στις 29 Μαΐου του 2008 με τον νόμο 3661/2008 [11]. Βάση νόμου υπήρχε πλέον η υποχρέωση για έκδοση «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτηρίων» (Κ.Εν.Α.Κ.) ο οποίος θα ενσωμάτωνε τις διατάξεις της ευρωπαϊκής οδηγίας. Ο κανονισμός αυτός εκδόθηκε για πρώτη φορά το 2010 (ΦΕΚ 407/Β' - 9.4.2010) [12] ύστερα από τρία χρόνια (από το 2007) εξαντλητικών δοκιμών σε μοντέλα επιστημονικής μεθοδολογίας και συνεχών αλλαγών στις επί μέρους διατάξεις [13]. Εκείνη την περίοδο όμως η οδηγία 2002/91/EC αναθεωρήθηκε από την 2010/31/EU που απαιτούσε νέες προσαρμογές στις εθνικές νομοθεσίες. Η εναρμόνιση με την νέα οδηγία έγινε με την έκδοση του νόμου 4122/2013 [14] και το 2017 δημοσιεύθηκε ο νέος Κ.Εν.Α.Κ. που έθετε αυστηρότερα όρια για την ενεργειακή απόδοση των νέων και υφιστάμενων κτιρίων (ΦΕΚ 2367/Β' - 12.7.2017) [15] μαζί με τις εξίσου αναθεωρημένες Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.) που τον υποστηρίζουν και εξασφαλίζουν την αποτελεσματική του εφαρμογή [13]. Ο Κ.Εν.Α.Κ του 2017 αποτελεί τον εθνικό κανονισμό για τα κτίρια που εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα.

Υπάρχουν όμως ορισμένες ενδείξεις πως αυτό μπορεί να αλλάξει σύντομα, όπως μια πρόσφατη προκήρυξη του ΥΠΕΝ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας) στις 6 Απριλίου του 2022 με τίτλο «Καθορισμός των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και δομικών στοιχείων & κατάρτιση εθνικού σχεδίου αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας» [16] που ίσως φανερώνει πως στο κοντινό μέλλον πρόκειται να δούμε μια αναθεώρηση του Κ.Εν.Α.Κ.- σε ανταπόκριση με τους νέους φιλόδοξους στόχους του 55% της ΕΕ θέτοντας αυστηρότερα όρια- όπως έγινε και το 2017 μέσω του νόμου 4122/2013.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί πως η τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ,ψύξη και κλιματισμό των κτιρίων επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Η παράμετρος που διακρίνεται περισσότερο για τη στενή της σχέση με την χρήση ενέργειας είναι η θερμοκρασία . Όπως είναι αναμενόμενο η αύξηση της θερμοκρασίας από την κλιματική αλλαγή αποφέρει ηπιότερους χειμώνες και καλοκαίρια με μεγαλύτερη ζέση, με τα τελευταία να απαιτούν όλο και περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια για κλιματισμό προκειμένου να επιτευχθεί η θερμική άνεση του χώρου [17-19]. Στις ίδιες βάσεις, κάπως πιο έμμεσα, υπάρχει ένας ακόμα παράγοντας - εξίσου ανθρωπογενής- που αναδύεται από τάση του πληθυσμού να συγκεντρώνεται στις αστικές περιοχές (Urban) έναντι των αγροτικών (Rural) · ο λόγος για την αστικοποίηση. Ο αστικός πληθυσμός ξεκίνησε να αναπτύσσεται ραγδαία από το 1950 [20] και πάνω σ' αυτό μπορούν να καταλογιστούν αρκετά οφέλη αλλά και ορισμένες επιπτώσεις. Από το σύνολο των επιπτώσεων μας αφορά μια περιβαλλοντική και συγκεκριμένα το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Urban Heat Island – UHI). Το φαινόμενο αυτό περιγράφει πως έχουμε μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο κέντρο των πυκνοκατοικημένων αστικών περιοχών συγκριτικά με τα προάστια (suburban) και τις αγροτικές περιοχές και είναι ένα θέμα που έχει μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία με πρώτες αναφορές στις αρχές του 19ου αιώνα [19, 21-32]. Αυτή η αύξηση στη θερμοκρασία ευνοεί τις πόλεις τον χειμώνα ιδιαίτερα τις πόλεις που βρίσκονται σε ψυχρά κλίματα ωστόσο οι επιπτώσεις υπερβαίνουν κατά πολύ τα οφέλη διότι κατά τους θερινούς μήνες έχουμε μεγαλύτερες θερμοκρασίες και άρα περισσότερη κατανάλωση ενέργειας για ψύξη ,αλλοίωση της ποιότητας του αέρα και τέλος καύσωνες επιζήμιους για την υγεία [22,24].

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη του επηρεασμού της κατανάλωσης ενέργειας, για θέρμανση και ψύξη ,για μια νέα μονοκατοικία με κοινά χαρακτηριστικά για δέκα διαφορετικές περιοχές στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών . Η εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου των βαθμοημερών, που αποτελεί έναν γρήγορο και απλό τρόπο υπολογισμού των φορτίων λαμβάνοντας υπόψιν τη εξωτερική θερμοκρασία [25]. Οι τιμές της θερμοκρασίας πάρθηκαν από εγκατεστημένους μετεωρολογικούς σταθμούς του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και σε ό,τι αφορά τους υπολογισμούς για τις τιμές των απαραίτητων παραμέτρων οδηγός υπήρξε ο Κ.Εν.Α.Κ. και οι Τεχνικές Οδηγίες του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφεται το θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας δηλαδή συγκεντρώνονται οι πληροφορίες από τη βιβλιογραφία για την αστική θερμική νησίδα και τη θεωρία των βαθμοημερών. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία της εργασίας όπου παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα διαδοχικά βήματα που πάρθηκαν για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ακριβέστερα, γίνεται αναφορά στον τρόπο συλλογής των κλιματολογικών δεδομένων που μας αφορούν, την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου βαθμοημερών που βρίσκεται σε εξάρτηση με αυτά, την επιλογή των - προσαρμοσμένων στις βαθμοημέρες - εξισώσεων για τον υπολογισμό των φορτίων για θέρμανση και ψύξη και τέλος την αναλυτική τεκμηρίωση στην επιλογή των επί μέρους παραμέτρων που απαρτίζουν τις εξισώσεις. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας , δηλαδή οι υπολογισμένες βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης , τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία για την κάθε περιοχή και τέλος η υπολογισμένη απ' τα φορτία πρωτογενής ενέργεια καθώς και το ποσοστό εκπομπών CO<sub>2</sub> . Έπειτα ακολουθούν τα συμπεράσματα, όπου επαναλαμβάνονται τα βασικά σημεία της εργασίας σε μια σύντομη περίληψη και στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η εργασία.

---

# **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**

## **Θεωρητικό Πλαίσιο**

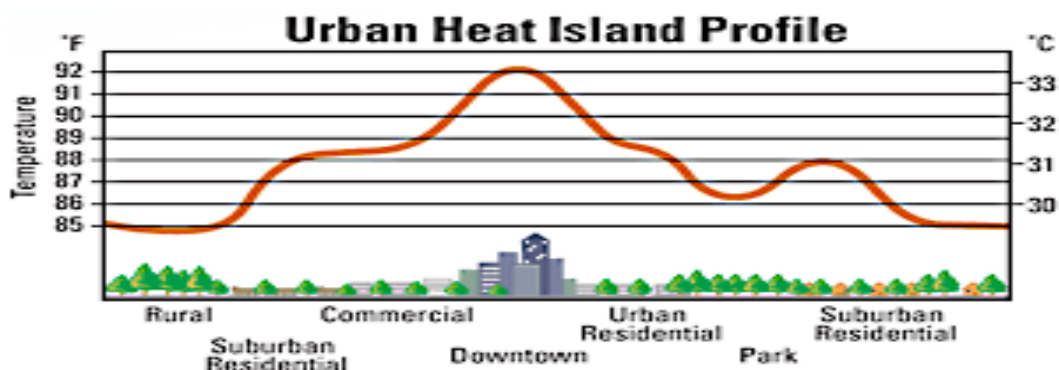
---



## 2. Θεωρητικό πλαίσιο

### 2.1 Αστική Θερμική νησίδα - Γενικά εισαγωγικά

Η αναζήτηση για καλύτερες ευκαιρίες και διευρυμένη πρόσβαση σε υπηρεσίες για ένα γενικότερα βελτιωμένο βιοτικό επίπεδο αποτέλεσε αίτιο για την μετακίνηση και τη συγκέντρωση των ανθρώπων στις πόλεις . Αυτή η τελευταία συμπεριφορά περιγράφει την αστικοποίηση, δηλαδή την τάση του πληθυσμού να συγκεντρώνεται στις αστικές περιοχές έναντι των λιγότερο ανεπτυγμένων αγροτικών και πρόκειται για ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Σύμφωνα με μια αναφορά του World Urbanization Prospects του 2018, ο αστικός πληθυσμός άρχισε να αναπτύσσεται ραγδαία από το 1950 και από το 30% που αναλογεί σε 751 εκατομμύρια το ποσοστό ανήλθε το 2018 στο 55% με πλέον 4.2 δισεκατομμύρια . Επίσης , στην ίδια αναφορά, εκτιμάται πως μέχρι το 2050 το ποσοστό πληθυσμού που θα ζει στα αστικά κέντρα θα φτάσει το 68% [20]. Στην αστικοποίηση μπορούν να αποδοθούν αρκετά οφέλη ωστόσο αυτή η ταχεία και απροσχεδίαστη αστική ανάπτυξη - μεταξύ άλλων - προϋπέθετε τη διαμόρφωση των φυσικών περιοχών μέσω στοιχείων που χαρακτηρίζουν τις πόλεις . Αυτή η διαμόρφωση - από το φυσικό σε ένα τοπίο που υποστηρίζει τις ανθρώπινες ανάγκες και συγκεντρώνει τις δραστηριότητές τους, μαζί με τη μειωμένη βλάστηση από την αντικατάσταση των πράσινων χώρων με αδιαπέραστες επιφάνειες (όπως τα κτίρια ,οι δρόμοι , τα πεζοδρόμια ,οι χώροι στάθμευσης κ.λπ.) - επηρεάζει σημαντικά τις γεωμετρικές, θερμικές, ακτινοβολικές (radiative) ,αεροδυναμικές και υγρασίας (moisture) ιδιότητες(\*) μιας περιοχής [21,24] . Αυτές οι αλλαγές στις ιδιότητες , που πλέον χαρακτηρίζουν το αστικό τοπίο, με τη σειρά τους, επιφέρουν ορισμένες περιβαλλοντικές συνέπειες. Η επίπτωση που είναι περισσότερο μελετημένη και που χαρακτηρίζεται ως εμβληματική του αστικού κλίματος αφορά την ατμοσφαιρική τροποποίηση στις πόλεις και είναι η αστική θερμική νησίδα [24]. Πρόκειται για ένα φαινόμενο άρρηκτα συνδεδεμένο με την αστικοποίηση που εμφανίζεται αδιακρίτως, σε κάθε πόλη ανεξαρτήτως μεγέθους, σε κάθε κλιματική ζώνη και περιγράφει πως οι πόλεις αναπτύσσουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες ιδιαίτερα στο κέντρο τους σε σύγκριση με τα προάστια και τις αγροτικές περιοχές (Εικόνα 2.1.) [19,21-32].



Εικόνα 2.1. : Το προφίλ της αστικής θερμικής νησίδας για διαφορετικές περιοχές . Η συμπεριφορά της θερμοκρασίας μεταβάλλεται ανάλογα με τη μορφολογία της περιοχής και παρουσιάζει μέγιστη αύξηση στο κέντρο των πόλεων. Πηγή :Taslim et al. , 2015 [32] .

\*2. Η εισαγωγή των παραπάνω ιδιοτήτων προσφέρει τη δυνατότητα για εκτενή ανάλυση περί αυτών, ωστόσο μια σχετική ανάλυση σε αυτό το σημείο -αν και θα μπορούσε να δικαιολογηθεί / αγνοηθεί στα πλαίσια μιας επεξήγησης - θα λειτουργούσε αρνητικά , επειδή θα παρέκκλινε αρκετά από το σκοπό ενός εισαγωγικού υποκεφαλαίου να δώσει μια πρώτη εικόνα και θα προσέδιδε έναν αχρείαστο βαθμό πολυπλοκότητας. Για αυτό το λόγο προτιμάται μια μέση λύση μέσα από αυτή τη σημείωση που εξυπηρετεί το ρόλο μιας γλαφυρής αναφοράς όσον εσωκλείονται σε αυτές τις πέντε ιδιότητες. Αναφερόμαστε δηλαδή για τις : α) Γεωμετρικές : στον προσανατολισμό και την πρόσβαση στον ήλιο και τον ουρανό [βαθμός συννεφιάς και συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου (Sky view factor)], β) Οι θερμικές αφορούν: τη θερμική αγωγιμότητα των υλικών (k) και τη θερμοχωρητικότητά τους (C) , γ) Οι ακτινοβολικές : το μέτρο ανακλαστικότητας η λευκαύγεια ή albedo (α) και την εκπομπή ή αλλιώς Emissivity (ε) , δ) Οι αεροδυναμικές : στο μήκος τραχύτητας (Roughness Length) και στη προστασία απ' τον άνεμο, και τέλος για την υγρασία ε) την διαθεσιμότητα επιφανειών εδάφους (Soil) και υδάτινων επιφανειών για εξάτμιση. Πηγή: Oke, 2017 [21].

Η αστική θερμική νησίδα είναι αποτέλεσμα θετικού ενεργειακού ισοζυγίου (Energy Balance) , δηλαδή μια ενεργειακή ανισορροπία μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας που εμφανίζεται εντονότερη στις αστικές περιοχές [19,27,29,30]. Όλες οι επιφάνειες τόσο του φυσικού όσο και του αστικού συστήματος απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Μέσω της απορρόφησης αυξάνεται η θερμοκρασία των επιφανειών και οι θερμές αυτές επιφάνειες εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία<sup>(\*)</sup> που θερμαίνει τον κοντινό αέρα [21,26]. Όταν το ποσό της απορροφούμενης ακτινοβολίας είναι ίδιο με το ποσό που εκπέμπεται τότε θεωρούμε πως επικρατεί ισορροπία στο υπό μελέτη σύστημα και εξαιτίας αυτής της ισορροπίας η θερμοκρασία της περιοχής μένει σχεδόν σταθερή [27,29]. Αυτό δύναται να γραφτεί με τη μορφή εξίσωσης όπου η ισορροπία των ροών ενέργειας επιτυγχάνεται όταν τα ενεργειακά κέρδη (Energy Gains) είναι ίσα με τις ενεργειακές απώλειες (Energy Losses) και την αποθηκευμένη ενέργεια (Energy Storage) [30].

Ενεργειακά Κέρδη = Ενεργειακές Απώλειες + Αποθηκευμένη Ενέργεια

Αυτή η εξίσωση περιγράφει με απλό τρόπο το ενεργειακό ισοζύγιο των ροών ενέργειας και τη κατάσταση ισορροπίας τους, εξαιτίας όμως των διαφορών μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών, υπάρχουν ορισμένες αλλαγές στα επί μέρους τμήματα της εξίσωσης με αποτέλεσμα να έχουμε έτσι δύο διαφορετικά ισοζύγια, ένα για το κάθε σύστημα (Εικόνα 2.2.) . Για τη περίπτωση των αγροτικών περιοχών, βάζοντας τις ροές ενέργειας στην εξίσωση, το ενεργειακό ισοζύγιο έχει ως εξής :

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G \quad W/m^2 \quad (2.1.1)$$

Όπου για τα ενεργειακά κέρδη έχουμε την καθαρή ροή ακτινοβολίας  $Q^*$  (Net all-wave radiation flux) και για τις ενεργειακές απώλειες και την αποθηκευμένη ενέργεια έχουμε τη ροή αισθητής θερμότητας  $Q_H$  (Sensible heat flux density), τη ροή λανθάνουσας θερμότητας  $Q_E$  (Latent heat flux density) και τη ροή θερμότητας του εδάφους  $Q_G$  (Ground heat flux density).

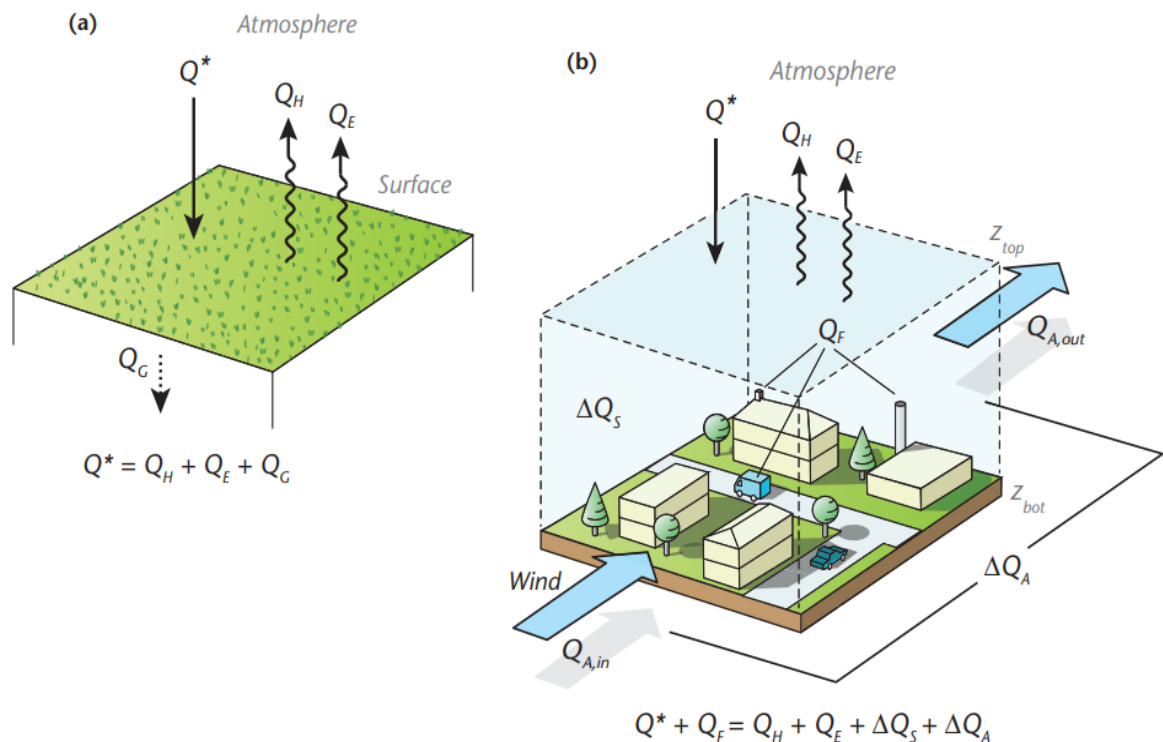
Από την άλλη πλευρά , για τη περίπτωση των πόλεων , οι εμφανείς διαφορές από τα φυσικά τοπία προκαλούν αλλαγές στις ενεργειακές αλληλεπιδράσεις με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορές στα μεγέθη αλλά και νέους επιπρόσθετους όρους που ενσωματώνονται στο ενεργειακό ισοζύγιο . Με αυτά δεδομένα η εξίσωση του ισοζυγίου διαμορφώνεται ως εξής :

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + Q_S + Q_A \quad W/m^2 \quad (2.1.2)$$

Σε αυτή τη περίπτωση για τα ενεργειακά κέρδη μαζί με την καθαρή ροή ακτινοβολίας προστίθεται η ανθρωπογενής θερμότητα  $Q_F$  (Anthropogenic heat flux density ) που θεωρείται αποκλειστική στις πόλεις και δεν συναντάται σε άλλα συστήματα , αλλά και για το υπόλοιπο τμήμα της εξίσωσης έχουμε προσθήκες , όπου , οι νέοι όροι είναι η αποθηκευμένη ενέργεια  $Q_S$  (Stored energy) και τέλος η ενέργεια που μεταφέρεται προς ή από το σύστημα μέσω οριζόντιας μεταφοράς του αέρα  $Q_A$  [21,24,30].

Έχοντας πλέον καλύτερη εικόνα για τα δύο ισοζύγια χρειάζεται να επανέλθουμε στην έννοια της ενεργειακής ανισορροπίας που αναφέρθηκε αμυδρά προηγουμένως . Ανάμεσα στα δύο ισοζύγια, όλα εκείνα τα στοιχεία που διαφοροποιούν την εξίσωση του ισοζυγίου της πόλης- δηλαδή οι επιπρόσθετες παράμετροι που συναντάμε στις αστικές περιοχές καθώς και οι αλλαγές στους επί μέρους συντελεστές της εξίσωσης - προκαλούν θετικό ενεργειακό ισοζύγιο. Αυτό στην ουσία περιγράφει πως έχουμε περισσότερα ενεργειακά κέρδη και λιγότερες ενεργειακές απώλειες στο σύστημα με αποτέλεσμα να προκαλείται ανισορροπία. Όταν σε μια περιοχή επικρατεί θετικό ισοζύγιο απαιτούνται μεγαλύτερες θερμοκρασίες για την επίτευξη ισορροπίας [26] και ακριβώς επειδή το θετικό ισοζύγιο είναι εντονότερο στο κέντρο των πόλεων και ασθενέστερο στα εξώτερα απ' αυτό μέρη, αναπτύσσονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο κέντρο της πόλης συγκριτικά με τα προάστια και τις αγροτικές περιοχές.

\*3. Η ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (K) χρησιμοποιείται για λόγους ευκολίας και αναφέρεται στη ακτινοβολία από τον ήλιο που μπορεί να ονομαστεί και αλλιώς ως Ηλιακή ακτινοβολία (Solar radiation) . Η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (L) αφορά την ακτινοβολία που εκπέμπεται από το σύστημα γης-ατμόσφαιρας (Earth atmosphere system) και δύναται να συναντηθεί με ονομασίες όπως χερσαία ακτινοβολία (terrestrial radiation) ή και ως θερμική υπέρυθη ακτινοβολία (thermal infrared radiation) [21] . Η ουσία είναι πως μπορεί να χρησιμοποιούνται διάφορες ονομασίες είτε στο κείμενο είτε στη βιβλιογραφία όμως όλες περιγράφουν κάτι συγκεκριμένο.



Εικόνα 2.2. : Οι ενεργειακές αλληλεπιδράσεις και τα δύο ενεργειακά ισοζύγια για την πιο απλή περίπτωση φυσικού τοπίου (αριστερά) και για τις αστικές περιοχές (δεξιά) . Πηγή : Oke, 2017 [21] .

Το θετικό ισοζύγιο μας δείχνει που οφείλονται οι διαφορές στις θερμοκρασίες ανάμεσα στις δύο περιοχές αλλά και γιατί είναι αυξημένες στις πόλεις, υπάρχει ωστόσο ένας χρήσιμος δείκτης που χρησιμοποιείται για συγκρίσεις καθώς συμπεριλαμβάνει τα διαφορετικά μεγέθη του θετικού ισοζυγίου. Αυτός ο δείκτης είναι η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας (Urban heat island intensity – UHI). Η ένταση είναι ένας τρόπος ποσοτικοποίησης του φαινομένου και πρόκειται για τη μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας των αγροτικών περιοχών και αυτή της αστικής [21,26,27 29-31].

$$UHI = (T_{\text{urban}} - T_{\text{rural}})_{\text{max}} \quad (2.1.3)$$

Η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας επηρεάζεται από μια σωρεία παραγόντων που είναι : η εποχή ,η ώρα της ημέρας ,η γεωμετρία η μορφολογία και το μέγεθος της πόλης, το βιομηχανικό επίπεδο, ο πληθυσμός ,το κλίμα της περιοχής ( το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος , το υψόμετρο και η απόσταση από τη θάλασσα) και τέλος τις μετεωρολογικές συνθήκες (ταχύτητα του ανέμου, βαθμός συννεφιάς και θερμοβαθμίδα) [26,27,31]. Μέσω της έντασης μπορούμε να κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ περιοχών εξετάζοντας πως ποικίλει η θερμοκρασία αλλά και να σχηματίσουμε μια εικόνα για το που οφείλονται αυτές οι διαφορές · για παράδειγμα σε πόλεις με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα και αυξημένες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αναμένεται η ένταση να είναι στο μέγιστο τη μέρα [31] . Μέσα από τη βιβλιογραφία , συγκρίνοντας τις μελέτες για διαφορετικές πόλεις , προκύπτει πως η μέγιστη ένταση διαφέρει ως προς την εποχή και τη στιγμή εμφάνισης . Αυτό σημαίνει πως ορισμένες πόλεις αντιμετωπίζουν μέγιστη ένταση το καλοκαίρι και άλλες το χειμώνα και ακόμα επίσης, παρόλο που η θερμική νησίδα χαρακτηρίζεται ως νυχτερινό φαινόμενο (δηλαδή η θερμοκρασιακή διαφορά είναι μεγαλύτερη το βράδυ)[26,29,30,32] ,υπάρχουν περιπτώσεις όπου έχουμε μεγαλύτερη ένταση μέσα στη μέρα [31]. Ένα καλό παράδειγμα πάνω στο τελευταίο - που τυχαίνει να συμπίπτει με την περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής - είναι η περίπτωση της Αθήνας, όπου η μέγιστη ένταση πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της μέρας [31] με τιμές από 6-12°C και μπορεί να φτάσει ακόμα και 13°C τις μέρες με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο[26].

Οι πρώτες καταγραφές του φαινομένου χρονολογούνται στις αρχές του 19ου αιώνα στο Λονδίνο από τον Luke Howard [33]. Το 1815 πραγματοποίησε την πρώτη συστηματική μελέτη του αστικού κλίματος χρησιμοποιώντας θερμομέτρα και παρατήρησε πως για την ίδια περίοδο η θερμοκρασία στο κέντρο της πόλης ήταν μεγαλύτερη από την επαρχία [24,33]. Ο Howard επίσης έκανε λόγο για τεχνητή θερμότητα στις πόλεις και την καταλόγισε στη δομή της πόλης, τον συνωστισμό του πληθυσμού και στην κατανάλωση μεγάλων ποσών καυσίμου για καύση [33]. Αν και δεν ήταν ο ίδιος που χρησιμοποίησε πρώτος την επίκαιρη ονομασία του φαινομένου, οι συχνές αναφορές σ' αυτόν στη βιβλιογραφία οφείλονται κυρίως σε δύο αξιοσημείωτους λόγους. Αρχικά, γιατί παρατήρησε πρώτος πως η ένταση του φαινομένου ήταν μεγαλύτερη στο κέντρο της πόλης και υπέθεσε -σωστά πλέον- πως ήταν μειωμένη όσο απομακρυνόμαστε απ' αυτό, καθώς και για το γεγονός πως χαρτογράφησε σχεδόν πλήρως τα αίτια του ( τα πέντε από τα επτά σύμφωνα με τον Oke ) [34].

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που σχηματίζονται εντός των αστικών περιοχών, κατά τους χειμερινούς μήνες και ιδιαίτερα στα ψυχρά κλίματα, συμβάλουν στην ελάττωση των θανάτων απ' το κρύο και τις μειωμένες ανάγκες για θέρμανση [24], ωστόσο αυτά τα οφέλη επισκιάζονται εύλογα από τις επιπτώσεις της καλοκαιρινής περιόδου. Το καλοκαίρι οι επιπτώσεις εμφανίζονται στο περιβάλλον (σχηματισμός όζοντος, ατμοσφαιρική ρύπανση μέσω αερίων του θερμοκηπίου από σταθμούς παραγωγής ενέργειας, κ.ά.) την οικονομία (αυξημένη κατανάλωση για ψύξη) αλλά και την ανθρώπινη υγεία (προβλήματα υγείας αλλά και αυξημένη θνησιμότητα από τη ζέστη) [19,24,26,30,32]. Δεδομένου ότι όλο και περισσότερο ποσοστό ανθρώπων θα κατοικεί σε αστικές περιοχές η θερμική νησίδα θα είναι πιο συχνή. Δηλαδή με το αυξανόμενο ποσοστό αστικοποίησης εννοείται πως περισσότερες περιοχές θα διαμορφώνονται σε αστικά τοπία αλλά και πως στα ήδη υφιστάμενα αστικά κέντρα θα έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση του πληθυσμού και αν στο τελευταίο συμπεριληφθεί και η κλιματική αλλαγή οι θερμοκρασίες αναμένεται να είναι υψηλότερες, ενισχύοντας έτσι τις επιπτώσεις που προαναφέρθηκαν.

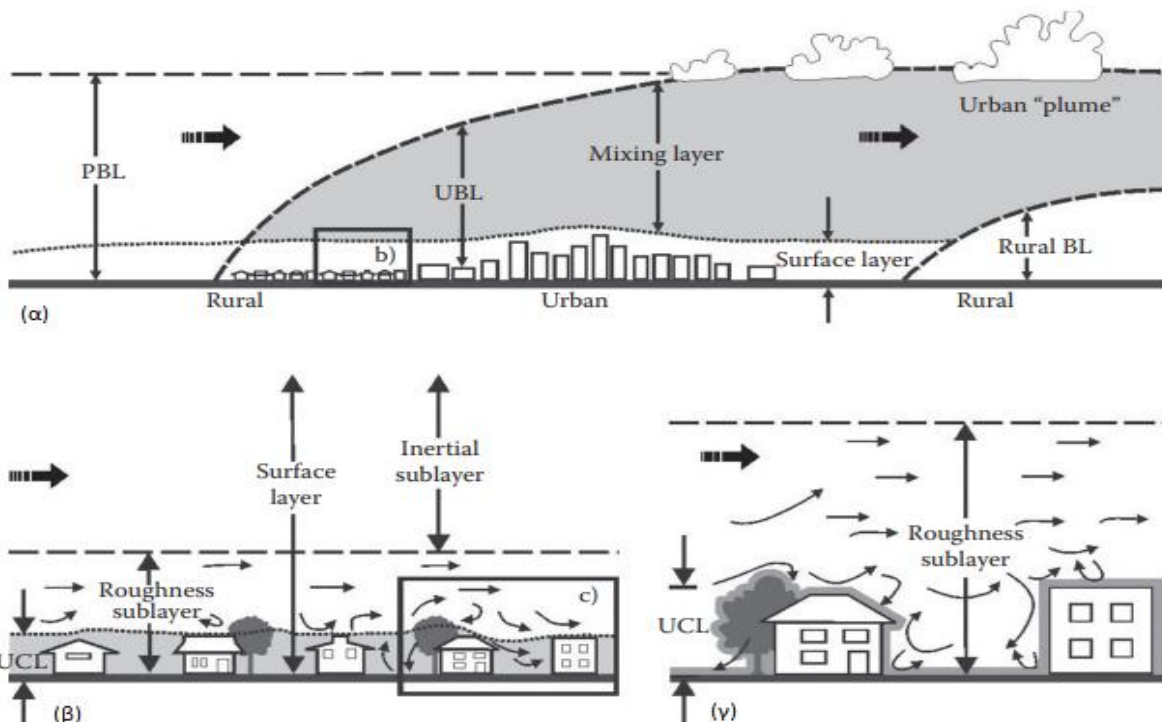
Συνεπώς καθίσταται αναγκαίο κατά τον αστικό σχεδιασμό να λαμβάνεται υπόψιν η θερμική νησίδα και ο μετριασμός της. Σε εγχώριο επίπεδο, μέσω του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (Ε.Σ.Ε.Κ. - που αποτελεί έναν αναλυτικό οδικό χάρτη για την επίτευξη συγκριμένων Ενεργειακών και Κλιματικών Στόχων έως το έτος 2030), η Ελλάδα στοχεύει στη αναχαίτιση του φαινομένου κατά ποσοστό 20% μέχρι το 2030 και εξ' αυτού αναφέρεται: «Αποτελεί βασικό στόχο πολιτικής, η εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού (πολεοδομικού και αρχιτεκτονικού) με σκοπό την εναρμόνιση των κτιριακών όγκων, των δρόμων, του δημόσιου χώρου και των λοιπών χώρων των αστικών περιοχών με το περιβάλλον και το τοπικό κλίμα με άμεσα αποτελέσματα στην εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονα στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής.» [35].

Σε ένα τελικό σημείο, μια εκτενής αναφορά στο φαινόμενο μας ενδιαφέρει επειδή είναι σημαντική για δύο λόγους. Αρχικά μέσω της κατανόησης του φαινομένου επιτυγχάνεται μια πιο στοχευμένη προσπάθεια μετριασμού του, που επιφέρει πολλαπλά οφέλη πρωτίστως απέναντι στους κάτοικους βελτιώνοντας το βιοτικό τους επίπεδο αλλά και σε επίπεδο χώρας καθώς η εξοικονόμηση ενέργειας συνάδει με τους εθνικούς στόχους και τις διεθνείς υποχρεώσεις για το κλίμα. Κατά δεύτερον, σε επίπεδο εργασίας, η θερμική νησίδα μπορεί να μας προϋδεάσει για τα αποτελέσματα. Επειδή έχουμε αυξημένες θερμοκρασίες εξαιτίας της πόλης και επειδή η τελική κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, αναμένεται στο κέντρο των πόλεων να έχουμε λιγότερες απαιτήσεις για θέρμανση και μεγαλύτερες για ψύξη και όσο απομακρυνόμαστε απ' αυτό να ισχύει η αντίθετη συμπεριφορά, δηλαδή να έχουμε μεγαλύτερες απαιτήσεις για θέρμανση και λιγότερες για ψύξη. Αν τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας συμπίπτουν με αυτές τις συμπεριφορές τότε εκτός ότι επιβεβαιώνουμε την ύπαρξη του φαινομένου, μπορούμε επίσης να πραγματοποιήσουμε μια εκτίμηση για το που οφείλονται αυτές οι διαφορές εφόσον έχει ήδη προσδιοριστεί η ένταση του φαινομένου. Για αυτούς τους λόγους μια ολοκληρωμένη αναφορά στο φαινόμενο είναι εξέχουσας σημασίας και αναγκαία.

## 2.1.1 Κλίμακες και είδη αστικής θερμικής νησίδας

Οι διαφορές της θερμοκρασίας εξαιτίας της θερμικής νησίδας μπορούν να παραστούν σχετικά εύκολα κατά τις μετρήσεις, ωστόσο για τη βέλτιστη κατανόηση της επίδρασης του αστικού μετασχηματισμού στο κλίμα της περιοχής χρειάζεται να γίνει αρχικά μια αναφορά στις κλίμακες. Πρόκειται για έναν χωρικό διαχωρισμό που εφαρμόζεται στις μελέτες της θερμικής νησίδας και μέσω αυτού επιτυγχάνεται ένας ακριβέστερος προσδιορισμός των ξεχωριστών διεργασιών που πραγματοποιούνται σε διαφορετικά επίπεδα καθώς και μια ταξινόμηση, των διαδικασιών και των μεθόδων μέτρησης και προσομοίωσης. Οι μελέτες για παράδειγμα, που μπορεί να αφορούν, την κατανάλωση ενέργειας, την ανθρώπινη άνεση, τις πολιτικές μετριασμού σε επίπεδο πόλης, τη συμβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο ενός πάρκου ή μιας λίμνης, ή και την ατμοσφαιρική ρύπανση, υπάγονται σε διαφορετικές κλίμακες [24]. Ο Oke κατηγοριοποίησε για τις μελέτες του αστικού κλίματος τρεις χωρικές κλίμακες (Εικόνα 2.3.) [30] και είναι οι ακόλουθες:

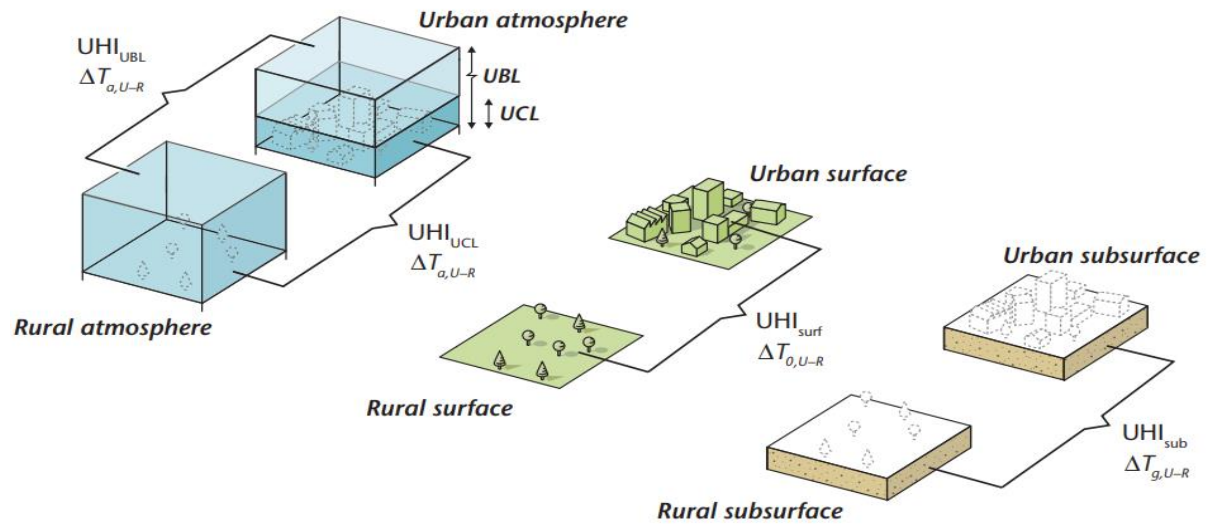
- Μεσοκλίμακα (Mesoscale) που αφορά τις κλιματικές διαδικασίες και συμπεριφορές σε επίπεδο πόλης και αναφέρεται σε επιφάνεια με έκταση μεγαλύτερη των 10,000 m<sup>2</sup>
- Τοπική κλίμακα ή κλίμακα γειτονιάς (Local ή neighborhood scale) που αφορά επιφάνειες μεταξύ 20 έως και 10,000 m<sup>2</sup> όπως γειτονιές, πάρκα, ουρανοξύστες, δήμους κ.ά.
- Μικροκλίμακα (Microscale) που αφορά την ενεργειακή ισορροπία επιφάνειας μεμονωμένων στοιχείων όπως κτίρια, δρόμους και γενικά στοιχεία που έχουν επιφάνεια μέχρι και τα 100 m<sup>2</sup>.



Εικόνα 2.3.: Οριζόντια δομή της αστικής ατμόσφαιρας για (α) μια περιοχή σε επίπεδο πόλης (Μεσοκλίμακα), (β) για μια γειτονιά (Τοπική κλίμακα) και (γ) για ένα αστικό φαράγγι (Street Canyon) (Μικροκλίμακα). Με γκριζό χρώμα επισημαίνονται τα τρία από τα τέσσερα είδη θερμικής νησίδας, δύο από την υποκατηγορία της αστικής θερμικής νησίδας ατμόσφαιρας (Atmospheric Urban Heat Island - AUHI), η αστική θερμική νησίδα οριακού στρώματος (Urban Boundary Layer- UHI<sub>UBL</sub>) (α) που προεκτείνεται οριζόντια και ενσωματώνει τους θυσάνους (plumes) από τα μεμονωμένα τοπικά συστήματα, και η αστική θερμική νησίδα χαράδρας (Urban Canopy Layer - UHI<sub>UCL</sub>) (β) και τέλος η αστική θερμική νησίδα επιφάνειας (Surface Urban Heat Island - UHI<sub>surf</sub>) (γ). Πηγή: Roth, 2013 [24].

Μέσα από τις κλίμακες ορίζεται πως η θερμική νησίδα, κατά τις μελέτες του αστικού κλίματος, δεν είναι ένα ενιαίο φαινόμενο αλλά υπάρχουν πολλαπλά είδη [24]. Συγκεκριμένα η θερμική νησίδα χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες ως προς τον τρόπο μέτρησής της: στην ατμοσφαιρική αστική θερμική νησίδα (Atmospheric Urban Heat Island - AUHI) και στην επιφανειακή αστική θερμική νησίδα (Surface Urban Heat Island - SUHI) [21,24,26]. Στην κατηγορία της ατμόσφαιρας υπάγονται δύο είδη: η αστική θερμική νησίδα χαράδρας (Urban Canopy Layer - UHI<sub>UCL</sub>) και η αστική θερμική νησίδα οριακού στρώματος (Urban Boundary Layer- UHI<sub>UBL</sub>). Για την κατηγορία της επιφάνειας υπάγονται εξίσου δύο είδη, η θερμική νησίδα επιφάνειας (Surface Urban Heat Island - UHI<sub>surf</sub>) και η υποεπιφανειακή ή

υπεδάφια αστική θερμική νησίδα (Subsurface Urban Heat Island –  $UHI_{sub}$ ). Συνεπώς, προκύπτει τελικά πως έχουμε τέσσερα είδη θερμικής νησίδας που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον τρόπο περιγραφής, μέτρησης, προσομοίωσης και των επί μέρους διαδικασιών, επιπτώσεων και αιτίων σχηματισμού (Εικόνα 2.4.).

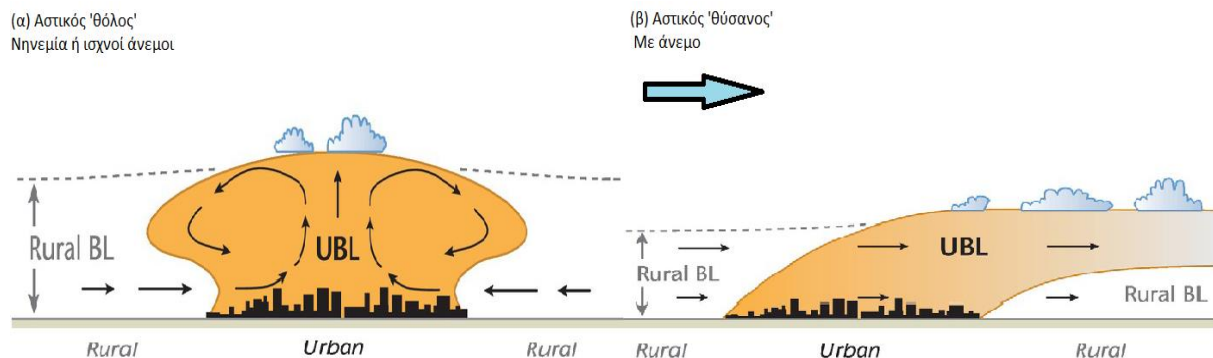


Εικόνα 2.4. : Τα τέσσερα είδη θερμικής νησίδας, στα αριστερά τα δύο είδη με βάση τη θερμοκρασία του αέρα, οριακού στρώματος (πάνω) και χαράδρας (κάτω), στο κέντρο η θερμική νησίδα επιφάνειας και δεξιά η υποεπιφανειακή θερμική νησίδα. Πηγή: Oke, 2017, [21].

Η αστική θερμική νησίδα χαράδρας ( $UHI_{UCL}$ ) αφορά θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του στρώματος του αέρα που βρίσκεται μεταξύ του εδάφους και των στεγών ή τις κορυφές των δέντρων και το αντίστοιχο στρώμα στο ίδιο ύψος στην περιαστική ή αγροτική περιοχή. Πρόκειται για ένα φαινόμενο τοπικής κλίμακας και είναι το πιο μελετημένο απ' όλα τα άλλα είδη εξαιτίας εύκολης προσβασιμότητας σε μετρήσεις, της εύληπτης μεθοδολογίας για τη παρουσίαση διαφορών της θερμοκρασίας και τη στενή σχέση με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για τη μελέτη του φαινομένου χρησιμοποιούνται θερμομόμετρα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα. Σχετικά με τις μετρήσεις, υπάρχουν δύο τρόποι μέτρησης, η σταθερή μέθοδος (Fixed Method) όπου τα θερμομόμετρα βρίσκονται σταθερά σε δύο τοποθεσίες και για παραπάνω μέσω ενός δικτύου σημείων δειγματοληψίας (πχ. μετεωρολογικοί σταθμοί) και η κινητή μέθοδος (Traverse Method) όπου τα θερμομόμετρα είναι τοποθετημένα σε οχήματα που διασχίζουν την περιοχή μελέτης παρέχοντας εικόνα της θερμοκρασίας της περιοχής. Κατά τη διάρκεια της μέρας οι θερμοκρασιακές διαφορές είναι σχετικά μικρές ωστόσο η ένταση του φαινομένου αυξάνει δραστικά μερικές ώρες πριν από τη δύση του ήλιου και φτάνει στο μέγιστο μετά τη δύση στη διάρκεια της νύχτας. Η μέγιστη ένταση του φαινομένου μπορεί να φτάσει μέχρι και του  $12^{\circ}\text{C}$  με ιδανικές συνθήκες - κατά τις ήρεμες και καθαρές νύχτες (δηλαδή με ισχνούς ανέμους και ανέφελο ουρανό). Έτσι η θερμική νησίδα χαράδρας είναι νυχτερινό φαινόμενο και προκύπτει από τον βραδύτερο ρυθμό δροσισμού της πόλης, γεγονός που επηρεάζεται από το συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (Sky view factor) και τον λόγο ύψους-πλάτους (Height-to-Width-ratio - H/W ratio) του αστικού φαραγγιού. Τέλος οι ελεγχόμενοι μηχανισμοί για τη μέγιστη ένταση του φαινομένου είναι:

1. Η γεωμετρία των δρόμων, επειδή επηρεάζει τη συμπεριφορά της ακτινοβολίας και της ροής αέρα.
2. Η δομή των κτιρίων καθώς σχετίζεται με την αποθήκευση θερμότητας που συνεχίζει να εκπέμπεται το βράδυ.
3. Η ανθρωπογενής θερμότητα από τα οχήματα και από τη χρήση μονάδων για θέρμανση και ψύξη των χώρων.

Η αστική θερμική νησίδα οριακού στρώματος ( $UHI_{UBL}$ ) αφορά θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του στρώματος του αέρα που βρίσκεται πάνω από τις στέγες και τις κορυφές των δέντρων, μέχρι και το σημείο που τα αστικά στοιχεία δεν επηρεάζουν την ατμόσφαιρα (1.5 km από την επιφάνεια) και το στρώμα που βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο στην υπό μελέτη προαστιακή ή αγροτική περιοχή. Πρόκειται για ένα φαινόμενο τοπικής κλίμακας - μεσοκλίμακας και αφορά ένα θερμό στρώμα ανάμειξης (Mixing layer) που σχηματίζεται και περιβάλλει τις πόλεις. Το στρώμα αέρα στη βάση του, πάνω από τις στέγες των κτηρίων, αποτελεί ως ένα σημείο συνέχεια των διεργασιών που σχετίζονται με την θερμική νησίδα χαράδρας ωστόσο, σε μεγαλύτερα ύψη έχουμε στρώματα αέρα, πιο θερμά, ξηρά και μολυσμένα με πιο τυρβώδεις κινήσεις στις ροές ανέμου. Συγκριτικά με την θερμική νησίδα χαράδρας, η ένταση τόσο τη μέρα όσο και τη νύχτα είναι σχετικά μικρή - περίπου  $1.5 - 2^{\circ}\text{C}$  - και οι μελέτες πάνω στο οριακό στρώμα είναι σημαντικά λιγότερες και διαθέσιμες. Το τελευταίο οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η συλλογή των μετρήσεων είναι κάτι ιδιαίτερα απαιτητικό, καθώς είναι δύσκολο να γίνει γρήγορη και πλήρης δειγματοληψία του μεγέθους του αέρα που επηρεάζεται θερμικά ή και για λόγους προσβασιμότητας σ' αυτές τις μετρήσεις, επειδή τα μέσα μέτρησης περιλαμβάνουν αισθητήρες στη κορυφή ψηλών κτιρίων, προσδεμένα ή κινητά αερόστατα, ελικόπτερα και μεθόδους τηλεπισκόπησης (remote sensing- δηλαδή παρατήρηση από απόσταση) μέσω αισθητήρων που εδράζονται σε δορυφόρους ή και αεροσκάφη, δηλαδή όχι μέσα που διαθέτει ο τυπικός μελετητής σε ευχέρεια. Σε ένα τελικό σημείο, υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη του φαινομένου που παρατηρούνται βάση της έντασης του ανέμου (Εικόνα 2.5.). Σε συνθήκες με νηνεμία ή ισχνές ροές ανέμου, το στρώμα που περιβάλλει την πόλη σχηματίζει ένα 'θόλο' (Urban Dome), ενώ στην περίπτωση που υπάρχει κάποια ροή ανέμου, το θερμό στρώμα ανάμειξης προεκτείνεται πέρα από τη πόλη προς την κατεύθυνση του ανέμου με το σχήμα του να θυμίζει τους καπνούς από τις καμινάδες που παρασύρονται από τον άνεμο (Urban Plume).



Εικόνα 2.5.: Οι δύο σχηματισμοί του οριακού στρώματος που παρατηρούνται, η περίπτωση του αστικού θόλου (Urban Dome) στα αριστερά και του αστικού θυσάνου (Urban Plume) στα δεξιά. Πηγή :Oke ,2017 [21].

Η θερμική νησίδα επιφάνειας ( $UHI_{surf}$ ) αναφέρεται σε θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ της επιφάνειας της πόλης με τη χαρακτηριστική της δόμηση και την επιφάνεια στην αντίστοιχη περιαστική ή αγροτική περιοχή. Το φαινόμενο μελετάται και παρατηρείται σε επίπεδο μικροκλίμακας και καλύπτει την ενεργειακή ισορροπία του συνόλου των επιφανειών (τοιχοί, οροφές, δρόμοι, δέντρα κ.ά.) της εξεταζόμενης περιοχής. Η θερμοκρασία των επιφανειών που θερμαίνονται από τον ήλιο διαφέρει σημαντικά μεταξύ των ξηρών περιοχών αλλά και εκτεθειμένων και οριζόντιων επιφανειών από τις σκιερές, υγρές και με βλάστηση περιοχές που συνηθίζονται στα μη αστικά τοπία. Εξαιτίας της θέρμανσης από τον ήλιο η θερμική νησίδα επιφάνειας είναι εντονότερη κατά τη διάρκεια της μέρας όπου υπάρχει ηλιοφάνεια, αλλά η ένταση παραμένει εξίσου σημαντική και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Σε ιδανικές συνθήκες, τη καλοκαιρινή περίοδο, σε εκτεθειμένες σκουρόχρωμες επιφάνειες με απουσία βλάστησης, που διαθέτουν ορισμένες θερμικές και ακτινοβολικές ιδιότητες εξαιτίας των υλικών κατασκευής, δύναται να καταγραφούν θερμοκρασίες σ' αυτές τις επιφάνειες  $27$  έως και  $50^{\circ}\text{C}$  υψηλότερες από αυτές του αέρα. Η ένταση κατά τη διάρκεια της μέρας κυμαίνεται μεταξύ  $10-15^{\circ}\text{C}$  ενώ τις νυχτερινές ώρες παίρνει τιμές μεταξύ  $5-10^{\circ}\text{C}$ . Για τη μελέτη των χωρικών και χρονικών μεταβολών στη θερμοκρασία των επιφανειών χρησιμοποιούνται άμεσες μετρήσεις μέσω ειδικών οργάνων μέτρησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας (θερμοκάμερες) αλλά και μέθοδοι τηλεπισκόπησης,

όπου τα όργανα μέτρησης είναι προσαρτημένα σε αεροπλάνα, ελικόπτερα και δορυφόρους που προσφέρουν θερμικές απεικονίσεις υψηλής ανάλυσης ολόκληρων περιοχών. Πάνω στο τελευταίο, η ένταση του φαινομένου εμφανίζεται εντονότερη όταν η απεικόνιση της περιοχής είναι μια μεμονωμένη εικόνα και όταν γίνεται σύνθεση εικόνων σε μία -στη περίπτωση που μελετάται η συμπεριφορά στην επιφάνεια για κάποια χρονική περίοδο - η μέση ένταση που προκύπτει είναι μικρότερη.

Τέλος η υποεπιφανειακή θερμική νησίδα ( $UHI_{sub}$ ) αφορά διαφορές μεταξύ της θερμοκρασίας του εδάφους κάτω από την πόλη και την αντίστοιχη περιαστική ή αγροτική περιοχή. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα τρία είδη θερμικής νησίδας υπάρχουν πολύ λιγότερες μελέτες και παρατηρήσεις για το συγκεκριμένο είδος και σε επίπεδο βιβλιογραφίας συνήθως παραλείπεται η αναφορά του από τα είδη επιφάνειας. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που μελετάται σε επίπεδο μικροκλίμακας - τοπικής κλίμακας και αναφέρεται στον επηρεασμό της θερμοκρασίας του υπεδάφιου στρώματος από την αστική δομή. Το επηρεασμένο στρώμα μπορεί να φτάνει σε βάθος μερικά μέτρα ή και εκατοντάδες μέτρα. Οι θερμικές συμπεριφορές του φαινομένου δύναται να παρατηρηθούν εποχιακά, ετήσια και σε βάθος χρόνου, ύστερα από δεκαετίες, καθώς σε βάθη, γίνεται να διακριθούν ακόμα και αρκετά χρόνια αργότερα, ορισμένες θερμικές διαταραχές που προέρχονται από τη παρελθοντική θερμική δραστηριότητα της επιφάνειας. Η αυξημένη θερμοκρασία στο υπεδάφιο τμήμα της πόλης είναι αποτέλεσμα της μεταφοράς της θερμότητας από την αυξημένη θερμοκρασία της επιφάνειας που επικρατεί στη περιοχή εξαιτίας της αστικής δομής. Η μεταφορά της θερμότητας στις πόλεις επιτυγχάνεται με δύο τρόπους. Αρχικά, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, υπάρχουν διαρροές της θερμότητας από υπόγειους αγωγούς, αποχετεύσεις και από τα υπόγεια των παλιών σπιτιών λόγω κακής μόνωσης. Ένας δεύτερος τρόπος θέρμανσης προκύπτει από τη μεταφορά της θερμότητας από ζεστά νερά, από διαρροές σε υπόγειους αγωγούς και από τα όμβρια ύδατα που η θερμοκρασία τους είναι αυξημένη επειδή παραλαμβάνουν θερμότητα από τις θερμές επιφάνειες των πεζοδρομίων, των οροφών και γενικά κάθε τσιμεντένια ή ασφαλτοστρωμένη περιοχή. Η ένταση του φαινομένου ποικίλει μεταξύ 1-5 °C αναλόγως το βάθος που παίρνονται οι μετρήσεις και τη σύνθεση της πόλης [21,24,26,30,36,37].

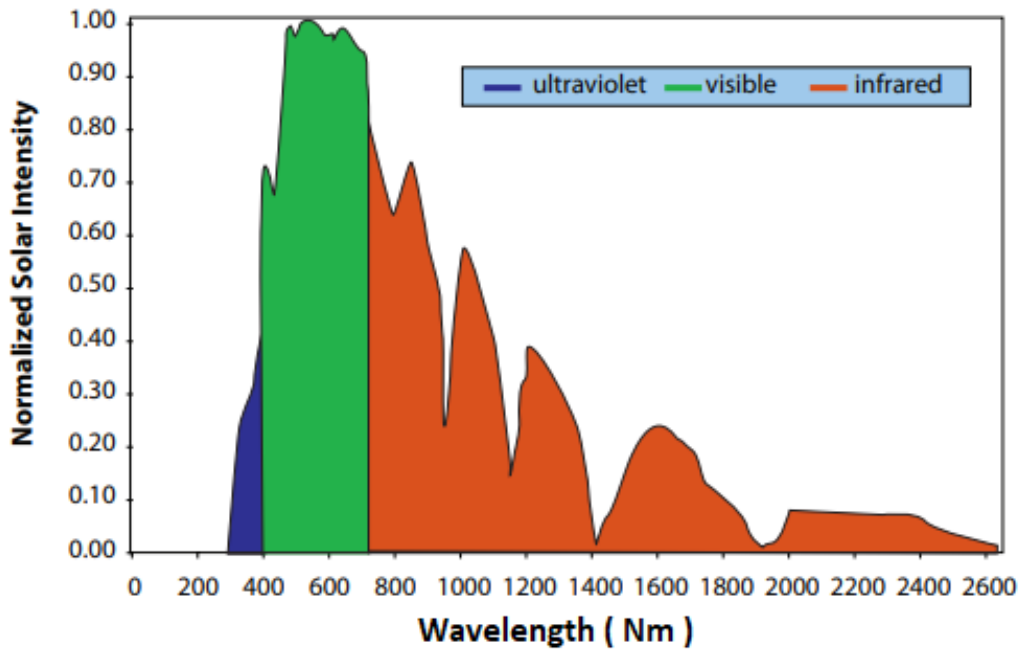
### **2.1.2 Αίτια σχηματισμού του φαινομένου**

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο αναφέρθηκαν οι κλίμακες και τα είδη θερμικής νησίδας και μέσω της παρουσίας αυτών επισημαίνονται και οι λόγοι και η χρησιμότητα ενός διαχωρισμού σε σημείο μελέτης και έρευνας. Όταν όμως γίνεται μια γενική αναφορά στο φαινόμενο τα διάφορα είδη παρουσιάζονται σαν κάτι ενιαίο, καθολικό, δηλαδή συγκεκριμένα ως ένα ατμοσφαιρικό φαινόμενο - καθώς η θερμοκρασία της επιφάνειας επηρεάζει και καθορίζει τη θερμοκρασία του αέρα. Πάνω σε αυτό το γενικό πλαίσιο πραγματοποιούνται και οι προσπάθειες για τον προσδιορισμό των αιτιών που προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις και του βαθμού συμβολής αυτών. Τα περισσότερα αίτια είχαν αναγνωριστεί ήδη από τις πρώτες μελέτες του Howard στο αστικό κλίμα και πλέον έχουν προσδιοριστεί επαρκώς στη βιβλιογραφία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το φαινόμενο της θερμικής νησίδας είναι αποτέλεσμα ανισορροπίας μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας που είναι εντονότερη στις αστικές περιοχές και ως προέκταση και προσαρμογή αυτού στις απαιτήσεις του παρόντος υποκεφαλαίου, τα αίτια σχετίζονται με τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των εξισώσεων των δύο ισοζυγίων. Ακριβέστερα τα αίτια που συμβάλουν στη δημιουργία του φαινομένου αφορούν τους επιπρόσθετους όρους που αναδύονται από την τροποποίηση των φυσικών περιοχών και περιγράφουν την εξίσωση του ισοζυγίου των αστικών συστημάτων καθώς και με αυξομειώσεις στους όρους της εξίσωσης που υπάγονται στην αρχή του θετικού ισοζυγίου (δηλαδή περισσότερα ενεργειακά κέρδη από το άθροισμα των ενεργειακών απωλειών και της αποθηκευμένης ενέργειας). Αν και είναι δύσκολο να υπολογιστεί η πραγματική συμβολή του κάθε αιτίου εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών της κάθε πόλης που τη κάνει να διαφέρει από τις άλλες, τα κοινά στοιχεία που συμβάλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας είναι τα ακόλουθα.

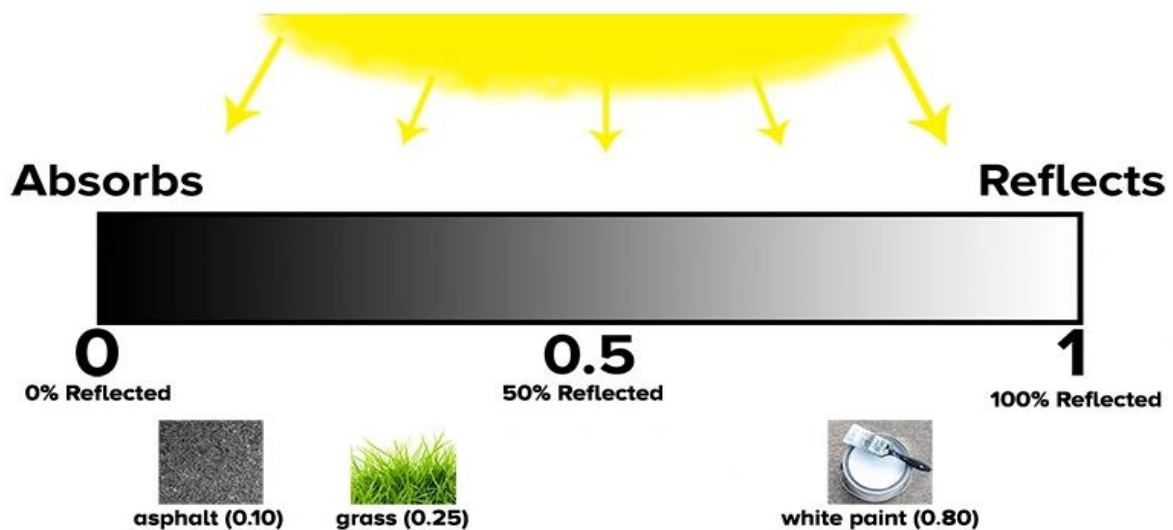


- Οι ιδιότητες των δομικών υλικών.

Κατά τη μετατροπή ενός φυσικού τοπίου σε αστικό, οι φυσικές επιφάνειες αντικαθίστανται με τεχνητές όπως τα κτίρια, τα πεζοδρόμια και οι δρόμοι. Οι αστικές επιφάνειες κατασκευάζονται από υλικά όπως το τσιμέντο και η άσφαλτος, τα οποία παρουσιάζουν αρκετά διαφορετικές θερμικές και ακτινοβολικές ιδιότητες από τα αντίστοιχα στοιχεία των φυσικών περιοχών με αποτέλεσμα να αλλάζει ριζικά ο τρόπος που η ενέργεια από τον ήλιο αντανακλάται, εκπέμπεται και απορροφάται. Σχετικά με τις θερμικές ιδιότητες, τα αστικά υλικά διαθέτουν συχνά υψηλότερη θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα από τα αντίστοιχα υλικά των αγροτικών περιοχών όπως το χώμα και η άμμος. Αυτές οι αλλαγές στις ιδιότητες των υλικών επιφέρουν ορισμένες επενέργειες. Αρχικά μέσω της υψηλής θερμοχωρητικότητας μπορούν να αποθηκεύουν θερμική ενέργεια για περισσότερο χρόνο με αποτέλεσμα η αποθηκευμένη ενέργεια να απελευθερώνεται και τις νυχτερινές ώρες και μέσω της θερμικής αγωγιμότητας να είναι πολύ πιο αποδοτικά στη μεταφορά της θερμότητας. Οι ακτινοβολικές ιδιότητες των υλικών που συμβάλουν στην ανάπτυξη της θερμικής νησίδας είναι, η λευκαύγεια (Albedo) που αφορά το μέτρο ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος και την εκπομπή (Emissivity). Η λευκαύγεια αφορά το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που αντανακλάται από μια επιφάνεια η συγκεκριμένα πρόκειται για το λόγο της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία · καλύπτει τιμές από 0 έως 1 με την τιμή του μηδενός να αντιστοιχεί σε ένα θεωρητικό, ιδεατό μαύρο σώμα (Black body) που απορροφά όλη την εισερχόμενη ακτινοβολία και στον αντίποδα αντιστοιχεί ένα λευκό σώμα (White body) ικανό να αντανακλά όλη την εισερχόμενη ακτινοβολία. Αν δεν γίνει συγκεκριμένη αναφορά στο μήκος κύματος η λευκαύγεια αναφέρεται στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης δηλαδή από 300 nm έως και 3μm (Εικόνα 2.6.). Επειδή από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας περίπου το 43 % αφορά το ορατό φάσμα ένας τρόπος εκτίμησης της λευκαύγειας ενός σώματος είναι μέσω του χρώματος. Οι σκουρόχρωμες επιφάνειες συνηθίζεται να έχουν χαμηλότερη λευκαύγεια από τις ανοιχτόχρωμες δηλαδή απορροφούν περισσότερη από την εισερχόμενη ακτινοβολία. Συνεπώς επειδή οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται κατ' εξοχήν από τσιμεντένιες επιφάνειες (όπως τα πεζοδρόμια ,τα κτίρια και οι οροφές τους, κ.ά.) και ασφαλτοστρωμένους δρόμους ο συνολικός βαθμός ανακλασιμότητας της περιοχής καταλήγει να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο στις αγροτικές περιοχές. Ειρήσθω εν παρόδω, ενδεικτικά η τιμή της λευκαύγειας ενός πρόσφατα ασφαλτοστρωμένου δρόμου είναι περίπου 0.05 (αν και με την πάροδο του χρόνου φτάνει περίπου 0.12) δηλαδή μόλις το 5% της εισερχόμενης ακτινοβολίας αντανακλάται ενώ το υπόλοιπο απορροφάται και αντίστοιχα, περιοχές που αποτελούνται από γρασίδι ή κάποιο δάσος ή κάποιο καλλιεργημένο χωράφι η λευκαύγιά τους βρίσκεται μεταξύ 0.10 έως 0.30 περίπου. Η δεύτερη ακτινοβολική ιδιότητα που κατέχει εξίσου σημαντικό ρόλο αφορά την εκπομπή. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όλα τα σώματα και οι επιφάνειες απορροφούν ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος και καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία επιφανείας τους εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία που θερμαίνει τον κοντινό αέρα. Τα περισσότερα δομικά υλικά , εκτός από τα μέταλλα, διαθέτουν υψηλές τιμές εκπομπής με αποτέλεσμα να απελευθερώνουν θερμότητα ταχύτερα. Αν σε αυτές τις αυξημένες τιμές εκπομπής συνυπολογιστεί και η μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας των σκούρων επιφανειών λόγω της λευκαύγειάς τους (που οδηγεί σε θερμοκρασίες επιφανείας από 27 έως και 50°C υψηλότερες από τον κοντινό αέρα), διακρίνεται πρόδηλα το υπόβαθρο που συντελεί στις αυξημένες θερμοκρασίες των αστικών περιοχών. Εν κατακλείδι, η συνεργασία των θερμικών και ακτινοβολικών ιδιοτήτων των αστικών υλικών οδηγεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες επιφανειών που εν τέλη θερμαίνουν και τον ατμοσφαιρικό αέρα των πόλεων [19,21,24,26,34,37,38].



Εικόνα 2.6. : Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μιας τυπικής καλοκαιρινής μέρας. Αποτελείται από περίπου 5% υπεριώδη ακτινοβολία (UV) , περίπου 43 % ορατό φως και περίπου 52% υπέρυθη ακτινοβολία (IR) αισθητή ως θερμότητα. Η ενέργεια ανεξαρτήτως μήκους κύματος συνεισφέρει στο σχηματισμό της θερμικής νησίδας. Πηγή: U.S. Environmental Protection Agency, 2012, Reducing urban heat islands: Compendium of strategies [38].

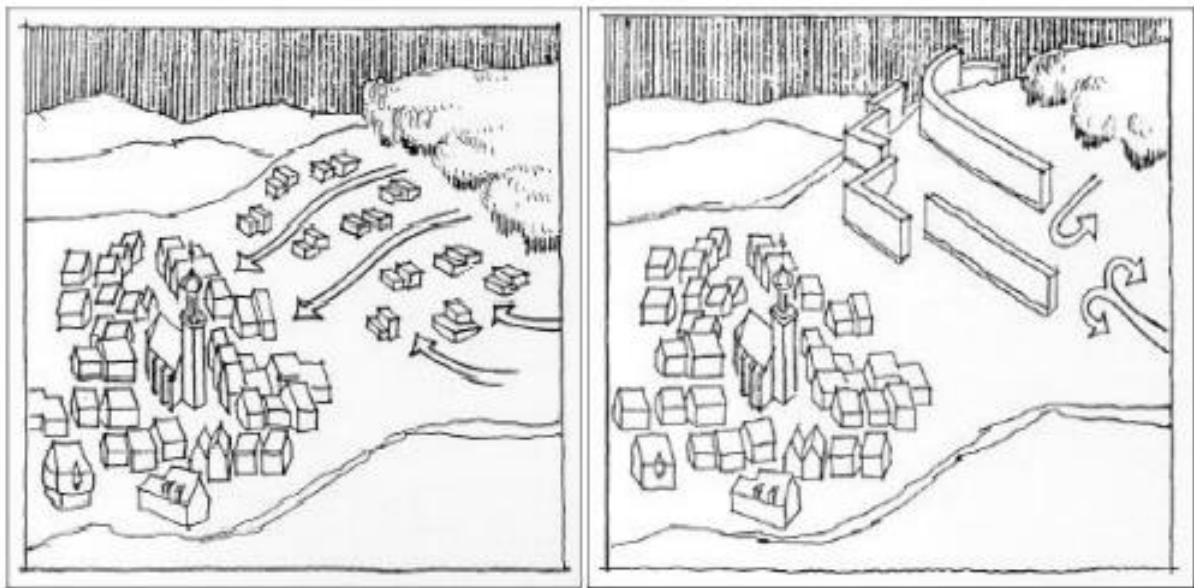


Εικόνα 2.7. : Το φάσμα τιμών της λευκαύγειας και ενδεικτικές τιμές για την άσφαλτο, το γρασίδι και την άσπρη μπογιά. Πηγη : The Albedo Effect, Urban Heat Islands and Cooling Down Your Playground, Katharine Hinkle , 2016.

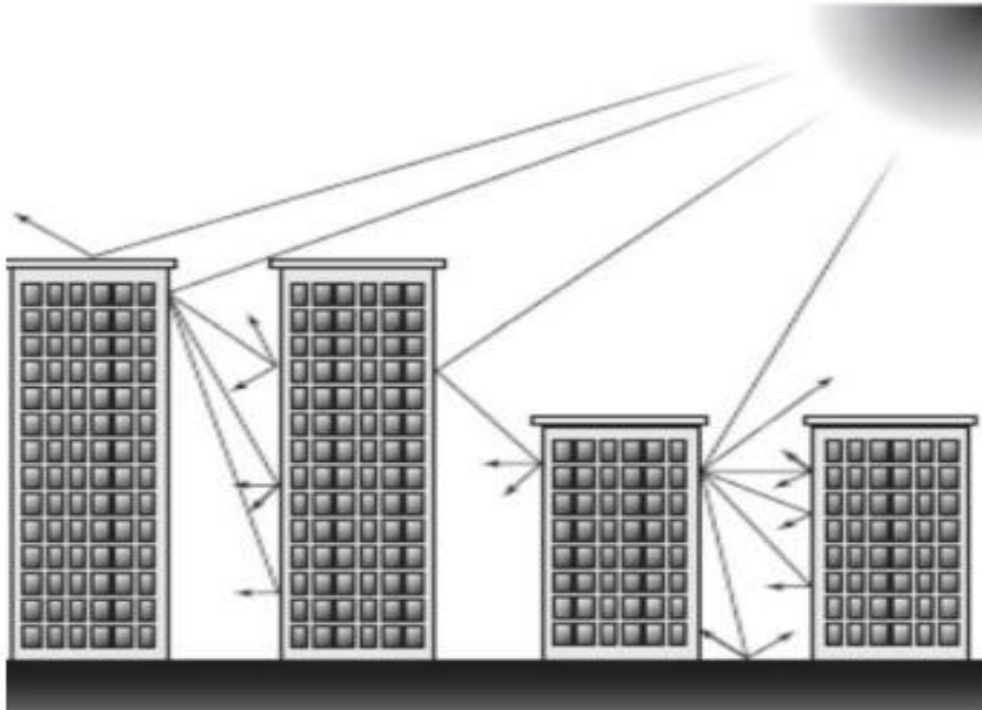
- Ο αστικός σχεδιασμός

Ένας πρόσθετος παράγοντας που συμβάλλει στο σχηματισμό του φαινομένου ιδιαίτερα τη νύχτα, αφορά τον αστικό σχεδιασμό ή αλλιώς την αστική γεωμετρία που ασχολείται με τις διαστάσεις και τη διάταξη των κτιρίων της πόλης. Μέσω του αστικού σχεδιασμού επηρεάζεται η ροή αέρα, η ενεργειακή απορρόφηση και η εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αν και τα κτίρια προσφέρουν σκίαση, μέσω της πυκνής διάταξης και το ύψος τους, εμποδίζεται η ροή του αέρα με αποτέλεσμα να μειώνεται ο φυσικός αερισμός και να καταλήγει αναποτελεσματικός ο δροσισμός από τη μεταφορά του αέρα (Εικόνα 2.8.). Εκτός από τη ροή του αέρα, ένα χαρακτηριστικό της αστικής δόμησης που συχνά γίνεται αντικείμενο μελέτης, εξίσου ικανό με τις ιδιότητες των υλικών για τον σχηματισμό του φαινομένου, αφορά τις αστικές χαράδρες/φαράγγια (Urban Canyons) (Εικόνα 2.3, γ.). Πρόκειται για μια ιδιομορφία της

αστικής γεωμετρίας και αναφέρεται σε έναν δρόμο που βρίσκεται ανάμεσα σε ψηλά κτίρια και χάρη σε αυτή τη δομή πραγματοποιούνται ορισμένες ακτινοβολικές συμπεριφορές. Κατά τη διάρκεια της μέρας εξαιτίας της γεωμετρίας των φαραγγιών υπάρχει μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, καθώς το τμήμα της εισερχόμενης ακτινοβολίας που αντανακλάται αντί να φεύγει έξω από το σύστημα (προς το διάστημα) αντανακλάται προς κάποια κοντινή επιφάνεια ανάμεσα στο φαράγγι που ήδη διαθέτει χαμηλή λευκαύγεια (για παράδειγμα τον απέναντι τοίχο ή τον δρόμο) και απορροφά έτσι πάλι το μεγαλύτερο μέρος της υπολειπόμενης ακτινοβολίας και αντανακλά πάλι ένα μικρό μέρος της προς μια κοντινή επιφάνεια κ.ο.κ. (Εικόνα 2.9.). Αυτός ο εγκλωβισμός της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής λευκαύγειας του συστήματος που οδηγεί σε μεγαλύτερη απορρόφηση και κατ' επέκταση αύξηση της θερμοκρασίας. Λίγο πριν τη δύση του ήλιου η αποθηκευμένη ενέργεια στις επιφάνειες ξεκινά να απελευθερώνεται με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας συνεχίζοντας το έργο της ημέρας ακόμα και με την απουσία του ήλιου τη νύχτα. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα τόσο στις αγροτικές όσο και στις αστικές περιοχές ωστόσο στα αστικά συστήματα εξαιτίας των αστικών φαραγγιών έχουμε μειωμένες απώλειες υπέρυθρης ακτινοβολίας (Decreased long-wave radiation loss) που σημαίνει πως ο ρυθμός δροσισμού στις πόλεις είναι συγκριτικά βραδύτερος. Ο ρυθμός δροσισμού εξαρτάται από το πόσο εκτεθειμένη είναι μια επιφάνεια στον ουρανό και αυτό προσδιορίζεται στη βιβλιογραφία μέσω του συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου που στις αγροτικές περιοχές είναι μεγαλύτερος καθώς οι επιφάνειες έχουν περισσότερη πρόσβαση στον ουρανό από αυτές των πόλεων όπου η πρόσβαση εμποδίζεται από τοίχους που λαμβάνουν ένα μέρος της εξερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στις περιπτώσεις που δεν είναι διαθέσιμος ο συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου η πρόσβαση στον ουρανό εκτιμάται μέσω του λόγου ύψους-πλάτους που είναι ευκολότερα προσβάσιμος [19,21,24,26,34,37,38].



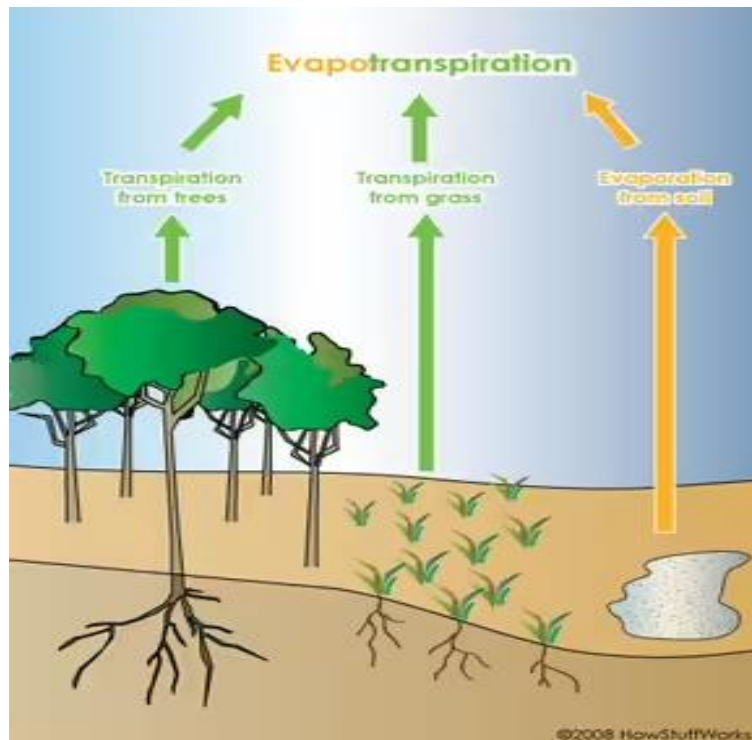
**Εικόνα 2.8.** : Ο επηρεασμός της διάταξης των κτιρίων στη ροή του αέρα. Τα αραιοσπαρμένα κτίρια (αριστερή εικόνα δεξιά μεριά) δροσίζονται καλύτερα από αυτά που είναι στοιβαγμένα καθώς η ροή του αέρα δεν συναντά εμπόδια. Επίσης οι υψηλές τεχνητές επιφάνειες εμποδίζουν τον φυσικό αερισμό (δεξιά εικόνα). Πηγή : Urban Design Guidelines to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects In Hot Dry Cities, Taslim S. et al. , 2015 [32].



Εικόνα 2.9. : Ο τρόπος ανάκλασης της εισερχόμενης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος στις αστικές χαράδρες. Η ακτινοβολία αντί να αντανακλάται προς τα έξω (όπως συμβαίνει στο πρώτο κτίριο πάνω αριστερά) εγκλωβίζεται μέσα στο φαράγγι μειώνοντας την συνολική λευκαύγεια του συστήματος. Πηγή: Encyclopedia of weather and Climate ,Allaby M. , 2007.

- Η έλλειψη εξατμισοδιαπνοής.

Η εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) είναι μια σύνθετη ονομασία που περιγράφει δύο διαδικασίες μαζί, αυτή της εξάτμισης και αυτή της διαπνοής. Η διαδικασία της εξάτμισης σχετίζεται με την εξάτμιση του νερού από μια περιοχή, νερού που βρίσκεται στο έδαφος, σε υγροτόπους όπως λίμνες και ποτάμια, σε οροφές των κτιρίων και γενικά λακκούβες που σχηματίζονται και τέλος στην επιφάνεια των φύλλων που σχετίζεται με τη διαπνοή. Η διαπνοή περιγράφει την φυσική διεργασία των φυτών κατά την οποία τα φυτά αποβάλλουν νερό σε μορφή υδρατμών από μικρούς πόρους στα φύλλα τους γνωστά και ως στόματα. Αυτό πραγματοποιείται κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης όπου τα φυτά μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα σε οξυγόνο. Μέσω των δύο αυτών διαδικασιών επιτυγχάνεται η απελευθέρωση υδρατμών στην ατμόσφαιρα συμβάλλοντας στο δροσισμό της περιοχής. Με την απελευθέρωση αυτή αυξάνεται η λανθάνουσα θερμότητα στις σχέσεις του ισοζυγίου ( $Q_E$ ) καθώς ένα μέρος της ενέργειας χρησιμοποιείται για την αλλαγή κατάστασης του νερού από υγρή σε αέρια και αυτό στην ουσία σημαίνει πως στις περιοχές που λαμβάνει χώρα η εξατμισοδιαπνοή θερμαίνονται λιγότερο οι επιφάνειες από τις περιοχές όπου αυτή απουσιάζει. Συνεπώς, επειδή οι αγροτικές περιοχές χαρακτηρίζονται από περισσότερη βλάστηση και διαθέσιμο έδαφος για την απορρόφηση υγρασίας είναι πιο δροσερές από τις πόλεις που η βλάστηση είναι μειωμένη και το έδαφος έχει αντικατασταθεί με αδιαπέραστες επιφάνειες όπως τα πεζοδρόμια και οι δρόμοι που σαν αποτέλεσμα οδηγούν σε ξηρότερες περιοχές με λιγότερο διαθέσιμο νερό για εξάτμιση για δροσισμό [19,21,26,34,37-39].



Εικόνα 2.10. : Οι διεργασίες της εξατμισοδιαπνοής, η διαπνοή από τη βλάστηση όπως τα δέντρα και το γρασίδι και η εξάτμιση από το έδαφος. Πηγή : Maria Trimarchi, HSW 2008, How stuff works - How do trees affect the weather? .

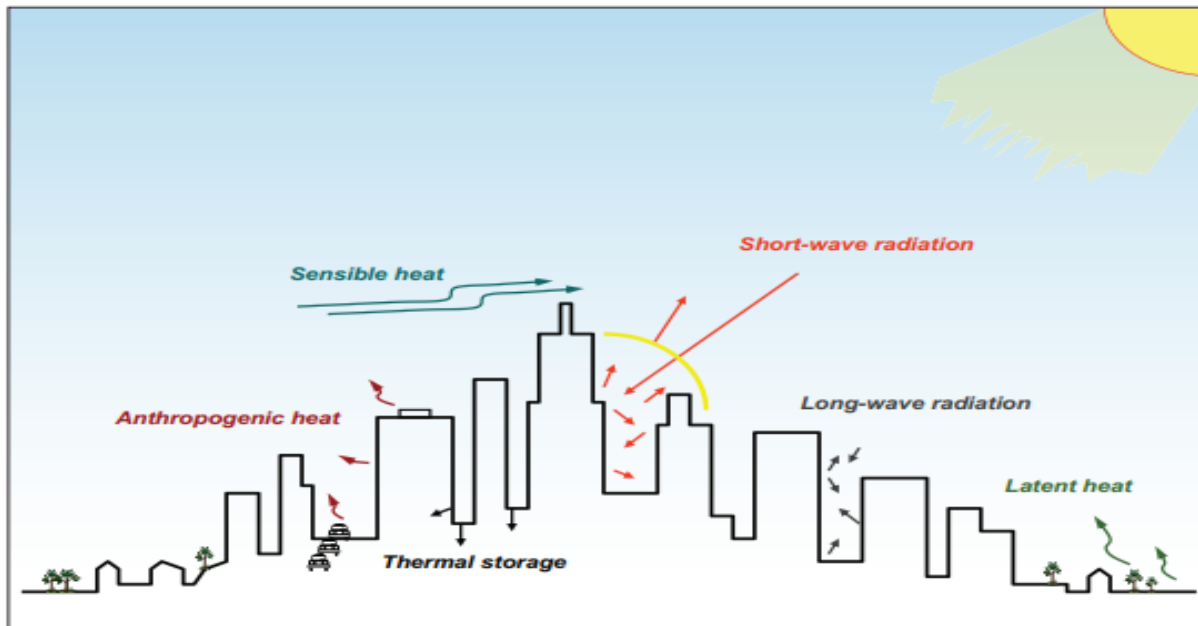
- Η ανθρωπογενής θερμότητα.

Η ανθρωπογενής θερμότητα αποτελεί αποκλειστικό παράγοντα των αστικών συστημάτων και αναφέρεται στο σύνολο της θερμότητας που παράγεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Συγκεκριμένα η ανθρωπογενής θερμότητα απελευθερώνεται από τη βιομηχανία, τα αυτοκίνητα, τα συστήματα θέρμανσης, τα κλιματιστικά και κάθε λογής καύσεις. Η μεγαλύτερη συμβολή θερμότητας από αυτά παράγεται από τα κτίρια και τις μεταφορές. Η ανθρωπογενής θερμότητα συμβάλει σημαντικά στον σχηματισμό του φαινομένου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και η συμβολή της εξαρτάται από το μέγεθος της αστικής δραστηριότητας και της υποδομής που διαφέρει από πόλη σε πόλη. Χτίζοντας τις βάσεις για τον επόμενο και τελευταίο παράγοντα που συμβάλλει στο σχηματισμό της θερμικής νησίδας χρειάζεται να γίνει μνεία σε μια ενδιαφέρουσα συνεργία που λαμβάνει χώρα ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο. Οι αυξημένες θερμοκρασίες στις πόλεις οδηγούν σε περισσότερη κατανάλωση ενέργειας για απαιτήσεις ψύξης μέσω κλιματιστικών. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή με αποτέλεσμα να παράγονται και ρύποι \* που μολύνουν την ατμόσφαιρα. Μέσω της λειτουργίας των κλιματιστικών- που απορροφούν τη θερμότητα από το χώρο και στη στέλνουν έξω-, της αυξημένης χρήσης τους και την καύση ορυκτών καυσίμων για την κάλυψη των αυξημένων αυτών απαιτήσεων, διαμορφώνεται ένας φαύλος κύκλος συνεισφοράς θερμότητας στις πόλεις [19,24,26,34,38].

\*4. Οι ρύποι από την καύση ορυκτών καυσίμων στις περισσότερες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι : το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter –PM) και ο υδράργυρος (Hg) [26,38].

- Η ατμοσφαιρική ρύπανση

Το αστικό περιβάλλον διαθέτει συγκριτικά αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση και εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων, ένα τμήμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τις αστικές επιφάνειες αντανακλάται πίσω στην επιφάνεια της γης από τους μολυσμένους ρύπους και των νεφών που σχηματίζονται καθώς και οι ίδιοι οι ρύποι εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία που συνεισφέρει θετικά στην ανισορροπία του ενεργειακού ισοζυγίου [19,21,26,34].



Εικόνα 2.11. : Το σύνολο των διαφορετικών διαδικασιών και παραμέτρων που συμβάλλουν στην δημιουργία της αστικής θερμικής νησίδας. Πηγή : : U.S. Environmental Protection Agency, 2012, Reducing urban heat islands: Compendium of strategies [38].

### 2.1.3 Επιπτώσεις και επεμβάσεις μετριασμού

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εξαιτίας της θερμικής νησίδας εντός των αστικών περιοχών παρέχουν θετικά αποτελέσματα κατά τους χειμερινούς μήνες και ιδιαίτερα στα ψυχρά κλίματα όμως υπάρχουν και αρκετές επιπτώσεις την καλοκαιρινή περίοδο που χρειάζεται να απευθυνθούν καθώς επηρεάζουν αρνητικά το τοπικό περιβάλλον και την ποιότητα ζωής. Συγκεκριμένα οι επιπτώσεις αφορούν την οικονομία, το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία και μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

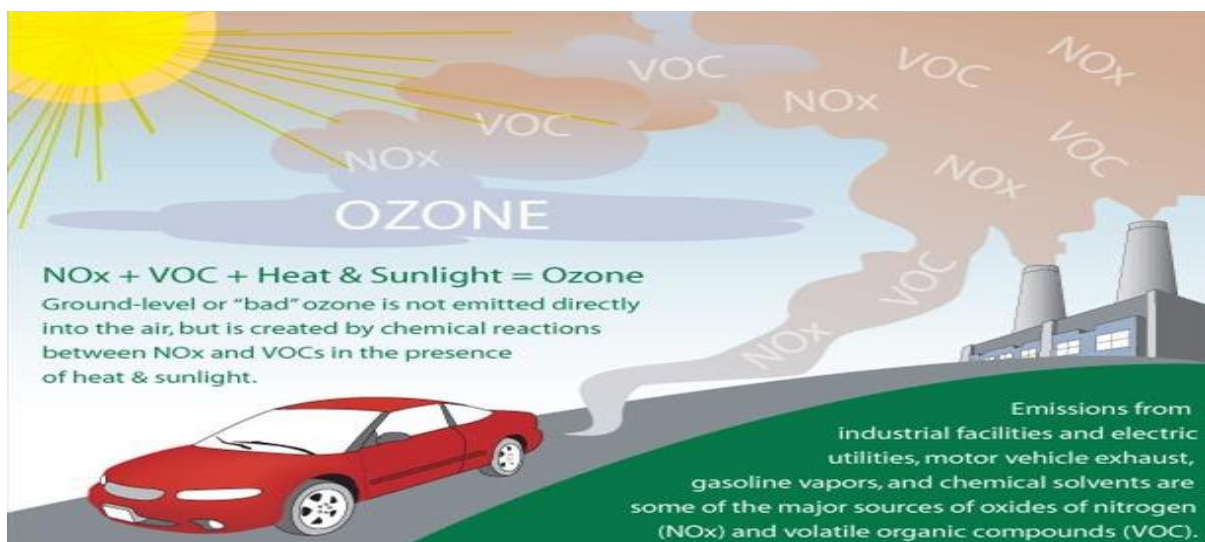
- Περισσότερη κατανάλωση ενέργειας.
- Αυξημένες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.
- Αλλοίωση της ποιότητας του νερού.
- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και άνεση.

Σε μια συνοπτική περιγραφή των επιπτώσεων, ξεκινώντας με την οικονομική επιβάρυνση από το φαινόμενο, επειδή η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται στενά με την εξωτερική θερμοκρασία εξαιτίας των υψηλότερων θερμοκρασιών μεγαλώνουν οι ανάγκες για ψύξη με αποτέλεσμα να καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια για τον δροσισμό των χώρων και την επίτευξη άνεσης. Επίσης την καλοκαιρινή περίοδο οι αυξημένες θερμοκρασίες επιβαρύνουν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας τις περιόδους αιχμής. Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια έχει εκτιμηθεί πως αυξάνεται κατά 1.5 έως 2 % για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.6 °C και επίσης εκτιμάται πως η θερμική νησίδα είναι υπεύθυνη για το 5 έως 10 % της αυξημένης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

[19,26,37,38].

Συνεχίζοντας με τα περιβαλλοντικά ζητήματα, αρχικά προκειμένου να καλυφθούν οι αυξημένες ανάγκες για ψύξη, χρειάζεται να παραχθεί περισσότερη ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για τη παραγωγή με αποτέλεσμα να εκπέμπονται περισσότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι (όπως αναφέρθηκε στο τέλος του προηγούμενου υποκεφαλαίου) και αέρια του θερμοκηπίου. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία και συμβάλλουν στη δημιουργία σύνθετων ατμοσφαιρικών προβλημάτων όπως η όξινη βροχή και φυσικά τα αέρια του θερμοκηπίου είναι υπεύθυνα για την κλιματική αλλαγή [26,37,38].

Εκτός από την ατμοσφαιρική ρύπανση, επιπρόσθετα οι αυξημένες θερμοκρασίες αυξάνουν τον ρυθμό σχηματισμού τροποσφαιρικού όζοντος (ground-level ozone) [26,37,38]. Το όζον μπορεί να είναι χρήσιμο ή και επιζήμιο ανάλογα με το επίπεδο της ατμόσφαιρας που βρίσκεται. Το όζον είναι αρκετά χρήσιμο όταν βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατοσφαιρικό όζον) καθώς προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς απορροφώντας μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας από τον ήλιο πριν αυτή φτάσει στην επιφάνεια της γης. Ωστόσο το τροποσφαιρικό όζον που σχηματίζεται στις αστικές περιοχές είναι επιζήμιο για τον άνθρωπο καθώς δύναται να προκαλέσει μια σωρεία προβλημάτων στο αναπνευστικό, καρδιαγγειακό ή και το νευρικό σύστημα των ανθρώπων ιδιαίτερα στα παιδιά, τους ηλικιωμένους και ανθρώπους όλων των ηλικιών με αναπνευστικά προβλήματα όπως το άσθμα. Το τροποσφαιρικό όζον σχηματίζεται μέσω χημικών αντιδράσεων μεταξύ οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds – VOC ) υπό την παρουσία ήλιου και θερμότητας (Εικόνα 2.12.) [40].



Εικόνα 2.12. : Ο τρόπος σχηματισμού του τροποσφαιρικού όζοντος . Πηγή: U.S. Environmental Protection Agency, Ground-level Ozone Pollution – Ozone basics [40].

Η τελευταία περιβαλλοντική επίπτωση αφορά την αλλοίωση της ποιότητας του νερού μέσω της θερμότητας. Η αυξημένη θερμοκρασία από τις επιφάνειες της πόλης όπως τα πεζοδρόμια, τα κτίρια και οι δρόμοι μεταφέρεται στα όμβρια ύδατα όπου, καθώς αποστραγγίζονται από την επιφάνεια στο κοντινό δίκτυο ομβρίων αγωγών σε πρώτη φάση αυξάνουν τη θερμοκρασία του εδάφους κάτω από την πόλη και σε δεύτερη καθώς τα ύδατα αυτά απελευθερώνονται εν τέλη στη θάλασσα , στους ποταμούς ή και σε λίμνες αυξάνουν και εκεί τη θερμοκρασία του νερού. Σχετικά με το τελευταίο η αυξημένη θερμοκρασία του νερού επηρεάζει την υδρόβια ζωή αρκετών ειδών ειδικά στο μεταβολισμό και την αναπαραγωγή τους [26,37,38].

Τέλος οι επιπτώσεις του φαινομένου που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία αφορούν τη δυσφορία, τη σωματική εξάντληση, τις αναπνευστικές δυσκολίες, τις θερμοπληξίες και την αυξημένη θνησιμότητα από τη ζέστη που προκύπτουν ως αποτέλεσμα των αυξημένων θερμοκρασιών εντός των αστικών περιοχών. Επίσης οι ευάλωτες ομάδες όπως τα παιδιά , οι ηλικιωμένοι και οι άνθρωποι με υφιστάμενα προβλήματα υγείας αντιμετωπίζουν σημαντικό ρίσκο στα αστικά κέντρα από κύματα καύσωνα που ενσκήπτουν περιοδικά, με την ένταση και τη διάρκεια τους να ενισχύεται από τις αυξημένες θερμοκρασίες της θερμικής νησίδας [26,37,38].

Επειδή το ποσοστό αστικοποίησης θα συνεχίσει να αυξάνεται, οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντός των αστικών περιοχών και οι επιπτώσεις του φαινομένου που προαναφέρθηκαν θα εμφανίζονται σε όλο και περισσότερες πόλεις, συνεπώς για να περιοριστούν όσο γίνεται οι επιπτώσεις χρειάζεται να παρθούν και να παίρνονται μέτρα για τον μετριασμό του φαινομένου. Συνήθως στη βιβλιογραφία αναφέρονται τρεις τρόποι για την αναχαίτιση της θερμικής νησίδας. Η πρώτη λύση αφορά το φύτεμα δέντρων σε ανοιχτούς χώρους και στα πεζοδρόμια των χώρων. Η αύξηση του αστικού πράσινου με δέντρα και βλάστηση μειώνει τις θερμοκρασίες επιφάνειας και αέρα μέσω της σκίασης και των διαδικασιών της εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή και σκίαση δύναται να μειώσουν τις μέγιστες θερμοκρασίες του καλοκαιριού κατά 1 έως και 5 βαθμούς κελσίου. Το επόμενο μέτρο αφορά τις πράσινες οροφές κατά τις οποίες οι οροφές των κτιρίων καλύπτονται από ένα στρώμα βλάστησης που χαρακτηρίζεται από φυτά, θάμνους, γρασίδι ή και δέντρα. Οι πράσινες οροφές παρέχουν σκιά και μειώνουν τη θερμοκρασία της επιφάνειας της οροφής και του κοντινού αέρα και επιπρόσθετα μειώνουν και την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου. Ο τελευταίος τρόπος μετριασμού αφορά τα λεγόμενα "ψυχρά υλικά" που αναφέρονται σε κατασκευαστικά υλικά πιο ανοιχτού χρώματος με μεγαλύτερη λευκαύγεια που μπορούν και αντανakλούν μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να απορροφάται και να αποθηκεύεται λιγότερη ενέργεια που καταλήγει να θερμαίνει τον κοντινό αέρα. Ο μετριασμός της θερμικής νησίδας επιφέρει πολλαπλά οφέλη όπως τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας) με το τελευταίο να αποτελεί μέσο για τον έλεγχο και την οριοθέτηση της κλιματικής αλλαγής καθώς ο μετριασμός του φαινομένου μπορεί να συμβάλει πρόσθετα στις προσπάθειες για ουδετεροποίηση των εκπομπών των χωρών [30,37,41].

## 2.2 Θεωρία των Βαθμομερών - Γενικά εισαγωγικά

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο περιγράφηκε πως η κατανάλωση ενέργειας είναι στενά συνδεδεμένη και επηρεάζεται από την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα. Οι χαμηλές θερμοκρασίες ευθύνονται για τη αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για απαιτήσεις θέρμανσης των χώρων και αντίστοιχα οι υψηλές θερμοκρασίες σε αυξημένη κατανάλωση για λόγους δροσισμού. Αν και στην τωρινή εποχή έχουν αναπτυχθεί αρκετά λογισμικά στους υπολογιστές που προσομοιώνουν ικανοποιητικά την ενεργειακή συμπεριφορά και την κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων (όπως το EnergyPlus, το Energy Express, το TRNSYS ,κ.ά.) [42,43], υπάρχει ένας σχετικά απλός και γρήγορος τρόπος εκτίμησης των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη χρησιμοποιώντας τις μεθόδους των βαθμομερών (Degree Days). Για τη εφαρμογή της μεθοδολογίας των βαθμομερών γίνεται η προϋπόθεση πως η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου διατηρείται σταθερή από τη συνεχή χρήση και πως τα συστήματα θέρμανσης ή και ψύξης λειτουργούν με σταθερό βαθμό απόδοσης για όλη τη διάρκεια της περιόδου που πραγματοποιείται η μελέτη [42]. Κάτω από αυτό το πλαίσιο οι βαθμομέρες συνεχίζουν να παραμένουν ένα σπουδαίο και χρήσιμο εργαλείο ακόμα και σήμερα καθώς αποτελούν τις απλούστερες μεθοδολογίες για την ενεργειακή ανάλυση στα κτίρια. Μέσω των βαθμομερών μπορούν να καλυφθούν δύο βασικές χρήσεις στα κτίρια:

- Για την εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τη θέρμανση και τη ψύξη των χώρων για νέα ή ριζικά ανακαινισμένα κτίρια.
- Για τη συνεχή ενεργειακή παρακολούθηση και ανάλυση σε υφιστάμενα κτίρια μέσω ιστορικών δεδομένων. [44]

Οι βαθμομέρες ορίζονται ως το άθροισμα των θερμοκρασιακών διαφορών για μια ορισμένη χρονική περίοδο και αποτελούν μέτρο της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας και έναν δείκτη για την δριμύτητα του κλίματος καθώς στα δεδομένα που χρησιμοποιούνται ενσωματώνονται όλες οι θερμοκρασιακές μεταβολές της περιοχής [42,44]. Οι θερμοκρασιακές διαφορές που υπολογίζονται μέσω της μεθόδου γίνονται μεταξύ της μετρούμενης εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα και μιας καθορισμένης θερμοκρασίας αναφοράς γνωστή και ως θερμοκρασία βάσης (Base Temperature) -και για τα κτίρια συχνά ονομαζόμενη και ως θερμοκρασία σημείου ισορροπίας (Balance point temperature)- όπου πρόκειται για τη θερμοκρασία κατά την οποία, θεωρητικά, επιτυγχάνονται και διατηρούνται οι συνθήκες άνεσης των ανθρώπων και επομένως δεν απαιτείται ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη [25,42-44]. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την επιλεγμένη θερμοκρασία



βάσης τότε θεωρείται πως χρειάζεται να λειτουργήσουν τα κλιματιστικά για την επίτευξη άνεσης και αντίστοιχα όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη οι μονάδες θέρμανσης των χώρων. Επειδή η εξωτερική θερμοκρασία μπορεί να είναι είτε υψηλότερη είτε μικρότερη της σταθερής θερμοκρασίας βάσης προκύπτουν δύο είδη θερμοκρασιακών διαφορών σε σχέση με αυτήν.

1. Οι θερμοκρασιακές διαφορές της εξωτερικής θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία βάσης όπου ορίζονται ως βαθμοημέρες θέρμανσης (Heat Degree Days - HDD) και πρόκειται για έναν δείκτη του κλίματος που το μέγεθός του περιγράφει την ανάγκη για θέρμανση.

$$HDD = \frac{\sum_{i=1}^k T_b - T_i}{24} \quad \text{αν } (T_b - T_i) > 0, \quad 0 \leq k \leq 24 \quad (2.2.1)$$

2. Οι θερμοκρασιακές διαφορές της εξωτερικής θερμοκρασίας με τη θερμοκρασία βάσης όπου ορίζονται ως βαθμοημέρες ψύξης (Cooling Degree days - CDD) και πρόκειται για έναν δείκτη του κλίματος που το μέγεθός του περιγράφει την ανάγκη για ψύξη.

$$CDD = \frac{\sum_{i=1}^k T_i - T_b}{24} \quad \text{αν } (T_i - T_b) > 0, \quad 0 \leq k \leq 24 \quad (2.2.2)$$

Όπου το  $T_i$  αφορά την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, το  $T_b$  την επιλεγμένη θερμοκρασία βάσης και η διαίρεση με το 24 γίνεται επειδή οι βαθμοημέρες είναι στην ουσία η μέση τιμή των βαθμοωρών ενός εικοσιτετράωρου [25,44]. Αν και υπάρχουν αρκετοί τρόποι υπολογισμού, οι συγκεκριμένες εξισώσεις χρησιμοποιούν ωριαία δεδομένα ( $0 \leq k \leq 24$ ) της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα  $T_i$  και αναφέρονται παραδειγματικά ως ένας από τους τρόπους υπολογισμού των βαθμοημερών.

Η διαδικασία υπολογισμού των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης της μίας ημέρας επαναλαμβάνεται για το επιθυμητό διάστημα που συνήθως είναι μηνιαίο, εποχιακό ή και ετήσιο. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει το συνολικό άθροισμα των βαθμοημερών θέρμανσης τόσο πιο ψυχρό είναι το κλίμα της περιοχής και αντίστοιχα για τις βαθμοημέρες ψύξης, οι υψηλές τιμές αποτελούν ένδειξη για τη ζέστη που επικρατεί και οι μικρότερες τιμές για ηπιότερο καιρό. Επομένως, πραγματοποιώντας μια σύζευξη με το προηγούμενο κεφάλαιο της θερμικής νησίδας, επειδή στο κέντρο των πόλεων η θερμοκρασία είναι αυξημένη και μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε απ' αυτό, στο κέντρο των πόλεων έχουμε περισσότερη ανάγκη για ψύξη και λιγότερο για θέρμανση δηλαδή περισσότερες βαθμοημέρες ψύξης και λιγότερες βαθμοημέρες θέρμανσης και στα προάστια και τις αγροτικές περιοχές που επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία έχουμε περισσότερη ανάγκη για θέρμανση δηλαδή περισσότερες βαθμοημέρες θέρμανσης. Επειδή οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης μεταφράζονται εν τέλει στις αντίστοιχες καταναλώσεις, το πως ποικίλουν οι βαθμοημέρες από περιοχή σε περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών ακόμα και εγχώρια. Ενδεικτικά, για λόγους παραστατικότητας του βαθμού μεταβολής των βαθμοημερών με την απόσταση από το κέντρο για περιοχές στην ίδια κλιματική ζώνη, μια έρευνα των Moustiris et al. 2014, που υπολόγισε τις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης σε διάστημα 5ετίας για 8 περιοχές στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, συμπεραίνει πως στο κέντρο της πόλης (επιλεγμένο κέντρο τα Πατήσια) συγκριτικά με την περιοχή των Θρακομακεδόνων που βρίσκονται σε απόσταση περίπου 16.5 χιλιόμετρα, ο ετήσιος αριθμός των βαθμοημερών ψύξης είναι σχεδόν εφταπλάσιος και στους Θρακομακεδόνες η ανάγκη για θέρμανση που φαίνεται από τις ετήσιες βαθμοημέρες θέρμανσης δείχνει πως είναι σχεδόν τριπλάσια από το κέντρο [25]. Σε μια διπλωματική εργασία που υπολογίζονται οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης για περιοχές τις Θεσσαλονίκης, ακόμα και μεταξύ δύο σταθμών που θεωρούνται αντιπροσωπευτικές του κέντρου της πόλης, μεταξύ του σταθμού 'Ιστορικό Κέντρο' και του σταθμού 'Καμάρα' υπάρχει τεράστια διαφορά στις ανάγκες για θέρμανση καθώς ο σταθμός Καμάρα που βρίσκεται σε απόσταση 320 μόλις μέτρων πιο έξω από το Ιστορικό Κέντρο έχει 23.3% και 19.1% περισσότερες βαθμοημέρες θέρμανσης για θερμοκρασίες βάσης τους 15 °C και τους 18 °C αντίστοιχα [43].

Σε μια σύντομη αναδρομή, η έννοια των βαθμοημερών πρωτοεμφανίστηκε στο έργο του Lt-Gen. Sir Richard Strachey το 1878 καθώς εκεί παρουσιάζονται οι ορισμοί 'βαθμοημέρα', 'βαθμοώρα (Degree-hour)' και 'θερμοκρασία βάσης (Base Temperature)'. Το έργο του Strachey σχετιζόταν με την ανάπτυξη της σοδειάς όπου εκτιμούσε τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου των φυτών και πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονταν μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό ενός 'αθρόισματος θερμοκρασιών' που βρίσκονται πάνω από μια θερμοκρασία βάσης 42 °F (5.6°C) · όπου πρόκειται για τη θερμοκρασία

που χρειάζεται για να αναπτυχθούν τα φυτά. Ο ίδιος προέκτεινε τη δουλειά του συμπεριλαμβάνοντας το άθροισμα θερμοκρασιών και κάτω από μια θερμοκρασία βάσης. Η πρώτη καταγεγραμμένη εφαρμογή των βαθμομερών στα κτίρια πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία 1920 στις Ηνωμένες Πολιτείες από τον Αμερικάνικο Οργανισμό Αερίου για την εκτίμηση των αναγκών για κάρβουνο και αέριο με βάση την τυπική κατανάλωση ενέργειας [44,45]. Στατιστικά είχε αποδειχθεί ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες η σχέση της κατανάλωσης καυσίμου με τις βαθμομέρες περιγραφόταν ακριβέστερα με θερμοκρασία βάσης τους 65 °F (18.3 °C) με συνολικά εκτιμώμενη θερμοκρασία χώρου τους 70 °F (21.1°C). Τα επιπρόσθετα θερμικά κέρδη που εκτιμώνται περίπου στους 5 °F (2.8 °C) προέρχονται από τους ανθρώπους, τα φώτα, τον εξοπλισμό και την ηλιακή διείσδυση. Το 1934 στο Ηνωμένο Βασίλειο, με δεδομένα τα ίδια θερμικά κέρδη ο A. F. Dufton έκρινε πως για τις συνθήκες του Ηνωμένου Βασιλείου ταιριάζει περισσότερο η εσωτερική θερμοκρασία των 65 °F (18.3 °C - Έναντι των 70°F) και εν συνέχεια τη θερμοκρασία βάσης ίση με 60 °F δηλαδή 15.5 °C. Αν και πλέον υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα κτίρια τόσο κατασκευαστικά όσο και στις εσωτερικές δραστηριότητες οι θερμοκρασίες βάσης των 18.3 °C για την Αμερική και των 15.5 °C για το Ηνωμένο Βασίλειο συνεχίζονται να χρησιμοποιούνται αμετάβλητες κυρίως επειδή αποτελούν κοινό σημείο αναφοράς για διευκόλυνση κατά τις συγκρίσεις με παρελθοντικές μελέτες και από συνήθεια [44].

Με αυτή την ανάδρομη γίνεται σαφές πως οι βαθμομέρες δεν εφαρμόζονται αμιγώς μόνο στα κτίρια για αυτό προκειμένου να γίνει σωστή χρήση των βαθμομερών πρέπει να είναι ξεκάθαρα δύο βασικά ζητήματα. Αρχικά το πρώτο ζήτημα σχετίζεται με τις διαφορές στη χρήση για τον κάθε τομέα ενδιαφέροντος και το δεύτερο αφορά τον τρόπο που υπολογίζονται οι βαθμομέρες. Δηλαδή δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στους τρόπους υπολογισμού των βαθμομερών, είτε υπολογίζονται για τα κτίρια είτε για την ανάπτυξη της σοδειάς, αλλά, αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία και διαφέρει από χρήση σε χρήση είναι η επιλογή και ο τρόπος επιλογής της θερμοκρασίας βάσης [44].

### 2.2.1 Η θερμοκρασία βάσης στα κτίρια

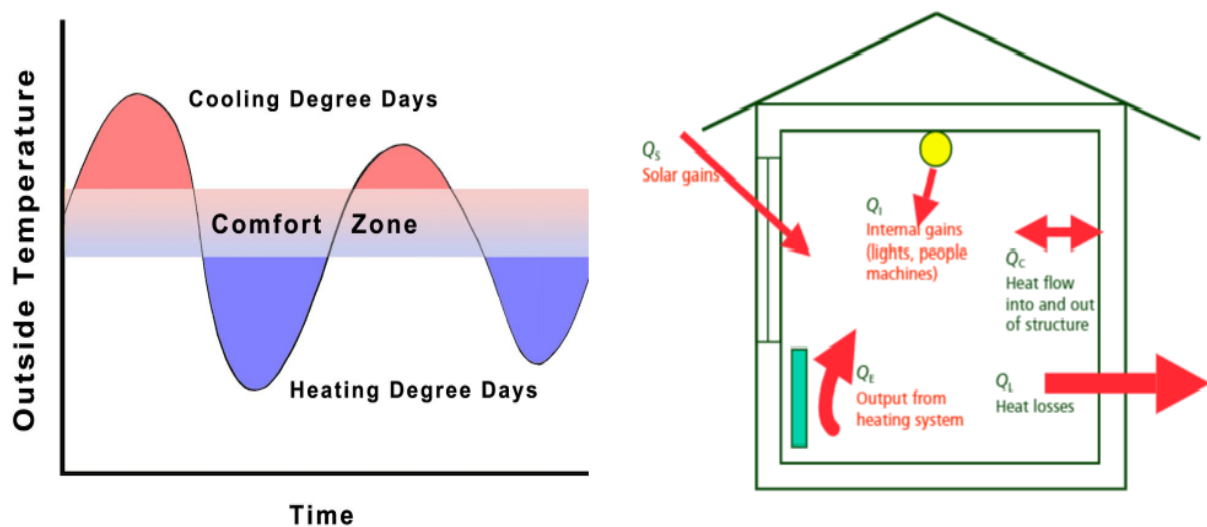
Υπάρχουν συνολικά τρία στοιχεία που πρέπει να έχουμε διαθέσιμα για την εφαρμογή των βαθμομερών. Το πρώτο είναι οι μετρήσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας για το διάστημα που μας ενδιαφέρει, το δεύτερο η ύπαρξη μιας μεθοδολογίας υπολογισμού και το τρίτο και τελευταίο, η σωστά επιλεγμένη θερμοκρασία βάσης. Τα κλιματικά δεδομένα, όπως η εξωτερική θερμοκρασία, καταγράφονται πλέον ηλεκτρονικά από τα εγκατεστημένα όργανα μέτρησης των μετεωρολογικών σταθμών με την πρόσβαση σ' αυτά να είναι συνήθως δημόσια και οι μεθοδολογίες υπολογισμού των βαθμομερών είναι ήδη διαθέσιμες - και για υπολογισμούς ακόμα και έχοντας στη διάθεσή μας ελάχιστα μετεωρολογικά δεδομένα (όπως για παράδειγμα αντί για ωριαίες τιμές θερμοκρασίας, ημερήσιες τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας ή και τιμές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας) - , αυτό όμως που χρειάζεται λεπτό χειρισμό είναι η επιλογή και ο τρόπος επιλογής της θερμοκρασίας βάσης. Η βέλτιστη κατανόηση της θερμοκρασίας βάσης για τη σωστή επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας είναι ζωτικής σημασίας διότι ο ακριβής προσδιορισμός της καθορίζει την ακρίβεια της μεθόδου των βαθμομερών. Αρχικά, παρεμβάλλοντας μια αναγκαία διευκρίνιση πριν οτιδήποτε, η 'θερμοκρασία βάσης' σαν γενική έννοια είναι εκείνη η επιλεγμένη θερμοκρασία που ορίζεται ως τέτοια για έναν σκοπό (φερειπείν η θερμοκρασία βάσης των 5.6°C που απαιτείται για την ανάπτυξη των φυτών όπως περιγράφηκε στην ιστορική αναδρομή του προηγούμενου υποκεφαλαίου) δηλαδή εν τέλει δεν δεσμεύεται αποκλειστικά σε μία χρήση αλλά πρόκειται για γενικό ορισμό. Επειδή στα κτίρια χρησιμοποιούνται διάφορες ονομασίες για να περιγράψουν τη θερμοκρασία βάσης όπως 'βασική θερμοκρασία', 'θερμοκρασία αναφοράς', 'θερμοκρασία βάσης στα κτίρια' και 'θερμοκρασία σημείου ισορροπίας' χρειάζεται να υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα του γενικού ορισμού και του συγκεκριμένου ορισμού (στα κτίρια, στην ανάπτυξη των φυτών) καθώς ουκ ολίγες φορές στη βιβλιογραφία οι ερμηνείες συγχέονται και οι ονομασίες αυτές παρουσιάζονται σαν κάτι διαφορετικό ενώ είναι ταυτόσημες. Για παράδειγμα, αν πάρουμε τη θερμοκρασία βάσης στα κτίρια (δηλαδή συγκεκριμένα και όχι γενικά) και τη θερμοκρασία σημείου ισορροπίας -που είναι οι πιο συνηθείς περιγραφικές ονομασίες- , όταν μιλάμε για τη θερμοκρασία βάσης στα κτίρια αναφερόμαστε στη θερμοκρασία σημείου ισορροπίας και vice versa, δηλαδή τη θερμοκρασία στην οποία θεωρητικά επιτυγχάνονται και διατηρούνται οι εσωτερικές συνθήκες άνεσης όπου δεν απαιτείται ούτε ανάγκη για θέρμανση ούτε για ψύξη· φαντάζει αχρείαστο και αυτονόητο ώσπου να μην είναι.

Η θερμοκρασία βάσης στα κτίρια ή η θερμοκρασία σημείου ισορροπίας λοιπόν, ορίζεται ως εκείνη η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα  $t_o$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) στην οποία για τη δεδομένη εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού  $t_i$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) του κτιρίου οι συνολικές απώλειες θερμότητας είναι ίσες με τα θερμικά κέρδη  $q_{\text{gain}}$  (W) από τους ανθρώπους, τα φώτα, τον εξοπλισμό και τον ήλιο [42-44,46].

$$q_{\text{gain}} = H_b \times (t_i - t_{\text{bal}}) \quad (2.2.3)$$

Όπου  $H_b$  ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου σε  $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ . Έτσι η θερμοκρασία σημείου ισορροπίας  $t_{\text{bal}}$  είναι:

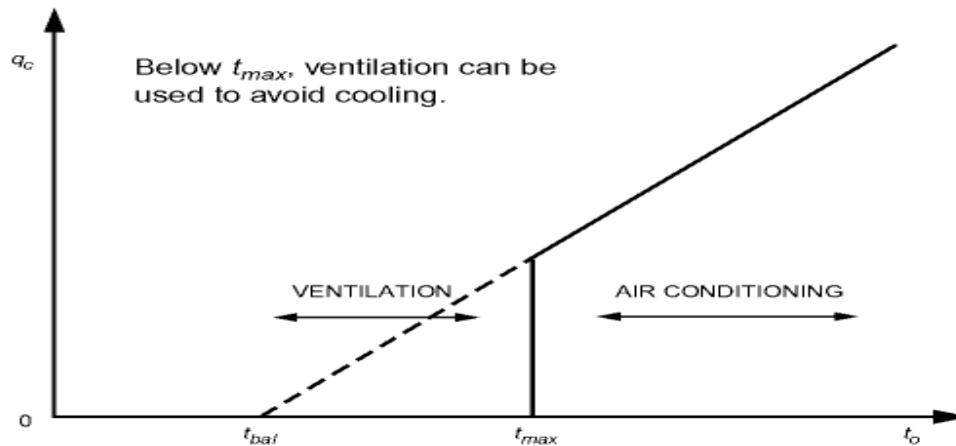
$$t_{\text{bal}} = t_i - \frac{q_{\text{gain}}}{H_b} \quad (2.2.4)$$



Εικόνα 2.13. : Η θερμοκρασία βάσης στα κτίρια που καλύπτει τη ζώνη άνεσης και οι ανάγκες για θέρμανση και ψύξη όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία βάσης και υψηλότερη αντίστοιχα (Αριστερά). Η ενεργειακή ισορροπία σε ένα θερμαινόμενο κτίριο. Οι τυπικές πηγές για τα εσωτερικά κέρδη και οι απώλειες θερμότητας (Δεξιά). Πηγές: Heating and Cooling Degree Days Weather API release! , by Colin Craig ,Dec. 12, 2007 (αριστερά) και Cibse 2006, Degree-days: theory and application (δεξιά) [44] .

Οι δύο πιο συνηθισμένες μεθοδολογίες υπολογισμού των βαθμομερών -εξαιτίας κυρίως της χρονικής εφαρμογής τους στις αρχές του 20ου αιώνα- είναι : η μέθοδος των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών της Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE) και η μέθοδος των μέγιστων και ελάχιστων ημερήσιων θερμοκρασιών και εξισώσεων της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου (UKMO). Σε αυτές τις δύο μεθοδολογίες η τιμή για τα θερμικά κέρδη λαμβάνεται υπόψιν ως μέση τιμή και θεωρείται περίπου ίση με  $2.8^{\circ}\text{C}$  και οι επιλεγμένες θερμοκρασίες βάσης στους  $18.3^{\circ}\text{C}$  για την Αμερική και στους  $15.5^{\circ}\text{C}$  για το Ηνωμένο Βασίλειο και θεωρούνται σταθερές για όλο το χρόνο. Μέσω της εφαρμογής της σταθερής βάσης - δεδομένου ότι η επιλεγμένη θερμοκρασία ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στα κλιματικά δεδομένα και τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των κτιρίων και για τις δύο χώρες- και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου των βαθμομερών με τις πραγματικές μετρήσεις της κατανάλωσης ενέργειας προκύπτει ότι η μέθοδος υπερεκτιμά τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη. Αρχικά για τη θέρμανση, αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν αυστηρότερα όρια για τη θερμομόνωση των κτιρίων, περισσότερες τοποθετήσεις στεγανών παραθύρων και θυρών, αυξανόμενη χρήση ηλεκτρικών συσκευών και τέλος ακόμα και ρύθμιση των θερμοστατών σε χαμηλότερες θερμοκρασίες εξαιτίας παροδικών ενεργειακών κρίσεων με αποτέλεσμα να υπάρχει αύξηση στα εσωτερικά θερμικά κέρδη και η θερμοκρασία βάσης που ταυτίζεται με τις καταναλώσεις να είναι πρακτικά αρκετά χαμηλότερη από τις επιλεγμένες των  $18.3^{\circ}\text{C}$  και  $15.5^{\circ}\text{C}$  σε σημείο που να φτάνει τους  $10^{\circ}\text{C}$  ή και χαμηλότερα. Για τη ψύξη υπάρχει υπερεκτίμηση των καταναλώσεων γιατί την καλοκαιρινή περίοδο δεν ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις που είναι συνήθως αποδεκτές για την χειμερινή που απαιτείται θέρμανση. Ο ρυθμός εναλλαγής του αέρα για τη χειμερινή περίοδο θεωρείται περίπου σταθερός γιατί τα παράθυρα τείνουν να είναι κλειστά κάτι που δεν συνηθίζεται το καλοκαίρι καθώς και ορισμένα εσωτερικά θερμικά κέρδη

την καλοκαιρινή περίοδο (λ.χ. από τα θερμικά σώματα) εξαλείφονται. Αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση των ψυκτικών φορτίων επειδή οι ανάγκες για ψύξη μπορούν να καλυφθούν μέσω φυσικού αερισμού και η χρήση των κλιματιστικών επομένως μπορεί να αναβληθεί. Αυτό στην ουσία φανερώνει πως η επιλεγμένη θερμοκρασία βάσης δεν είναι κατάλληλη για τα ψυκτικά φορτία και πως η πραγματική θερμοκρασία βάσης είναι πρακτικά μεγαλύτερη για τους σωστούς υπολογισμούς (εικόνα 2.14.) [42-44,46,47].



Εικόνα 2.14. : Το ψυκτικό φορτίο ως συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας, η ανακρίβεια στη χρήση μιας σταθερής θερμοκρασίας βάσης για τα ψυκτικά φορτία καθώς τα κλιματιστικά τείνουν να λειτουργούν σε μια νέα τιμή βάσης  $t_{max}$  υψηλότερη της καθορισμένης  $t_{bal}$ . Πηγή : ASHRAE handbook : fundamentals, 2001, chapter 31.17 [46].

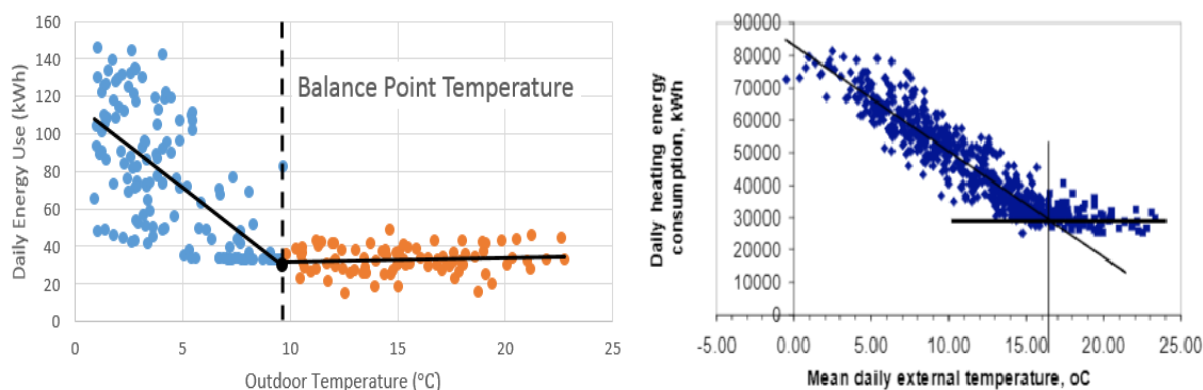
Οι εμπειρικές τιμές των καταναλώσεων που διέφεραν σημαντικά από τις εκτιμώμενες μέσω της μεθόδου καθώς και το γεγονός πως τα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου δεν είναι κοινά για το κάθε κτίριο αναδεικνύουν πως η χρήση μιας σταθερής θερμοκρασίας βάσης για όλες τις περιστάσεις είναι ακατάλληλη. Δεδομένου αυτού, πραγματοποιήθηκαν αρκετές προσπάθειες για την αύξηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μεθόδου μέσω διορθωτικών συντελεστών και με μεθόδους μεταβλητής βάσης (Variable base degree day method) με θερμοκρασίες βάσης διαφορετικές για την ημέρα και τη νύχτα (Split-day methods) και θερμοκρασίες βάσης διαφορετικές για την περίοδο θέρμανσης και την περίοδο ψύξης [42,44,47]. Έτσι προκύπτει πως είναι προτιμότερο για θέματα ακριβείας να χρησιμοποιείται μια μέθοδος μεταβλητής βάσης που αντιμετωπίζει τη θερμοκρασία βάσης ως μη σταθερή και που αναγνωρίζει πως αλλάζει από μέρα σε μέρα, από περιοχή σε περιοχή και από κτίριο σε κτίριο. Συνεπώς για τη σωστή επιλογή της θερμοκρασίας βάσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή αλλά και οι κανονισμοί για τα κτίρια που σχετίζονται με τις κατασκευαστικές ιδιότητες των κτιρίων, ακόμα όμως και με αυτές τις υποδείξεις για μεταβλητή θερμοκρασία βάσης, η χρήση της σταθερής για όλες τις στιγμές διατηρείται και συνεχίζεται να χρησιμοποιείται. Στην Αμερική και το Ηνωμένο Βασίλειο η σταθερή θερμοκρασία βάσης των 18.3 και 15.5 λειτουργεί κυρίως ως ένα κοινό πλαίσιο αναφοράς που επιτρέπει εύκολες συγκρίσεις με παρελθοντικές έρευνες, ωστόσο υπάρχουν και χώρες που υιοθετούν τη θερμοκρασία βάσης των 18.3 από το εγχειρίδιο της ASHRAE [47] μολονότι στο ίδιο επισημαίνεται ρητά πως η θερμοκρασία των 18.3 είναι κατάλληλη για τις συνθήκες της Αμερικής και πως η χρήση των 18.3 για όλες τις περιστάσεις πρέπει να αποφεύγεται ακόμα και από την ίδια (την Αμερική) [46]. Στην Ελλάδα στην 3η Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (TOTEE 20701-3/2010), στο κεφάλαιο για τις βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης αναφέρεται πως η θερμοκρασία αναφοράς συνήθως λαμβάνεται ίση με 18°C για τις βαθμομέρες θέρμανσης και πως η θερμοκρασία αναφοράς συνήθως λαμβάνεται ίση με 26°C για τις βαθμομέρες ψύξης [17], όμως δεν διευκρινίζεται αν αυτή η θερμοκρασία αναφοράς είναι κατάλληλη για τα Ελληνικά δεδομένα ή είναι αυτή που «συνήθως» χρησιμοποιείται διεθνώς στις μεθοδολογίες. Εν ολίγης, -παρόλο που κατέχει σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της μεθόδου- δεν γίνεται ουσιαστική μέριμνα στη θερμοκρασία βάσης και τον σωστό προσδιορισμό της εξού και η διάκριση της μεθόδου των βαθμομερών για ευκολία στη χρήση και ταχύτητα.

Ο ακριβέστερος προσδιορισμός της θερμοκρασίας βάσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους.

1. Με τη μέθοδο ενεργειακής υπογραφής (Energy signature method).

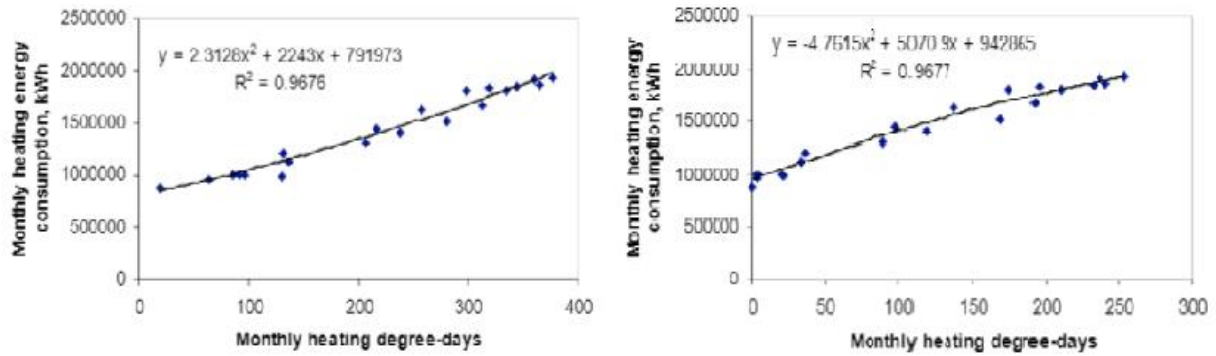
## 2. Με τη μέθοδο της γραμμικής επίδοσης (Performance line method).

Η μέθοδος της ενεργειακής υπογραφής σχετίζεται με τη δημιουργία ενός διαγράμματος της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας και της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα όπου η θερμοκρασία βάσης προσδιορίζεται σε εκείνο το σημείο όπου αλλάζει η κλίση και η κατανάλωση ενέργειας σταθεροποιείται σε ένα βασικό φορτίο όπου δεν υπάρχει κατανάλωση για τη θέρμανση των χώρων (Εικόνα 2.15.). Με αυτό τον τρόπο δύναται να έχουμε μια πρώτη εκτίμηση για την αρμόζουσα θερμοκρασία βάσης του κτιρίου και μέσω δοκιμών για τη μεγιστοποίηση του συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) [44].

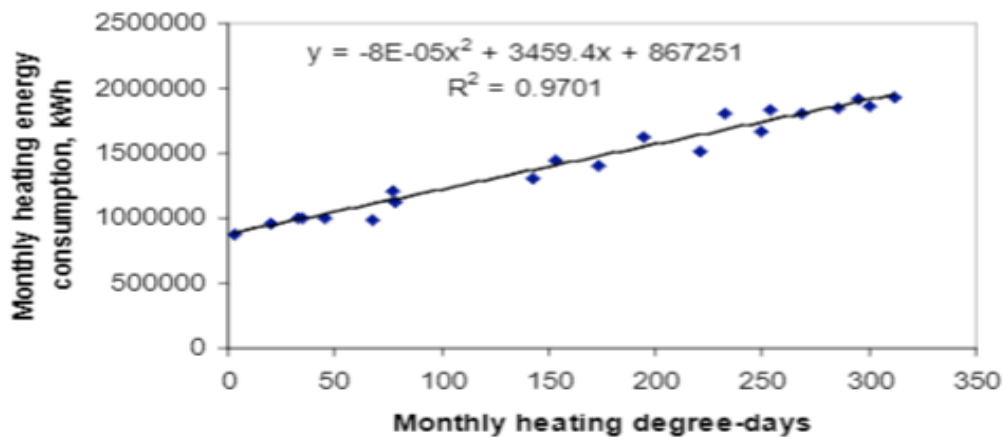


Εικόνα 2.15. : Παραδείγματα της μεθόδου της ενεργειακής υπογραφής για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας βάσης στα κτίρια. Πηγές: Wikipedia : Balance point temperature (Αριστερά) και Cibse 2006, Degree-days: theory and application (δεξιά) [44].

Επειδή χρειάζεται να υπάρχουν διαθέσιμα πάρα πολλά δεδομένα για την εφαρμογή της μεθόδου της ενεργειακής υπογραφής συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής επίδοσης για τον προσδιορισμό της γραμμής βάσης. Σε αυτή τη μέθοδο τοποθετούνται σε διαγράμματα η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας και οι βαθμοημέρες θέρμανσης ή και ψύξης που υπολογίζονται από ένα εύρος πιθανών θερμοκρασιών βάσης και στη συνέχεια μέσω εφαρμογής πολυωνυμικών εξισώσεων δευτέρου βαθμού της μορφής  $y = ax^2 + bx + c$  εκτιμάται η καμπυλότητα. Σε διαγράμματα όπου η θερμοκρασία βάσης υπερεκτιμάται η μεταβλητή  $a$  είναι θετική που οδηγεί σε μια ανοδική καμπύλη (upward curve) (Εικόνα 2.16.) και όταν η μεταβλητή  $a$  είναι αρνητική τότε η καμπύλη είναι καθοδική (downward curve) (Εικόνα 2.16.). Στα διαγράμματα όμως που η θερμοκρασία βάσης είναι η πιο κατάλληλη, η μεταβλητή  $a$  προσεγγίζει το μηδέν (Εικόνα 2.17.) και με αυτά τα κριτήρια επιλέγεται [44].



Εικόνα 2.16 : Διαγράμματα μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας και βαθμομερών θέρμανσης όπου η εξίσωση έχει ανοδική καμπύλη στην πρώτη περίπτωση (αριστερά) με την επιλεγμένη θερμοκρασία βάσης στους 18.5 °C όπου η μεταβλητή a καταλήγει να είναι θετική (2.3128) και συνεπώς αντιλαμβανόμαστε ότι η επιλεγμένη θερμοκρασία βάσης είναι μεγαλύτερη από την σωστή του κτιρίου και αντίστοιχα καθοδική στην δεύτερη περίπτωση που η επιλεγμένη θερμοκρασία βάσης επιλέχθηκε στους 14.5 °C και η μεταβλητή a είναι αρνητική (-4.7515). Πηγή : Cibse 2006, Degree-days: theory and application [44].



Εικόνα 2.17 : Διάγραμμα μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας και βαθμομερών θέρμανσης όπου η μεταβλητή a τείνει στο μηδέν με την επιλογή μιας θερμοκρασίας βάσης στους 16.4 °C και ακριβώς επειδή τείνει στο μηδέν θεωρείται μέσω της μεθόδου κατάλληλη για το συγκεκριμένο κτίριο. Πηγή : Cibse 2006, Degree-days: theory and application [44].

## 2.2.2 Υπολογισμός βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης

Οι βαθμομέρες, όπως αναφέρθηκε πριν το υποκεφάλαιο της θερμοκρασία βάσης, είναι το σύνολο των θερμοκρασιακών διαφορών της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα και μιας καθορισμένης θερμοκρασίας βάσης για ένα συγκεκριμένο διάστημα. Πλέον με την τεχνολογική ανάπτυξη είναι δυνατόν οι θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα, που μετρούνται από τα εγκατεστημένα όργανα, να καταγράφονται ηλεκτρονικά και αυτόματα με ωριαίο βήμα ή και μικρότερο ,δεδομένου πάντα, ότι, υπάρχει διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος με αποτέλεσμα ο υπολογισμός των βαθμομερών να είναι πιο ακριβής απ' ότι συνήθιζε. Ωστόσο, επειδή οι πρώτες εφαρμογές της μεθόδου πραγματοποιήθηκαν πριν από σχεδόν έναν αιώνα, σε μια εποχή που δεν υπήρχε η ίδια δυνατότητα καταγραφής δεδομένων με τη σημερινή, αναπτύχθηκαν αρκετοί τρόποι υπολογισμού των βαθμομερών ακόμα και για περιπτώσεις που υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα διαθέσιμα. Οι τρόποι υπολογισμού συνοψίζονται σε τέσσερις βασικούς και όσοι τρόποι χρησιμοποιούνται είναι στην ουσία παραλλαγές αυτών. Οι τέσσερις τρόποι υπολογισμού σε εξάρτηση με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα είναι οι εξής:

- ◆ Υπολογισμός με τη χρήση ωριαίων δεδομένων θερμοκρασίας.

- ◆ Υπολογισμός με τη χρήση μέγιστων και ελάχιστων ημερήσιων θερμοκρασιών.
- ◆ Υπολογισμός με τη χρήση μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών.
- ◆ Άμεσος υπολογισμός από την χρήση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας. [25,44].

Αν και η ωριαία μέθοδος θα είναι πάντα η καταλληλότερη είναι σημαντικό να υπάρχει μια συγκέντρωση των πιο διαδεδομένων τρόπων υπολογισμού που αναπτύχθηκαν καθώς έτσι δημιουργείται μια ολοκληρωμένη εικόνα της ιστορίας, των εναλλακτικών μεθόδων στη περίπτωση που υπάρχουν λιγότερα δεδομένα διαθέσιμα αλλά και μια σαφή ιδέα για τα κριτήρια επιλογής και απόρριψης της μίας μεθόδου από την άλλη.

### 2.2.2.1 Η ωριαία μέθοδος υπολογισμού

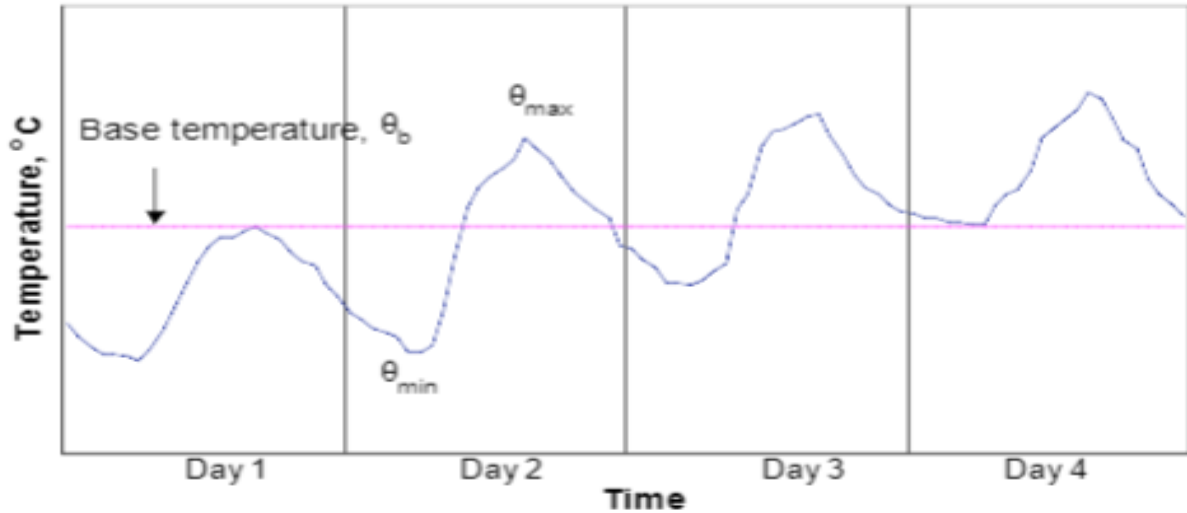
Η ωριαία μέθοδος χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό των βαθμομερών ωριαία δεδομένα της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα και είναι η πιο ακριβής μέθοδος υπολογισμού. Στην ωριαία μέθοδο οι τιμές της θερμοκρασίας αθροίζονται και διαιρούνται με το 24 και στη συνέχεια η μέση τιμή αφαιρείται με ή από τη θερμοκρασία βάσης όπως φαίνεται στις εξισώσεις 2.2.1 και 2.2.2 . Σε αυτή την μέθοδο συμπεριλαμβάνονται και οι υπολογισμοί για μετρήσεις της θερμοκρασίας για πιο τακτά χρονικά διαστήματα όπως για παράδειγμα μετρήσεις ανά μισή ώρα αλλά δεν υπάρχουν πολλά οφέλη σε θέματα ακριβείας. Για τη χρήση περισσότερων μετρήσεων από τις συνηθισμένες των 24 , όπως στη περίπτωση της μισής ώρας , για τον υπολογισμό η διαίρεση πραγματοποιείται με το συνολικό αριθμό των μετρήσεων (στην προκειμένη το 48- καθώς πρόκειται για μισάωρες μετρήσεις) [44].

### 2.2.2.2 Οι εξισώσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου

Οι εξισώσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου συχνά αναφερόμενες και ως εξισώσεις του McVicker ή και του Οργανισμού Αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου (British Gas) αποτελούν την καθιερωμένη μεθοδολογία υπολογισμού της ομώνυμης χώρας από το 1928. Ο υπολογισμός των ημερήσιων βαθμομερών πραγματοποιείται από την επιλογή της κατάλληλης εξίσωσης από ένα σύνολο τεσσάρων δυνατών εξισώσεων, με βάση της σχέση των ημερήσιων μέγιστων και ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας με τη θερμοκρασία βάσης (Εικόνα 2.18.).

Για οποιαδήποτε μέρα οι τιμές της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας υπάγονται αναγκαία σε τέσσερις δυνατές περιπτώσεις σε σχέση με τη θερμοκρασία βάσης.

- 1η περίπτωση: Η θερμοκρασία βάσης ξεπερνά τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία,  $\theta_b > \theta_{max}$  .
- 2η περίπτωση: Η διαφορά της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας με τη θερμοκρασία βάσης είναι λιγότερη από τη διαφορά της θερμοκρασίας βάσης με την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία,  $(\theta_{max} - \theta_b) < (\theta_b - \theta_{min})$  .
- 3η περίπτωση: Η διαφορά της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας με τη θερμοκρασία βάσης είναι περισσότερη από τη διαφορά της θερμοκρασίας βάσης με την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία,  $(\theta_{max} - \theta_b) > (\theta_b - \theta_{min})$  .
- 4η περίπτωση: Η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τη θερμοκρασία βάσης,  $\theta_{min} > \theta_b$  .



Εικόνα 2.18. : Οι τέσσερις διαφορετικές σχέσεις της θερμοκρασίας βάσης με τις μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας με τη σειρά που αναφέρθηκαν. Πηγή : Cibse 2006, Degree-days: theory and application [44].

Έτσι αναλόγως την περίπτωση επιλέγεται η κατάλληλη εξίσωση υπολογισμού και αφού πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των ημερήσιων βαθμομερών στην συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το επιθυμητό διάστημα. Οι συνθήκες και οι εξισώσεις για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης είναι οι ακόλουθοι.

Περίπτωση	Συνθήκη	Ημερήσιες Βαθμομέρες Θέρμανσης
1	$\theta_{max} \leq \theta_b$	$\theta_b - \frac{1}{2} \times (\theta_{max} + \theta_{min})$
2	$\theta_{min} < \theta_b$ ; και $(\theta_{max} - \theta_b) < (\theta_b - \theta_{min})$	$\frac{1}{2} \times (\theta_b - \theta_{min}) - \frac{1}{4} \times (\theta_{max} - \theta_b)$
3	$\theta_{max} > \theta_b$ ; και $(\theta_{max} - \theta_b) > (\theta_b - \theta_{min})$	$\frac{1}{4} \times (\theta_b - \theta_{min})$
4	$\theta_{min} \geq \theta_b$	0

Πίνακας 2.1. : Οι εξισώσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης. Πηγή : Cibse 2006, Degree-days: theory and application [44].

Περίπτωση	Συνθήκη	Ημερήσιες Βαθμομέρες Ψύξης
1	$\theta_{min} \geq \theta_b$	$\frac{1}{2} \times (\theta_{max} + \theta_{min}) - \theta_b$
2	$\theta_{max} > \theta_b$ ; και $(\theta_{max} - \theta_b) > (\theta_b - \theta_{min})$	$\frac{1}{2} \times (\theta_{max} - \theta_b) - \frac{1}{4} \times (\theta_b - \theta_{min})$
3	$\theta_{min} < \theta_b$ ; και $(\theta_{max} - \theta_b) < (\theta_b - \theta_{min})$	$\frac{1}{4} \times (\theta_{max} - \theta_b)$
4	$\theta_{max} \leq \theta_b$	0

Πίνακας 2.2. : Οι εξισώσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου για τον υπολογισμό των βαθμομερών ψύξης. Πηγή : Cibse 2006, Degree-days: theory and application [44].

Οι συντελεστές των 0.5 και 0.25 που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις προήλθαν από τη διαδικασία δοκιμής και σφαλμάτος (trial and error). Σε πρόσφατες αναλυτικές μελέτες πάνω στους συντελεστές για τη ακρίβεια της μεθόδου, φαίνεται πως η μέθοδος έχει την τάση για την δεύτερη περίπτωση να



υπολογίζει λιγότερες βαθμομέρες και για την τρίτη περίπτωση να υπερεκτιμά την τιμή των βαθμομερών ωστόσο αυτά τα συμπεράσματα δεν ισχύουν πάντα και οι δύο αυτές τάσεις διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή [44].

### 2.2.2.3 Η μέθοδος των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών

Η μέθοδος των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών αποτελεί τη μέθοδο που παρουσιάζεται στο εγχειρίδιο της ASHRAE και εφαρμόζεται σε χώρες όπως η Αμερική και η Γερμανία όπου για τον υπολογισμό των βαθμομερών υπολογίζεται η μέση ημερήσια θερμοκρασία από το άθροισμα της μέγιστης και της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας διαιρούμενο δια δύο. Με τη μέθοδο αυτή οι βαθμομέρες υπολογίζονται με τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$HDD = \sum (T_b - T_m)^+ \quad (2.2.5)$$

Όπου  $T_b$  η θερμοκρασία βάσης,  $T_m$  η μέση ημερήσια θερμοκρασία  $\frac{(T_{max} + T_{min})}{2}$  και το θετικό πρόσημο υποδηλώνει πως για το άθροισμα των βαθμομερών θέρμανσης λαμβάνονται υπόψιν μόνο οι θετικές τιμές δηλαδή ισχύει ότι  $T_b > T_m$ .

$$CDD = \sum (T_m - T_b)^+ \quad (2.2.6)$$

Αντίστοιχα για τις βαθμομέρες ψύξης λαμβάνονται υπόψιν μόνο οι θετικές τιμές και ισχύει ότι  $T_m > T_b$ .

### 2.2.2.4 Η μέθοδος της μέσης μηνιαία θερμοκρασίας

Η μέθοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας χρησιμοποιεί τις τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά την αθροιστική διαφορά με την επιλεγμένη θερμοκρασία βάσης και στη συνέχεια το αποτέλεσμα της διαφοράς πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των ημερών του εκάστοτε μήνα για τον υπολογισμό των μηνιαίων φορτίων. Οι βαθμομέρες συνεπώς υπολογίζονται ως εξής.

$$HDD = \sum (N_{mo} \times (T_b - T_{o,m})^+) \quad (2.2.7)$$

Όπου  $N_{mo}$  οι μέρες του μήνα και  $T_{o,m}$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία του συγκεκριμένου μήνα.

$$CDD = \sum (N_{mo} \times (T_{o,m} - T_b)^+) \quad (2.2.8)$$

### 2.2.2.5 Η μέθοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας των Schoenau και Kehrigh

Μια παραλλαγή της μεθόδου της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας είναι αυτή των Schoenau και Kehrigh. Ο τρόπος υπολογισμού των βαθμομερών είναι λίγο πιο σύνθετος ωστόσο η μέθοδος εφαρμόζοντας τις αρχές της κανονικής κατανομής (normal distribution) μπορεί να υπολογίσει τις βαθμομέρες για οποιαδήποτε θερμοκρασία βάσης έχοντας διαθέσιμους μόνο δύο κλιματικούς συντελεστές, την τυπική απόκλιση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών του μήνα  $S_d$  και της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας  $T_m$ . Η μέθοδος υποθέτει πως οι τιμές της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας  $T$  είναι διασκορπισμένες γύρω από την μέση μηνιαία θερμοκρασία και σε κανονική κατανομή. Με αυτά δεδομένα, αρχικά οι μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης υπολογίζονται ως εξής [48].

$$HDD_m = N \times S_d \int_{-\infty}^{Z_b} (Z_b - Z) f(Z) dZ \quad (2.2.9)$$

Όπου :

$N$ : οι μέρες του μήνα.

$S_d$ : η τυπική απόκλιση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών του εκάστοτε μήνα.

$$Z = (T - T_m) \times S_d^{-1}$$

$$Z_b = (T_b - T_m) \times S_d^{-1}$$

$f(Z)$  η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που δίνεται από τον τύπο:

$$f(Z) = (2 \times \pi)^{-\frac{1}{2}} \times \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right)$$

Ολοκληρώνοντας την εξίσωση 2.2.9 προκύπτει τελικά ότι οι μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης υπολογίζονται από τον τύπο:

$$HDD_m = N \times S_d \times [Z_b F(Z_b) + f(Z_b)] \quad (2.2.10)$$

Όπου η συνάρτηση  $F(Z_b)$  η συνάρτηση αθροιστικής κανονικής πιθανότητας (cumulative normal probability function).

Στις ίδιες βάσεις οι μηνιαίες βαθμομέρες ψύξης υπολογίζονται ως εξής.

$$CDD_m = N \times S_d \int_{Z=Z_b}^{+\infty} (Z_b - Z) f(Z) dZ \quad (2.2.11)$$

Ολοκληρώνοντας την εξίσωση 2.2.11 τελικά οι μηνιαίες βαθμομέρες ψύξης υπολογίζονται από το τύπο:

$$CDD_m = N \times S_d \times [Z_b \times (F(Z_b) - 1) + f(Z_b)] \quad (2.2.12)$$

### 2.2.2.6 Η μέθοδος του Hitchin

Η μέθοδος του Hitchin σχετίζεται με τις εξισώσεις που ανέπτυξε ο Hitchin το 1983 για τον υπολογισμό των μηνιαίων βαθμομερών θέρμανσης χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για το κλίμα του Ηνωμένου Βασιλείου. Οι μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης υπολογίζονται σύμφωνα με τις εξισώσεις του Hitchin ως εξής.

$$HDD_m = \frac{N_m \times (\theta_b - \theta_{o,m})}{1 - e^{-k(\theta_b - \theta_{o,m})}} \quad (2.2.13)$$

Όπου:

$N_m$  : οι μέρες του μήνα.

$\theta_{o,m}$  : η τιμή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας.

και  $k$  μια σταθερά εξαρτημένη από την τοποθεσία, που υπολογίζεται από τον τύπο :

$$k = \frac{2.5}{\sigma_\theta} \quad \text{όπου: } \sigma_\theta : \text{ η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας του μήνα.}$$

Επειδή η τυπική απόκλιση δεν είναι εύκολα διαθέσιμη για τον μέσο μελετητή και χρήστη της μεθόδου ο Hitchin προσδιόρισε ορισμένες τιμές για το  $k$  για διαφορετικές περιοχές του Ηνωμένου Βασιλείου που καλύπτουν ένα εύρος από 0.66 έως και 0.78 και όρισε την τιμή 0.71 κατάλληλη για την ενδοχώρα και πως με αυτή τη χρήση υπήρχαν ελάχιστες διαφορές στο τελικό αποτέλεσμα. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι πως μπορεί να παράξει γρήγορα αποτελέσματα με ελάχιστα δεδομένα όμως αντιμετωπίζει προβλήματα ακρίβειας για χαμηλές τιμές του  $(\theta_b - \theta_{o,m})$  [44].

### 2.2.2.7 Η μέθοδος των Erbs et al.

Η μέθοδος των Erbs et al. αφορά το μοντέλο υπολογισμού των βαθμομερών που αναπτύχθηκε το 1983 και το μόνο που χρειάζεται να υπάρχει διαθέσιμο για τους υπολογισμούς είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία  $t_o$  του κάθε μήνα. Ο υπολογισμός των βαθμομερών είναι αρκετά πιο σύνθετος ωστόσο το γεγονός ότι απαιτείται μόνο η τιμή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για του υπολογισμούς καθιστά τη μέθοδο ένα αρκετά πολύτιμο εργαλείο ειδικά για τις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν διαθέσιμα περισσότερα δεδομένα [46]. Για τον υπολογισμό των βαθμομερών χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι.

$$DD_h(t_{bal}) = \sigma_m \times N^{1.5} \left[ \frac{\phi}{2} + \frac{\ln(e^{-a \times \phi} + e^{a \times \phi})}{2a} \right] \quad (2.2.14)$$

Όπου:  $\sigma_m$  : η μηνιαία τυπική απόκλιση που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sigma_m = 3.54 - 0.0290 \times \bar{t}_o + 0.0644 \times \sigma_{yr}$$

Όπου:  $\sigma_{yr}$  : η ετήσια τυπική απόκλιση που υπολογίζεται από τον τύπο:

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

$t_{o,yr}$  : η μέση ετήσια θερμοκρασία

$$\phi : \text{ μια μεταβλητή που υπολογίζεται από τον τύπο : } \phi = \frac{\bar{t}_{bal} - \bar{t}_o}{\sigma_m \times \sqrt{N}}$$

N: οι μέρες του μήνα.

$$a = 1.698$$

### 2.2.3 Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την εκπόνηση της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομημέρες θέρμανσης. Οι ετήσιες βαθμομημέρες θέρμανσης για την ζώνη Α κυμαίνονται μεταξύ 601 έως και 1100 , για τη ζώνη Β από 1101 έως και 1600, για τη ζώνη Γ από 1601 έως και 2200 και για τη ζώνη Δ από 2201 έως και 2620 [25]. Σε περίπτωση που κάποια περιοχή ενός νομού βρίσκεται σε υψόμετρο 500 μέτρων τότε θεωρείται πως ανήκει (η περιοχή) στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από αυτή του νομού εκτός από τις περιπτώσεις που ο νομός ήδη βρίσκεται στην τελευταία ζώνη Δ [13,15,17].

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
<b>ΖΩΝΗ Α</b>	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
<b>ΖΩΝΗ Β</b>	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
<b>ΖΩΝΗ Γ</b>	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
<b>ΖΩΝΗ Δ</b>	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Πίνακας 2.3. : Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη. Πηγή : Απόφαση ΔΕΠΕΑ/οικ.178581: «Εγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων» -ΦΕΚ 2367/Β' 12.7.2017 [15].



---

# **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**

## **Μεθοδολογία έρευνας**

---

## 3. Μεθοδολογία έρευνας

### 3.1 Γενικά εισαγωγικά

Με την ολοκλήρωση της θεωρίας έχει πλέον διαμορφωθεί το περίγραμμα της εργασίας, όμως προκειμένου να υπάρξει ένα ολοκληρωμένο σχήμα και μορφή χρειάζεται να γίνει μια μετάβαση από το γενικό της θεωρίας στο ειδικό του αντικειμένου αυτής της διπλωματικής, δηλαδή στον τρόπο υπολογισμού της καταναλισκόμενης ενέργειας μιας μονοκατοικίας για την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών μέσω της μεθόδου των βαθμομερών. Στο παρόν κεφάλαιο της μεθοδολογίας συγκεντρώνονται λεπτομερώς όλες οι πληροφορίες και τα διαδοχικά βήματα που πάρθηκαν για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω των βαθμομερών. Με αυτό τον τρόπο προλειαίνεται το έδαφος για το επόμενο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων και μέσω της αναλυτικής παρουσίασης των βημάτων παρέχεται επίσης και μια σαφή εικόνα της μεθοδολογίας που κάνει εύκολη την υιοθέτηση και την επαναληψιμότητά της. Συγκεκριμένα σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται πληροφορίες για τα ακόλουθα:

- ❖ Τα κλιματικά δεδομένα.
- ❖ Τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά της μονοκατοικίας.
- ❖ Την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου των βαθμομερών και τον υπολογισμό τους.
- ❖ Τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων.
- ❖ Τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.
- ❖ Τον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας και το ποσοστό εκπομπών CO<sub>2</sub>.

### 3.2 Τα κλιματικά δεδομένα

Πριν γίνει αναφορά στον τρόπο συλλογής και επεξεργασίας των κλιματικών δεδομένων, χρειάζεται να έχει προσδιοριστεί η περιοχή που πρόκειται να μελετηθεί και τα σημεία που είναι εφικτό να αποκτήσουμε τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα. Η περιοχή που επιλέχθηκε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας με πρώτο κριτήριο την ποσοτική διαθεσιμότητα μετεωρολογικών σταθμών είναι η Αθήνα. Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα και η μεγαλύτερη και πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της Ελλάδος με πληθυσμό 3.792.469, σε ποσοστό 36,35 % από το σύνολο της επικράτειας (10.432.481) [49] και βρίσκεται νοτιοανατολικά της Στερεάς Ελλάδας. Για τον έλεγχο διαθεσιμότητας μετεωρολογικών σταθμών αρχικά έγινε επίσκεψη στον ιστότοπο του Meteo.gr (\*) και επιλέχθηκε η καρτέλα ‘μετεωρολογικοί σταθμοί’ στην ενότητα ‘Ο καιρός τώρα (Live)’ (Εικόνα 3.1.). Παρατηρώντας τον χάρτη (Εικόνα 3.2.) γίνεται φανερό πως για την περιοχή της Αθήνας υπάρχει μεγάλος αριθμός διαθέσιμων εγκατεστημένων σταθμών που μπορεί να γίνει η επιλογή των δεδομένων. Για τις απαιτήσεις της εργασίας και προκειμένου να αναδειχθεί ο επηρεασμός της κατανάλωσης ενέργειας, επιλέχθηκαν συνολικά δέκα μετεωρολογικοί σταθμοί για διάφορα σημεία της Αθήνας με βασικά κριτήρια να υπάρχουν σταθμοί αντιπροσωπευτικοί του κέντρου της πόλης αλλά και περιοχών εξώτερα απ’ αυτό (όπως συνηθίζεται σε παρόμοιες μελέτες) καθώς και να υπάρχει διαθεσιμότητα δεδομένων για τουλάχιστον μία τετραετία.

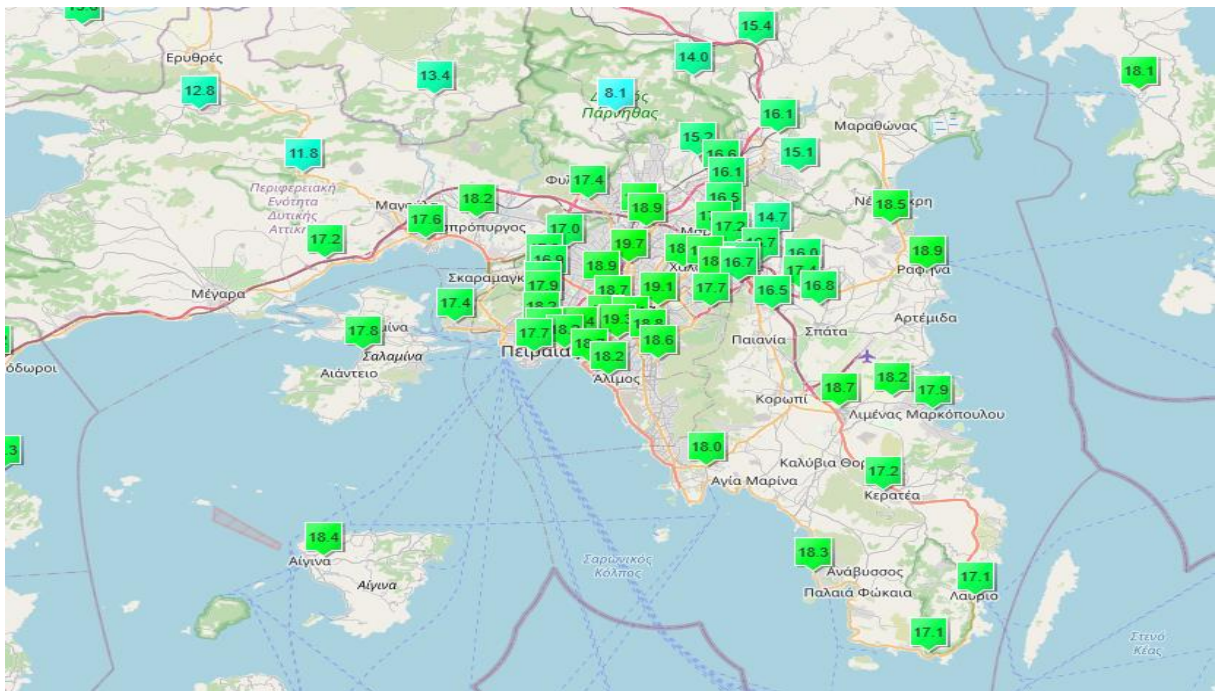
---

\*5. Ο κόμβος του Meteo.gr αποτελεί την ελληνική και απλουστευμένη έκδοση της ήδη υπάρχουσας σελίδας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και ο σχεδιασμός και η ανάπτυξή του έγιναν με σκοπό την παροχή απλουστευμένων προγνώσεων καιρού για το ευρύ κοινό. Πηγή: [Σχετικά με το meteo.gr - <https://www.meteo.gr/about-meteo.cfm>].

Για τον έλεγχο της χρονικής εγκατάστασης του σταθμού και κατ' επέκταση την έναρξη καταγραφής των δεδομένων χρειάστηκε να γίνει πλοήγηση από την αρχική σελίδα του Meteo.gr , αυτή τη φορά, στην καρτέλα 'meteosearch' που βρίσκεται στην ενότητα 'Ενημέρωση' (Εικόνα 3.1.).



Εικόνα 3.1. : Οι διαθέσιμες ενότητες του ιστοτόπου Meteo.gr και ορισμένοι διαθέσιμοι σύνδεσμοι για τη πλοήγηση σε ορισμένες υπηρεσίες. Πηγή : Meteo.gr .



Εικόνα 3.2. : Το σύνολο των διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών στην Αθήνα. Πηγή : <https://www.meteo.gr/Gmap.cfm> .

Δεδομένου ότι οι δέκα περιοχές είχαν ήδη επιλεγθεί, χρειάζεται να γίνει εύρεση αυτών στην σελίδα του meteosearch. Στην σελίδα του meteosearch υπάρχουν δύο κελιά με συγκεκριμένες επιλογές, όπου για την εύρεση του σταθμού χρειάζεται να επιλεγθεί πρώτα η περιφέρεια στην οποία ανήκει ο σταθμός (στην περίπτωση μας της Αττικής) και στη συνέχεια στο δεύτερο κελί με τα φιλτραρισμένα πλέον αποτελέσματα να επιλεγθεί ο σταθμός. Μετά την εύρεση του σταθμού οδηγούμαστε σε μια σελίδα όπου παρέχονται οι πληροφορίες για τον συγκεκριμένο σταθμό καθώς και επίσης παρέχεται η δυνατότητα για αναζήτηση και εύρεση των ιστορικά καταγεγραμμένων δεδομένων από τη έναρξη της λειτουργίας του. Σε πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος των δέκα σταθμών με το κριτήριο για τουλάχιστον τετραετή λειτουργία από τις πληροφορίες που παρέχονται με την ακόλουθη μορφή: «Παρακαλούμε

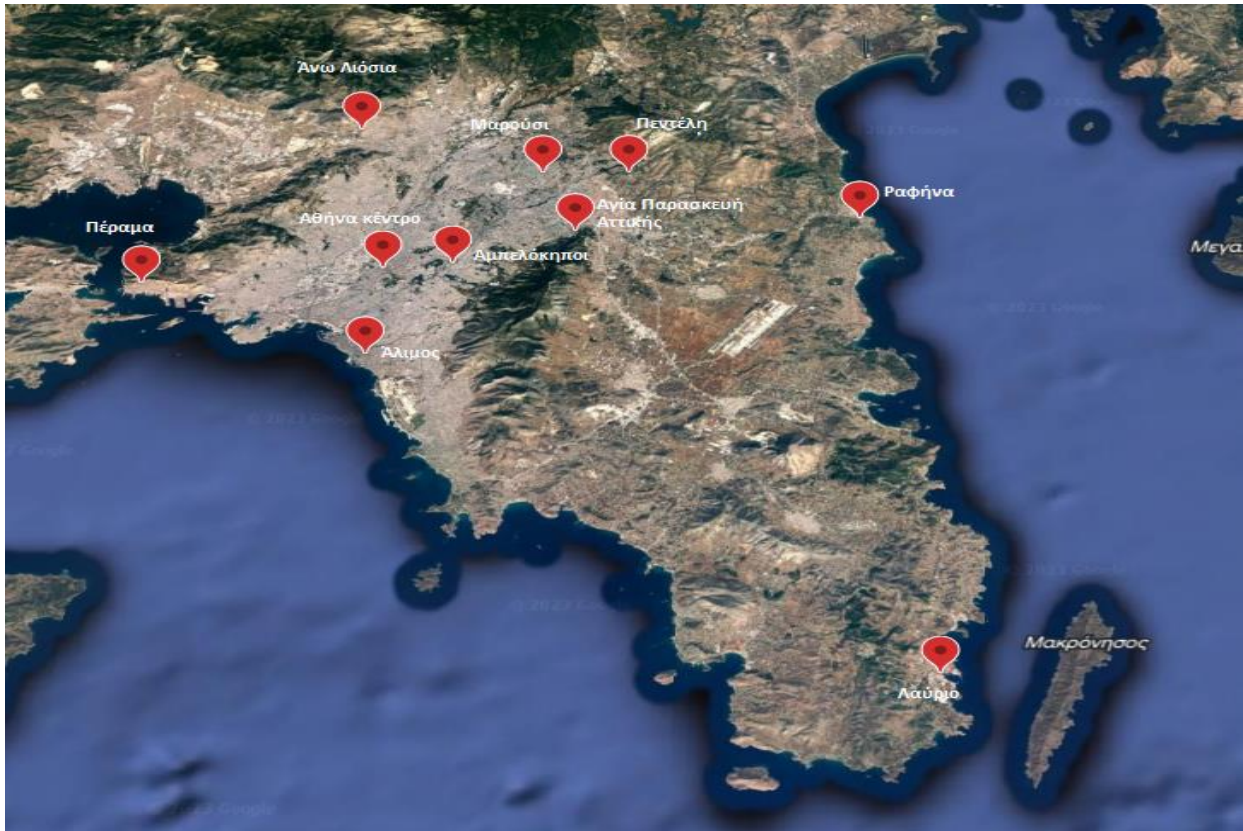
επιλέξτε τον μήνα και το έτος από το μενού παρακάτω που επιθυμείτε να πάρετε δεδομένα έχοντας υπ' όψιν ότι ο σταθμός ξεκίνησε να παρέχει δεδομένα από τον μήνα '(συγκεκριμένος μήνας)' του '(χρονολογία έναρξης)'. Πριν την ημερομηνία αυτή δεν υπάρχουν δεδομένα για τον σταθμό αυτό. ». Έχοντας πραγματοποιήσει τον έλεγχο για τις δέκα επιλεγμένες περιοχές και εφόσον υπήρχαν δεδομένα για επαρκές χρονικό διάστημα πλέον μένει μόνο ο τρόπος συλλογής και διαχείρισης των δεδομένων. Οι δέκα περιοχές παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3.1) με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και απεικονίζονται και σε έναν χάρτη για λόγους παραστατικότητας (Εικόνα 3.3.). Οι δύο σταθμοί που επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικοί για το κέντρο της πόλης είναι οι σταθμοί 'Αθήνα κέντρο' και 'Αμπελόκηποι'.

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Απόσταση από το 1 <sup>ο</sup> κέντρο (km)	Απόσταση από το 2 <sup>ο</sup> κέντρο (km)
Αθήνα Κέντρο	50	37° 58' 42"	23° 42' 55"	-	3.8
Αμπελόκηποι	136	37° 58' 54"	23° 45' 30"	3.8	-
Άλιμος	25	37° 55' 03"	23° 42' 38"	6.76	8.27
Αγ. Παρασκευή	273	38° 00' 17"	23° 49' 59"	10.76	7.05
Μαρούσι	235	38° 02' 54"	23° 48' 35"	11.38	8.67
Άνω Λιόσια	182	38° 04' 54"	23° 41' 29"	11.65	12.55
Πέραμα	45	37° 58' 02"	23° 34' 02"	13.06	16.87
Πεντέλη	495	38° 02' 50"	23° 51' 53"	15.19	11.84
Ραφήνα	25	38° 00' 54"	24° 00' 38"	26.25	22.46
Λαύριο	2	37° 42' 40"	24° 03' 20"	42.15	39.83

Πίνακας 3.1. : Οι επιλεγμένοι σταθμοί που θα συλλεχθούν τα δεδομένα και σχετικές πληροφορίες για αυτούς.

Το υψόμετρο, το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος συλλέχθηκαν από την σελίδα <https://www.meteo.gr/Gmap.cfm> όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2. ύστερα από επιλογή του συγκεκριμένου σταθμού όπου παρέχονται πληροφορίες για αυτά. Επειδή οι τιμές του γεωγραφικού μήκους και του γεωγραφικού πλάτους ήταν σε δεκαδικές μοίρες (Decimal degrees) χρειάστηκε να μετατραπούν σε μοίρες-λεπτά-δευτερόλεπτα (Degrees minutes seconds) προκειμένου να τοποθετηθούν με ακρίβεια τα σημεία στον χάρτη του Google Earth όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.3. και μέσω ενός εργαλείου με τίτλο 'Μέτρηση απόστασης και περιοχής' που παρέχεται από το λογισμικό (στα αριστερά της σελίδας του Google Earth) να υπολογιστεί η απόσταση των σταθμών από τα δύο επιλεγμένα κέντρα/σημεία αναφοράς. Οι αποστάσεις από τα δύο κέντρα χρησιμοποιούνται για την καλύτερη κατανόηση των αλλαγών που προκύπτουν όσο απομακρυνόμαστε απ' αυτά κατά την ανάλυση και τα συμπεράσματα.





Εικόνα 3.3. : Οι δέκα επιλεγμένες περιοχές προς μελέτη της κατανάλωσης ενέργειας για μια νέα μονοκατοικία. Πηγή : Λογισμικό Google Earth.

Για αυτές τις δέκα περιοχές μένει τώρα μόνο η συλλογή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των βαθμοημερών για την εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Για να γίνει αυτό χρειάζεται να γίνει επίσκεψη στην σελίδα του meteosearch και να γίνει εύρεση του σταθμού. Στη συνέχεια παρατηρώντας την χρονολογία που εγκαταστάθηκε ο σταθμός έγινε επιλογή του μήνα και του έτους που είναι εφικτό να αποκτήσουμε δεδομένα ξεκινώντας από τον μήνα Ιανουάριο μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2019. Αν κάποιος σταθμός εγκαταστάθηκε οποιοδήποτε άλλο μήνα τότε τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τον Ιανουάριο του επόμενου έτους. Τα δεδομένα από τους σταθμούς παρέχονται σε μηνιαία μορφή (Εικόνα 3.4.) και καλύπτουν βασικές παραμέτρους όπως την θερμοκρασία , τη βροχόπτωση και την ταχύτητα και ένταση του ανέμου. Οι τιμές για τον κάθε μήνα ξεχωριστά , για την κάθε περιοχή και μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2019, μεταφέρθηκαν πρώτα σε ένα αρχείο Word και στη συνέχεια από το Word μεταφέρθηκαν σε ένα αρχείο Excel για τη διευκόλυνση της επεξεργασίας τους. Ο λόγος που επιλέχθηκαν τιμές μέχρι τον Δεκέμβριο του 2019 και όχι μέχρι τον Δεκέμβριο του 2022 που συντάσσεται η παρούσα εργασία είναι επειδή κατά τη χρονική περίοδο του καλοκαιριού του 2022 έως και τουλάχιστον μέχρι τον Οκτώβριο του 2022 ήταν αδύνατο να έχουμε πρόσβαση στη σελίδα του meteosearch επειδή βρισκόταν σε κατάσταση αναβάθμισης. Επειδή αρχικά κρίθηκε αβέβαιο το πότε θα ήταν εφικτό να διατίθεται ξανά η δυνατότητα πρόσβασης στο κοινό στην υπηρεσία του meteosearch αλλά και για την αποφυγή μελλοντικών δυνητικών προσκομμάτων στην πρόσβαση στην υπηρεσία κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν υφιστάμενα δεδομένα, που είχαν χρησιμοποιηθεί σε μια προηγούμενη εργασία ενός φοιτητή με παρόμοιο θέμα, που δυστυχώς καλύπτουν μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2019.

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for MAR. 2023

NAME: athens984 CITY: STATE:  
 ELEV: 60 m LAT: 37° 58' 42" N LONG: 23° 42' 56" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	15.0	19.4	14:10	10.9	7:10	3.4	0.1	0.0	3.4	20.9	17:30	NNE
2	13.4	16.9	13:30	11.0	19:20	4.9	0.0	6.2	4.5	32.2	15:50	NE
3	12.9	16.9	14:50	8.7	5:10	5.4	0.0	0.8	2.1	19.3	16:30	SW
4	13.6	16.1	14:20	12.2	1:10	4.7	0.0	1.2	5.1	37.0	14:40	SSW
5	13.6	17.7	13:40	10.7	4:10	4.7	0.0	0.0	2.7	27.4	14:50	SW
6	13.1	17.4	13:10	8.2	4:50	5.3	0.0	0.0	2.7	29.0	12:40	SSW
7	13.4	17.5	13:00	10.4	6:20	4.9	0.0	0.6	3.4	35.4	15:00	SW
8	14.1	18.8	13:40	9.7	6:10	4.2	0.0	0.0	3.1	33.8	14:30	SSW
9	14.2	17.9	12:10	9.4	6:40	4.2	0.0	0.0	3.4	27.4	11:10	SSW
10	15.9	19.8	14:20	11.1	5:10	2.5	0.1	0.0	3.1	25.7	23:10	SSW
11	17.3	20.9	14:10	13.9	7:50	1.4	0.3	0.2	5.3	27.4	2:20	SW
12	14.5	20.6	12:20	11.2	6:10	3.9	0.1	0.0	7.2	41.8	18:00	NE
13	11.2	13.3	15:10	9.7	00:00	7.2	0.0	0.0	12.1	41.8	9:30	NE
14	12.6	17.8	14:40	8.2	5:10	5.7	0.0	0.0	2.3	19.3	15:30	NE
15	12.2	16.3	11:10	8.1	6:50	6.2	0.0	0.4	1.6	37.0	14:10	SSW
16	12.3	16.1	16:10	7.9	6:00	6.1	0.0	0.2	4.5	29.0	12:40	NE
17	10.2	11.7	0:10	9.3	6:30	8.1	0.0	0.2	9.3	43.5	11:20	NE
18	11.0	13.1	15:10	9.3	5:50	7.3	0.0	0.0	8.9	35.4	9:40	NE
19	12.3	16.9	15:50	8.4	4:20	6.0	0.0	0.0	3.4	27.4	8:00	NE
20	14.0	20.4	14:40	7.9	6:50	4.5	0.2	0.0	1.6	17.7	12:30	SW
21	13.4	18.4	14:00	9.6	5:10	4.9	0.0	0.4	1.0	17.7	15:00	SW
22	14.2	18.9	13:10	9.5	5:50	4.1	0.0	0.0	4.0	27.4	22:30	NE
23	14.3	18.1	14:10	9.8	7:00	4.1	0.0	0.0	8.7	38.6	10:30	NE
24	15.1	19.7	13:30	11.1	4:50	3.3	0.1	0.0	3.1	24.1	11:00	SW
25	15.3	20.2	15:10	9.5	5:50	3.2	0.2	0.0	2.3	20.9	16:20	SW
26	18.5	24.6	15:30	12.6	5:40	1.5	1.6	0.0	3.5	22.5	18:10	SSW
27	17.1	22.4	15:30	11.7	7:30	2.0	0.8	0.0	4.5	35.4	16:40	SSW
28	13.6	18.2	13:20	7.3	22:10	4.7	0.0	3.8	7.4	45.1	10:40	W
29	10.3	14.7	17:10	6.4	7:30	8.1	0.0	0.0	4.2	37.0	4:20	W
30	13.0	19.9	15:40	6.7	5:00	5.4	0.1	0.0	2.9	24.1	20:00	S
31	15.8	19.8	12:50	10.8	2:30	2.7	0.2	0.0	4.3	29.0	20:10	SW
-----												
	13.8	24.6	26	6.4	29	144.6	3.6	14.0	4.4	45.1	28	NE

Max >= 32.0: 0  
 Max <= 0.0: 0  
 Min <= 0.0: 0  
 Min <= -18.0: 0  
 Max Rain: 6.20 ON 02/03/23  
 Days of Rain: 10 (> .2 mm) 2 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)  
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

Εικόνα 3.4. : Η μορφή των μηνιαίων δεδομένων που παρέχονται από το meteosearch για συγκεκριμένο μήνα και έτος. Στο παράδειγμα τα δεδομένα για την περιοχή 'Αθήνα κέντρο' για το μήνα Μάρτη του 2023. Πηγή : <https://meteosearch.meteo.gr/>

### 3.3 Τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά της μονοκατοικίας

Πριν παρουσιαστεί ο τρόπος υπολογισμού των βαθμομερών και των ενεργειακών φορτίων για θέρμανση και ψύξη χρειάζεται να γίνει αναφορά στο κτίριο που θα εφαρμοστούν αυτοί οι υπολογισμοί καθώς και ορισμένες παραδοχές που σχετίζονται μ' αυτό. Επειδή η μέθοδος των βαθμομερών είναι καταλληλότερη για υπολογισμούς σε κτίρια κατοικιών και μικρά εμπορικά [42] επιλέχθηκε προς μελέτη μια μονοκατοικία. Σε ένα δεύτερο βήμα χρειάστηκε να διευκρινιστεί αν πρόκειται για ένα ήδη υφιστάμενο κτίριο ή για μια νέα μονοκατοικία όπου και επιλέχθηκε να γίνει μελέτη για μια νέα. Αυτή η διευκρίνιση είναι σημαντική γιατί οι ελάχιστες απαιτήσεις για την κάθε περίπτωση και ο τρόπος επιλογής των αναγκαίων παραμέτρων από τον Κ.Εν.Α.Κ. για τους υπολογισμούς, διαφέρουν. Επειδή πρόκειται για νέο κτίριο και επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα κατασκευαστικά σχέδια, για τις απαιτήσεις των υπολογισμών, προσδιορίστηκαν τα τετραγωνικά μέτρα του σπιτιού, των χώρων αλλά και το ύψος της κατοικίας. Η μονοκατοικία είναι 100 m<sup>2</sup> με διαστάσεις 10x10 και ύψος 3 m . Εσωτερικά αποτελείται από ένα σαλόνι 30 m<sup>2</sup> , μια κουζίνα 20 m<sup>2</sup> , ένα υπνοδωμάτιο 25 m<sup>2</sup> , ένα υπνοδωμάτιο 16 m<sup>2</sup> , ένα μπάνιο 4 m<sup>2</sup> και το χολ στα 5 m<sup>2</sup>. Αυτές οι επιλογές έγιναν περισσότερο για λόγους απλότητας και παρουσίας της μεθοδολογίας. Ακολουθώντας τον τρόπο συλλογής των απαραίτητων παραμέτρων και του τρόπου υπολογισμού των φορτίων που περιγράφεται παρακάτω, όλα εκείνα τα στοιχεία που επιλέχθηκαν μπορούν να αντικατασταθούν με τα πραγματικά σε περιπτώσεις που είναι διαθέσιμα χωρίς κάποια διαφορά στη χρήση της μεθοδολογίας - μιας μεθοδολογίας που, επιπρόσθετα, δεν επηρεάζεται ούτε από μελλοντικές πιθανές αναθεωρήσεις που θα θέτουν αυστηρότερα όρια στα κτίρια και θα επαναπροσδιορίζουν τις παραμέτρους.

### 3.4 Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου των βαθμομερών και ο υπολογισμός τους

Για τον υπολογισμό των βαθμομερών εφόσον τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί μένει μόνο η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και η επιλογή της θερμοκρασίας βάσης. Παρατηρώντας την Εικόνα 3.4. αρχικά φαίνεται πως υπάρχουν τιμές της θερμοκρασίας που προσφέρουν τη δυνατότητα χρήσης μια μεθοδολογίας που χρησιμοποιεί την μέση ημερήσια θερμοκρασία, τις μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες ή και την μέση μηνιαία θερμοκρασία. Εκτός αυτών, φαίνεται πως έχουν ήδη υπολογιστεί οι ημερήσιες βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης και το συνολικό τους μηνιαίο άθροισμα. Με βάση το τελευταίο, εύλογα φτάνει κανείς στο συμπέρασμα πως τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μας λύνουν τα χέρια, ωστόσο με μια πιο προσεκτική ματιά διακρίνεται πως η θερμοκρασία βάσης για θέρμανση και ψύξη είναι εκτός από κοινή και στους 18.3 °C. Η θερμοκρασία των 18.3 είναι πολύ συγκεκριμένη και από το κεφάλαιο για την θερμοκρασία βάσης στα κτίρια έχει ήδη αναφερθεί, πως πρόκειται για την επιλεγμένη θερμοκρασία που ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στα κλιματικά δεδομένα και τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των κτιρίων της Αμερικής και εκτός αυτού, στο ίδιο κεφάλαιο, πως η χρήση μιας σταθερής θερμοκρασίας βάσης όχι μόνο ότι είναι ακατάλληλη αλλά και πως η χρήση της θερμοκρασίας των 18.3 °C θα πρέπει να αποφεύγεται ακόμα και για τις συνθήκες της Αμερικής. Συνεπώς επιστρέφουμε στο σημείο μηδέν όπου πρέπει να επιλεγεί μια μέθοδος με τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα.

Επειδή στα δεδομένα δεν υπάρχουν οι ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί η πιο ακριβής μέθοδος υπολογισμού ωστόσο, με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες από την αρχική σελίδα του meteosearch καθώς και μια επιστημονική δημοσίευση για το δίκτυο των σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών του 2022 για τα χαρακτηριστικά των σταθμών, μπορεί να προκύψει μια ενδιάμεση λύση εξίσου ικανοποιητική σε ζητήματα ακρίβειας. Συγκεκριμένα με βάση αυτές τις δύο πηγές, για τους σταθμούς και τη διαχείριση των δεδομένων αναγράφονται τα ακόλουθα : Ο τύπος των σταθμών που χρησιμοποιούνται είναι Davis Vantage Pro 2, οι οποίοι καταγράφουν τις παρακάτω παραμέτρους: ατμοσφαιρική πίεση, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, βροχόπτωση, διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου. Ορισμένοι από αυτούς καταγράφουν και την ηλιακή και υπεριώδη ακτινοβολία. Η καταγραφή των μετρήσεων στην συντριπτική πλειοψηφία των σταθμών πραγματοποιείται με χρονικό βήμα 10 λεπτών και με το ίδιο βήμα καταχωρούνται οι μετρήσεις στη βάση δεδομένων. Όλες οι καταγραφές (ανά 10 λεπτά) συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο από το ΕΑΑ και αφού περάσουν από

ποιοτικό έλεγχο, αρχειοθετούνται για μελλοντική χρήση [50]. Με αυτά δεδομένα είναι ασφαλές να υποτεθεί πως οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες που συλλέχθηκαν προκύπτουν από την μέση τιμή 144 δεκαλέπτων ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας. Έτσι παρόλο που δεν έχουμε διαθέσιμα τα ωριαία δεδομένα χρησιμοποιώντας για τους υπολογισμούς των βαθμοημερών την μέση ημερήσια θερμοκρασία φτάνουμε σε μια μέση λύση καθώς η χρήση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας που προκύπτει από 144 τιμές είναι πολύ πιο ακριβής από τη χρήση μιας μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας που προκύπτει από το άθροισμα της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας διαιρούμενες δια δύο όπως συνηθίζεται και που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.2.2.3. .

Εν κατακλείδι η επιλεγμένη μέθοδος υπολογισμού των βαθμοημερών είναι αυτή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 2.2.5 και 2.2.6 υπολογίστηκαν πρώτα οι μηνιαίες και ύστερα από το άθροισμα των 12 μηνιαίων τιμών οι ετήσιες βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με μεταβλητή βάση και με τιμές, όπως περιγράφονται στην TOTEE 20701-3/2010, 18 °C για τους υπολογισμούς των βαθμοημερών θέρμανσης και 26 °C για τις βαθμοημέρες ψύξης.

### 3.5 Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων

Έχοντας υπολογίσει τις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης για κάθε διαθέσιμο μήνα και έτος των κλιματικών δεδομένων, χρειάζεται τώρα να τοποθετηθούν στις κατάλληλες εξισώσεις που υπολογίζουν τα φορτία για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα. Για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων  $Q_h$  του κτιρίου, δεδομένου ότι χρησιμοποιείται λέβητας για τη θέρμανση και υποθέτοντας πως η χρήση του είναι συνεχής, χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση.

$$Q_h = \frac{U' \times HDD \times 24}{\eta} \quad (\text{kWh}) \quad (3.5.1)$$

Όπου:

$U'$  : Ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου σε kW / K.

και  $\eta$ : ο βαθμός απόδοσης του λέβητα.

Ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U' = \frac{A \times U \times \frac{1}{3} \times N \times V}{1000} \quad (3.5.2)$$

Όπου:

$A$  : η επιφάνεια του κτιρίου σε  $\text{m}^2$

$U$  : ο συντελεστής θερμοπερατότητας σε  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$N$ : ο ρυθμός διείσδυσης αέρα ανά ώρα σε  $\text{h}^{-1}$

$V$ : ο συνολικός όγκος του κτιρίου σε  $\text{m}^3$

Το κλάσμα  $\frac{1}{3}$  προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της πυκνότητας του αέρα και της ειδικής θερμοχωρητικότητας του αέρα στους 300 K με διαμορφωμένες μονάδες  $\text{W} \cdot \text{h} / \text{m}^3 \cdot \text{K}$ .

Για τον υπολογισμό του  $U'$  χρειάζεται να γίνει περιγραφή μόνο του τρόπου εύρεσης του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  και του ρυθμού διείσδυσης αέρα καθώς τα υπόλοιπα στοιχεία της εξίσωσης μας είναι γνωστά. Η επιφάνεια του κτιρίου και ο συνολικός του όγκος μας είναι γνωστά καθώς η επιφάνεια του κτιρίου προσδιορίστηκε στο κεφάλαιο για τα χαρακτηριστικά του κτιρίου ίση με  $100 \text{ m}^2$  και ο συνολικός όγκος μπορεί να υπολογιστεί από την επιφάνεια του κτιρίου πολλαπλασιασμένη με το ύψος ( $3 \text{ m}$ ) . Έτσι ο συνολικός όγκος  $V$  υπολογίζεται στα  $300 \text{ m}^3$ .

Για την επιλογή του κατάλληλου  $U$  χρειάζεται να γνωρίζουμε τα ελάχιστα επιτρεπόμενα όρια που δίνονται από τους πίνακες στο άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ. από τον μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$  και συγκεκριμένα από τον παρακάτω πίνακα για την περίπτωση νέου κτιρίου (Πίνακας Γ.3 στο πρωτότυπο και 3.3β. στην TOTEE 20701-1/2017).

Λόγος A/V [m <sup>-1</sup> ]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U <sub>m</sub> [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
≤ 0,2	1,25	1,13	1,04	0,95
0,3	1,17	1,05	0,96	0,88
0,4	1,10	0,99	0,91	0,83
0,5	1,04	0,93	0,86	0,78
0,6	0,98	0,89	0,81	0,73
0,7	0,92	0,83	0,76	0,68
0,8	0,86	0,77	0,71	0,63
0,9	0,80	0,73	0,65	0,59
≥ 1,0	0,77	0,69	0,62	0,55

Πίνακας 3.2. : Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου. Πηγή : Απόφαση ΔΕΠΕΑ/οικ.178581: «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων» -ΦΕΚ 2367/Β' 12.7.2017 και ΤΟΤΕΕ 20701-1/ 2017, [13,15].

Για την επιλογή του U<sub>m</sub> χρειάζεται πρώτα να υπολογιστεί ο λόγος A/V και στη συνέχεια με βάση την τιμή να παρθεί η αντίστοιχη τιμή συνυπολογίζοντας την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο. Ο λόγος A/V υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{A}{V} = \frac{(A_{\pi}) \times H + A_{\Delta\alpha\pi} + A_{\text{ορ}}}{V} \quad (3.5.3)$$

Όπου:

A<sub>π</sub> : Η επιφάνεια της περιμέτρου του κτιρίου ίση με το άθροισμα των επιφανειών της κάθε πλευράς σε m<sup>2</sup>

H : το ύψος του κτιρίου σε m

A<sub>δαπ</sub> : η επιφάνεια του δαπέδου σε m<sup>2</sup>

A<sub>ορ</sub> : η επιφάνεια της οροφής σε m<sup>2</sup>

και V ο συνολικός όγκος του κτιρίου σε m<sup>3</sup>

Αντικαθιστώντας τις μεταβλητές της 3.5.3 με τιμές ο λόγος A/V υπολογίζεται:

$$\frac{A}{V} = \frac{(10 + 10 + 10 + 10) \times 3 + 100 + 100}{100 \times 3} \Rightarrow \frac{320}{300} = 1.066$$

Η περίμετρος υπολογίστηκε για μια απλή περίπτωση που το σπίτι έχει διαστάσεις 10 x 10 όπου κάθε πλευρά έχει επιφάνεια 10 m<sup>2</sup> αλλά σε περιπτώσεις που υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για το κτίριο μπορεί να πάρει και πιο σύνθετη μορφή.

Επιστρέφοντας στον πίνακα 3.2. , εφόσον πλέον έχουμε τον λόγο A/V και επειδή γνωρίζουμε πως το υπό μελέτη κτίριο εξετάζεται για δέκα περιοχές στην περιοχή της Αττικής δηλαδή ανήκει στην κλιματική ζώνη Β (βάσει του Πίνακα 2.3.), ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας επιλέγεται 0.69. Επειδή ο λόγος A/V είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τη μονάδα η επιλογή του U<sub>m</sub> ήταν εύκολη, σε περίπτωση που ο λόγος ήταν ίσος με κάποια ενδιάμεση τιμή μεταξύ δύο τιμών λ.χ. 0.85 δηλαδή μεταξύ των τιμών 0.77 και 0.73 θα χρειαζόταν να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή για την εύρεση του ελάχιστου ορίου. Για λόγους απλότητας θεωρούμε πως το κτίριο είναι κατάλληλα κατασκευασμένο ώστε να πληρεί τις ελάχιστες απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για αυτό και στην

εξίσωση 3.5.2 θα χρησιμοποιηθεί η τιμή 0.69 για την εξίσωση στη θέση του U. Οποιαδήποτε τιμή χαμηλότερη του 0.69 σε αυτό το σημείο θα ήταν σωστή για του υπολογισμούς εφόσον πληρεί τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ανέγερση ενός νέου κτιρίου.

Για τις απαιτήσεις της εξίσωσης 3.5.1 μένει τώρα μόνο η εύρεση του ρυθμού διείσδυσης του αέρα ανά ώρα N. Για τον υπολογισμό του N χρειάζεται πρώτα να επιλέξουμε την τιμή της παροχής από τον πίνακα 2.3 από την TOTEE 20701-1 / 2017 που βρίσκεται στο κεφάλαιο για τον υπολογισμό του απαιτούμενου αέρα για τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης.

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m <sup>2</sup> επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [m <sup>3</sup> /h/άτομο]	Νωπός αέρας [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	5	15	0,75
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας*	15	20	3,00
θερινής λειτουργίας*	15	20	3,00
χειμερινής λειτουργίας*	15	20	3,00
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας*	15	20	3,00
θερινής λειτουργίας*	15	20	3,00

Πίνακας 3.3. : Τμήμα του πίνακα 2.3. της TOTEE 20701-1/2017, για τον απαιτούμενο νωπό αέρα ανά χρήση κτιρίου για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης. Πηγή : [13].

Επειδή πρόκειται για μονοκατοικία, για τον υπολογισμό του N , χρειάζεται να επιλέξουμε από τον πίνακα 3.3 την τιμή 0.75 από την τρίτη στήλη που αφορά την απαιτούμενη παροχή νωπού αέρα για ένα τετραγωνικό μέτρο. Στη συνέχεια η τιμή 0.75 πολλαπλασιάζεται με τα συνολικά τετραγωνικά του κτιρίου προς μελέτη και το αποτέλεσμα της πράξης διαιρείται με το συνολικό όγκο του κτιρίου. Έτσι ο ρυθμός διείσδυσης του αέρα υπολογίζεται τελικά ως:

$$N = \frac{0.75 \times 100}{300} = 0.25 \text{ h}^{-1}$$

Έχοντας πλέον όλες τις απαιτούμενες τιμές για τον υπολογισμό του συνολικού συντελεστή θερμικών απωλειών του κτιρίου μένει μόνο να τοποθετηθούν στην εξίσωση 3.5.2. Έτσι η τιμή του U' υπολογίζεται τελικά ως:

$$U' = \frac{100 \times 0.69 \times \frac{1}{3} \times 0.25 \times 300}{1000} = 1.725 \text{ kW/K}$$

Τέλος για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων χρειάζεται ο βαθμός απόδοσης του λέβητα. Η απόδοση του λέβητα κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 80% και 88% και στους πιο σύγχρονους ενεργειακής κατηγορίας A μπορεί να φτάσει και 92-94 %. Για του υπολογισμούς ο βαθμός απόδοσης επιλέχθηκε να είναι 90% δηλαδή 0.9. Εφόσον όλες οι παράμετροι μας είναι γνωστοί, εφαρμόζοντας την εξίσωση 3.5.1 υπολογίστηκαν αρχικά τα μηνιαία φορτία και τα ετήσια φορτία. Επειδή τα διαθέσιμα δεδομένα σε ορισμένες περιοχές καλύπτουν μια τετραετία και σε άλλες περιοχές περισσότερα έτη, τελικά πραγματοποιήθηκε και υπολογισμός της μέσης τιμής των μηνιαίων και ετήσιων τιμών για την κάθε περιοχή και πάνω σε αυτές τις τιμές θα πραγματοποιηθεί σχολιασμός και διεξαγωγή συμπερασμάτων.

### 3.6 Ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων

Στη συνέχεια για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων δεδομένου ότι τα κλιματιστικά λειτουργούν σε συνεχή λειτουργία όταν η εξωτερική θερμοκρασία βρίσκεται υψηλότερα από τη θερμοκρασία άνεσης χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$Q_c = \frac{\dot{m} \times C_p \times CDD \times 24}{COP} \text{ σε kWh} \quad (3.6.1)$$

Όπου:

$\dot{m}$  : η ροή μάζας του ψυχόμενου αέρα σε kg/s

$C_p$  : η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα ίση με 1.005 kJ/kg·K

και COP : ο συντελεστής απόδοσης της κλιματιστικής μονάδας με τιμές στα περισσότερα κλιματιστικά μεταξύ από 2.3 έως και 3.5. Για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων επιλέχθηκε COP ίσο με 3.5 που αντιστοιχεί στην τυπική τιμή του COP [25].

Για του υπολογισμούς των ψυκτικών φορτίων λείπει μόνο η ροή μάζας ωστόσο απαιτεί αρκετά βήματα για τον υπολογισμό της. Αρχικά χρειάζεται να προσδιοριστούν το είδος των κλιματιστικών και η ποσότητα αυτών για τον εξεταζόμενο χώρο. Για να γίνει αυτό χρειάζεται να υπολογιστούν τα απαιτούμενα BTU για τον κάθε χώρο για επιλεγθεί το κατάλληλο κλιματιστικό. Ένας γρήγορος τρόπος υπολογισμού των BTU αφορά έναν εμπειρικό κανόνα που εκτιμά τα BTU με βάση μόνο το μέγεθος του χώρου στα 20 BTU/ft<sup>2</sup> [51]. Στο εξεταζόμενο κτίριο θα τοποθετηθούν συνολικά τρία κλιματιστικά: ένα για το σαλόνι και τη κουζίνα και ένα για το κάθε υπνοδωμάτιο. Για την επιλογή του κατάλληλου κλιματιστικού χρειάζεται μόνον να υπολογιστούν τα απαιτούμενα BTU. Αυτό θα γίνει μετατρέποντας πρώτα τα τετραγωνικά μέτρα (m<sup>2</sup>) σε τετραγωνικά πόδια (ft<sup>2</sup>) και πολλαπλασιάζοντάς τα με το 20.

Χώρος	Τετραγωνικά μέτρα (m <sup>2</sup> )	Τετραγωνικά πόδια (ft <sup>2</sup> )	Απαίτηση (BTU)
Σαλόνι	30	322.917	6458.34
Κουζίνα	20	215.278	4305.56
Υπνοδωμάτιο 1	25	269.097	5381.94
Υπνοδωμάτιο 2	16	172.222	3444.44

Πίνακας 3.4. : Εκτιμώμενα BTU για τον κάθε χώρο του εξεταζόμενου κτιρίου.

Επειδή θα τοποθετηθεί ένα κλιματιστικό για τις απαιτήσεις του σαλονιού και της κουζίνας τα συνολικά BTU των δύο χώρων είναι 10763.9 για αυτό επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ένα κλιματιστικό 12000 BTU. Για τα δύο υπνοδωμάτια επιλέχθηκαν δύο κλιματιστικά των 8000 BTU που καλύπτουν και με το παραπάνω τις ανάγκες για ψύξη.

Γνωρίζοντας πλέον τα BTU για το κάθε κλιματιστικό μπορούμε να προσδιορίσουμε για καθένα απ' αυτά τα κυβικά πόδια ανά λεπτό (Cubic Feet per Minute ή CFM) που του αντιστοιχούν. Τα CFM είναι ένα μέτρο της έντασης της ροής του αέρα και μέσω αυτού θα υπολογιστεί τελικά η ροή μάζας που χρειαζόμαστε για τους υπολογισμούς των ψυκτικών φορτίων. Όπως ορίζεται από έναν ακόμα εμπειρικό κανόνα, το ένα BTU αναλογεί σε 0.0333 CFM, οπότε πολλαπλασιάζοντας με τα BTU των επιλεγμένων κλιματιστικών υπολογίζονται τελικά: 400 CFM για τα 12000 BTU και 267 CFM για καθένα από τα δύο κλιματιστικά με 8000 BTU [52].

Έχοντας τα κυβικά πόδια ανά λεπτό των κλιματιστικών χρειάζεται πρώτα να γίνει μετατροπή τους σε μονάδες παροχής κατά SI δηλαδή σε κυβικά μέτρα το δευτερόλεπτο (m<sup>3</sup>/s). Για τη μετατροπή χρειάζεται να πολλαπλασιαστούν τα CFM με το 0.00047194745. Τέλος για τον υπολογισμό της ροής μάζας την υπολογισμένη παροχή κατά SI των κλιματιστικών με την πυκνότητα του αέρα που είναι ίση με 1.225 kg/m<sup>3</sup>.

$$\dot{m} = 400 \times 0.00047194745 \times 1.225 + 267 \times 0.00047194745 \times 1.225 + 267 \times 0.00047194745 \times 1.225$$

$$\dot{m} = 0.2312542505 + 0.1543622122 + 0.1543622122$$

$$\dot{m} = 0.53997867491 \cong 0.54 \frac{kg}{s}$$

Ο λόγος που προστίθεται η ροή μάζας για το κάθε κλιματιστικό είναι επειδή ο COP θεωρείται κοινός και στα 3 κλιματιστικά. Διαφορετικά θα χρειαζόταν να γίνει ξεχωριστός υπολογισμός της ροής μάζας και κατ' επέκταση ξεχωριστός υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων όπου στο τέλος θα αθροίζονταν για τη συνολική κατανάλωση για ψύξη.

Όμοια με τα φορτία θέρμανσης, υπολογίστηκαν αρχικά τα μηνιαία και ετήσια ψυκτικά φορτία και στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση τιμή αυτών.

### 3.7 Ο υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών CO<sub>2</sub>

Με τα φορτία για θέρμανση και ψύξη υπολογισμένα μένει μόνο ο υπολογισμός της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Η πρωτογενής ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια πριν υποβληθεί σε μετασχηματισμούς και μετατροπές και ο προσδιορισμός της είναι απαραίτητη προϋπόθεση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων καθώς και μέσω αυτής υπολογίζεται και το ποσοστό των εκλυόμενων ρύπων. Για τον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των ετήσιων θερμικών αλλά και ψυκτικών φορτίων και για τις δέκα περιοχές προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι συγκρίσεις. Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$PEC = Q \times \alpha$$

Όπου:

Q : η συνολική κατανάλωση για θέρμανση ή για ψύξη σε kWh

και α : ο συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια

Οι τιμές του α παρέχονται από την TOTEE 20701-1/2017 στο πίνακα 1.2. όπως φαίνεται παρακάτω.

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO <sub>2</sub> /kWh)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,9	0,989
Υγραέριο	1,05	0,238
Βιομάζα	1,00	---
Τηλεθέρμανση από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	0,7	0,347
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0,5	---

Πίνακας 3.5. : Συντελεστές για τη μετατροπή σε πρωτογενή ενέργεια και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Πηγή: TOTEE 20701-1/ 2017 [13].



Από τον πίνακα επιλέχθηκαν οι συντελεστές μετατροπής 1.10 για τον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση καθώς χρησιμοποιείται λέβητας και για τον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη ο συντελεστής μετατροπής 2.9 καθώς τα κλιματιστικά λειτουργούν με ρεύμα. Για τον υπολογισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub> η πρωτογενής ενέργεια για τη θέρμανση και τη ψύξη πολλαπλασιάστηκε με το 0.264 και το 0.989 αντίστοιχα.

---

# **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>**

**Αποτελέσματα και σχολιασμός**

---

## **4. Αποτελέσματα και σχολιασμός**

### **4.1 Περιεχόμενα κεφαλαίου και αναμενόμενα αποτελέσματα**

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας και στη συνέχεια πραγματοποιείται σχολιασμός του επηρεασμού της καταναλισκόμενης ενέργειας της μονοκατοικίας βάση περιοχής. Αρχικά, παρουσιάζονται οι υπολογισμένες βαθμομημερες θέρμανσης και ψύξης για τις δέκα διαφορετικές περιοχές που επιλέχθηκαν για τον κάθε μήνα και συνολικά, για το διάστημα των διαθέσιμων κλιματολογικών δεδομένων που ξεκινά από μια τετραετία και φτάνει έως και τα έντεκα χρόνια σε ορισμένες περιοχές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υπολογισμένα φορτία για τη θέρμανση και τη ψύξη για τις δέκα περιοχές από τις βαθμομημέρες. Έπειτα, παρουσιάζονται οι υπολογισμένες μέσες ετήσιες τιμές των βαθμομημερών και των φορτίων που αποσκοπούν στη συμπίκνωση του χρονολογικού εύρους τιμών σε μία αντιπροσωπευτική τιμή για την κάθε περιοχή. Τέλος παρουσιάζονται οι πίνακες της υπολογισμένης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας καθώς και οι εκπεμπόμενοι ρύποι των περιοχών για τη θέρμανση και τη ψύξη, μαζί με την ποσοστιαία συμβολή αυτών. Βάση των τελευταίων δημιουργήθηκαν σχετικά γραφήματα που προσφέρουν μια καλύτερη εικόνα των διαφορών της κάθε περιοχής και μέσω αυτών πραγματοποιούνται και οι συγκρίσεις που αποτελούν αντικείμενο σχολιασμού για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο αναφέρθηκε πως η τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων εξαρτάται κυρίως από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και ιδιαίτερα από την εξωτερική θερμοκρασία. Επειδή οι κλιματικές συνθήκες διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή αναμένεται σε πρώτη φάση να παρατηρηθούν χωρικές διαφορές σε θέματα εξωτερικής θερμοκρασίας και κατανάλωσης. Επιπρόσθετα, εξαιτίας του φαινομένου της θερμικής νησίδας -και συγκεκριμένα μέσω των παραγόντων που καθορίζουν την ένταση του- αναμένεται οι θερμοκρασίες στο κέντρο της Αθήνας να είναι υψηλότερες συγκριτικά με τις αγροτικές και περιαστικές περιοχές που βρίσκονται σε κάποια απόσταση απ' αυτό. Έτσι οι υπολογισμένες βαθμομημέρες θέρμανσης θα πρέπει να είναι λιγότερες και οι βαθμομημέρες ψύξης περισσότερες στο κέντρο συγκριτικά με τις απομακρυσμένες απ' αυτό περιοχές που το φαινόμενο είναι ασθενέστερο. Κατ' ακολουθίαν η καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη που βρίσκεται σε εξάρτηση με τις βαθμομημέρες αναμένεται να έχει κοινή συμπεριφορά .

### **4.2 Υπολογισμένες βαθμομημέρες θέρμανσης και ψύξης**

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι υπολογισμένες βαθμομημέρες θέρμανσης και ψύξης για τις δέκα περιοχές, από τη χρήση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, μέσα από τις εξίσωσεις 2.2.5 και 2.2.6, από τα κλιματολογικά δεδομένα του Εθνικού Αστεροσκοπίου Αθηνών για θερμοκρασίες βάσης 18°C και 26°C . Οι περιοχές παρουσιάζονται με σειρά ίδια με την απόσταση τους από την περιοχή 'Αθήνα κέντρο' .

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2009	ΒΗΘ	185.0	207.9	157.9	43.9	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	67.1	111.7	785.9
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	36.3	108.5	77.7	7.7	0.0	0.0	0.0	231.4
2010	ΒΗΘ	205.6	134.8	113.1	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	14.9	141.6	658.1
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	38.0	103.1	144.7	4.8	0.0	0.0	0.0	294.0
2011	ΒΗΘ	218.3	191.3	180.3	80.1	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	171.8	184.6	1084.9
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	115.2	87.1	46.8	0.0	0.0	0.0	267.7
2012	ΒΗΘ	310.3	247.5	153.2	30.7	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	51.7	196.4	993.5
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.8	156.1	130.7	19.0	0.7	0.0	0.0	382.3
2013	ΒΗΘ	213.8	156.4	111.9	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	55.4	220.5	792.3
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	40.0	82.2	98.4	7.1	0.0	0.0	0.0	229.0
2014	ΒΗΘ	158.7	143.4	120.4	44.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.2	76.9	151.7	719.9
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.5	69.2	94.4	8.6	0.0	0.0	0.0	198.7
2015	ΒΗΘ	239.6	215.0	167.7	66.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	42.6	212.8	960.7
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	104.7	102.1	33.1	0.0	0.0	0.0	252.7
2016	ΒΗΘ	215.6	102.5	122.8	3.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	85.6	273.4	817.4
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	67.6	106.9	92.3	7.5	0.0	0.0	0.0	274.9
2017	ΒΗΘ	312.2	179.6	111.9	39.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	84.9	171.6	909.0
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	38.3	118.8	115.7	18.6	0.0	0.0	0.0	292.7
2018	ΒΗΘ	209.0	149.0	74.6	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	4.5	73.2	220.0	740.2
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	90.2	82.6	22.5	0.0	0.0	0.0	222.2
2019	ΒΗΘ	258.2	220.6	137.1	85.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.2	181.4	915.0
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.30	74.5	103.8	8.9	0.0	0.0	0.0	236.5

Πίνακας 4.1. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Αθήνα κέντρο'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2010	ΒΗΘ	228.7	149.3	129.6	32.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	33.4	17.3	148.6	739
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	39.0	83.0	127.0	4.7	0.0	0.0	0.0	258
2011	ΒΗΘ	223.5	197.5	188.7	92.8	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	60.8	182.6	187.5	1144
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	116.0	78.6	43.0	0.0	0.0	0.0	257
2012	ΒΗΘ	318.1	256.6	152.7	34.6	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	31.7	204.8	1004
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.5	161.9	131.6	19.1	1.4	0.0	0.0	388
2013	ΒΗΘ	220.5	163.0	117.6	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	63.6	231.8	837
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	36.5	70.3	87.3	5.6	0.0	0.0	0.0	204
2014	ΒΗΘ	166.8	149.8	129.7	50.1	1.7	0.0	0.0	0.0	0.3	23.9	87.5	154.6	764
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	64.7	93.8	5.8	0.0	0.0	0.0	192
2015	ΒΗΘ	243.4	224.1	176.5	64.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	41.6	206.8	979
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	18.1	103.6	94.0	39.2	0.0	0.0	0.0	256
2016	ΒΗΘ	220.9	100.0	128.6	4.1	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1	96.8	282.7	853
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	66.4	97.2	86.7	5.0	0.0	0.0	0.0	256
2017	ΒΗΘ	320.0	184.8	116.7	45.8	3.4	0.0	0.0	0.0	0.2	13.2	96.1	178.5	959
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	44.3	114.7	102.0	20.6	0.0	0.0	0.0	283
2018	ΒΗΘ	216.5	158.7	80.9	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	5.2	84.5	228.5	786
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.6	83.1	68.4	19.9	0.0	0.0	0.0	198
2019	ΒΗΘ	265.8	219.6	125.9	80.5	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	174.6	895
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.40	82.8	106.3	9.3	0.0	0.0	0.0	251

Πίνακας 4.2. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Αμπελόκηποι'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2016	ΒΗΘ	201.1	100.6	126.3	9.1	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	81.1	263.8	797
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.2	102.6	86.7	6.9	0.0	0.0	0.0	244
2017	ΒΗΘ	300.1	175.8	116.7	49.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	73.2	160.3	886
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	96.7	115.2	9.2	0.0	0.0	0.0	244
2018	ΒΗΘ	200.4	150.2	84.2	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	3.6	69.8	212.5	734
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	65.0	86.5	22.1	0.0	0.0	0.0	186
2019	ΒΗΘ	252.9	208.4	122.2	76.8	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4	155.0	836
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.40	70.2	115.1	16.6	0.0	0.0	0.0	244

Πίνακας 4.3. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Άλιμος'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2015	ΒΗΘ	287.4	267.6	235.8	112.4	5.4	0.0	0.0	0.0	0.1	38.6	66.3	235.5	1249
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	48.5	40.5	16.7	0.0	0.0	0.0	113
2016	ΒΗΘ	262.8	142.1	181.7	22.2	19.6	0.0	0.0	0.0	0.0	35.3	131.4	321.3	1116
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.8	41.2	41.8	0.9	0.0	0.0	0.0	125
2017	ΒΗΘ	358.5	219.1	159.9	87.9	9.9	0.0	0.0	0.0	2.3	31.8	131.3	211.0	1212
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	32.4	74.3	59.2	8.1	0.0	0.0	0.0	175
2018	ΒΗΘ	252.5	199.0	124.4	25.9	1.0	0.0	0.0	0.0	8.6	19.8	118.2	269.7	1019
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	43.1	17.0	7.8	0.0	0.0	0.0	76
2019	ΒΗΘ	307.0	254.5	168.1	120.7	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	46.0	209.3	1126
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.50	42.6	54.0	0.2	0.0	0.0	0.0	119

Πίνακας 4.4. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Αγ. Παρασκευή'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2011	ΒΗΘ	258.8	230.4	224.6	130.2	25.4	0.0	0.0	0.0	0.0	82.7	210.9	222.4	1385
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	73.0	38.7	18.6	0.0	0.0	0.0	136
2012	ΒΗΘ	352.1	290.6	188.1	58.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	82.1	237.7	1223
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	116.5	88.8	5.7	0.0	0.0	0.0	250
2013	ΒΗΘ	253.8	195.6	149.9	48.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.7	92.5	265.1	1030
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	24.0	44.7	54.0	3.8	0.0	0.0	0.0	128
2014	ΒΗΘ	197.7	175.4	161.7	78.2	9.1	0.6	0.0	0.0	2.4	40.4	121.5	190.3	977
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	42.3	67.1	1.0	0.0	0.0	0.0	126
2015	ΒΗΘ	278.6	255.7	215.0	96.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	31.8	62.9	234.7	1177
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	64.3	61.3	23.3	0.0	0.0	0.0	157
2016	ΒΗΘ	256.4	132.0	166.8	13.7	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	28.7	123.4	314.9	1049
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.7	60.2	56.5	1.4	0.0	0.0	0.0	168
2017	ΒΗΘ	355.2	213.7	149.2	73.2	7.7	0.0	0.0	0.0	1.5	28.1	132.4	213.5	1175
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	35.2	82.0	68.5	8.9	0.0	0.0	0.0	195
2018	ΒΗΘ	249.1	187.2	111.4	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	14.3	110.6	264.7	963
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	55.1	30.0	10.4	0.0	0.0	0.0	107
2019	ΒΗΘ	301.4	250.4	162.5	108.5	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	46.1	206.6	1088
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.60	53.4	65.7	1.0	0.0	0.0	0.0	152

Πίνακας 4.5. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Μαρούσι'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2012	ΒΗΘ	351.3	281.8	186.5	61.6	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	77.4	232.5	1202
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.1	144.2	102.0	9.6	0.4	0.0	0.0	307
2013	ΒΗΘ	250.3	193.7	153.0	46.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	24.6	85.9	252.6	1007
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	27.7	53.2	72.6	3.7	0.0	0.0	0.0	157
2014	ΒΗΘ	195.9	173.4	163.3	80.6	10.7	0.3	0.0	0.0	1.5	36.7	112.3	189.7	964
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	42.8	72.7	1.5	0.0	0.0	0.0	132
2015	ΒΗΘ	405.1	267.8	221.3	94.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	66.3	240.4	1321
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	73.4	62.6	23.3	0.0	0.0	0.0	167
2016	ΒΗΘ	255.2	137.3	170.3	21.1	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4	125.4	309.3	1055
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.3	67.5	66.8	2.9	0.0	0.0	0.0	190
2017	ΒΗΘ	352.4	212.3	154.4	75.4	4.7	0.0	0.0	0.0	1.0	24.2	124.0	206.6	1155
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	31.3	88.5	84.8	9.4	0.0	0.0	0.0	215
2018	ΒΗΘ	206.6	198.4	116.4	20.4	15.9	15.4	0.0	15.2	3.9	10.6	122.7	258.4	984
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	55.9	45.5	14.8	0.0	0.0	0.0	131
2019	ΒΗΘ	309.7	241.4	158.4	119.2	29.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	39.4	200.8	1099
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.50	60.0	85.2	4.0	0.0	0.0	0.0	192

Πίνακας 4.6. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Άνω Λιόσια'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2016	ΒΗΘ	201.7	98.3	124.7	7.1	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	73.0	251.4	768
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.6	104.6	94.4	9.2	0.0	0.0	0.0	263
2017	ΒΗΘ	299.0	167.2	102.2	39.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	65.8	151.7	835
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	32.9	110.3	120.3	19.8	0.0	0.0	0.0	284
2018	ΒΗΘ	191.0	143.6	76.8	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.6	57.1	200.6	681
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2	84.5	92.7	30.4	0.0	0.0	0.0	231
2019	ΒΗΘ	246.0	195.5	111.5	70.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	147.4	785
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.30	79.7	114.2	18.0	0.0	0.0	0.0	270

Πίνακας 4.7. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Πέραμα'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2014	ΒΗΘ	252.1	229.2	222.3	134.5	44.9	5.5	0.0	0.0	10.0	74.8	175.6	234.2	1383
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	8.1	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	51
2015	ΒΗΘ	328.2	315.9	282.8	149.4	17.0	0.3	0.0	0.0	2.3	63.0	102.0	274.3	1535
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	28.4	15.3	12.5	0.0	0.0	0.0	59
2016	ΒΗΘ	312.3	178.9	232.8	46.8	38.4	0.3	0.0	0.0	5.5	60.4	171.0	375.6	1422
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	16.5	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	67
2017	ΒΗΘ	414.6	267.2	209.8	125.6	24.1	1.5	0.0	0.0	7.4	61.1	174.8	264.0	1550
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.7	52.6	33.3	6.2	0.0	0.0	0.0	116
2018	ΒΗΘ	303.0	247.0	179.5	48.3	5.5	0.0	0.0	0.0	17.2	60.6	166.3	317.9	1345
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	17.7	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	21
2019	ΒΗΘ	360.0	301.7	219.8	158.5	44.0	0.0	0.0	0.0	1.6	7.8	80.0	258.4	1432
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.40	22.7	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	58

Πίνακας 4.8. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Πεντέλη'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2015	ΒΗΘ	256.2	223.1	200.8	108.9	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	73.4	222.1	1101
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.8	35.3	3.9	0.0	0.0	0.0	63
2016	ΒΗΘ	233.5	145.3	159.4	38.4	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	95.3	286.8	990
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	30.3	25.0	1.2	0.0	0.0	0.0	72
2017	ΒΗΘ	326.7	192.4	158.8	102.5	4.0	0.0	0.0	0.0	0.1	23.8	123.4	183.6	1115
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	30.9	51.2	1.3	0.0	0.0	0.0	92
2018	ΒΗΘ	227.8	166.5	103.2	47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	8.4	78.7	243.9	877
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	32.5	33.3	6.2	0.0	0.0	0.0	73
2019	ΒΗΘ	278.3	231.7	160.3	111.7	17.6	0.0	0.0	0.0	72.0	3.6	29.7	175.8	1081
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.20	27.0	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90

Πίνακας 4.9. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Ραφήνα'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Β/Η	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2009	ΒΗΘ	169.4	197.5	164.4	75.2	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	57.1	93.5	767.6
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	62.7	29.1	0.7	0.0	0.0	0.0	101.5
2010	ΒΗΘ	180.6	128.1	123.1	40.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	21.2	112.3	123.3	729.1
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	14.5	56.6	96.9	0.4	0.0	0.0	0.0	168.5
2011	ΒΗΘ	199.7	179.6	181.0	102.6	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	142.0	161.2	1021.7
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	65.9	43.1	14.6	0.0	0.0	0.0	126.7
2012	ΒΗΘ	286.5	227.9	159.6	37.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.7	163.7	908.7
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	96.6	83.9	6.3	0.0	0.0	0.0	217.9
2013	ΒΗΘ	189.9	143.7	114.7	33.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	37.1	188.2	716.3
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	43.5	52.6	2.8	0.0	0.0	0.0	113.5
2014	ΒΗΘ	144.5	135.8	125.3	55.2	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	65.8	129.7	670.7
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	33.3	59.4	4.1	0.0	0.0	0.0	107.6
2015	ΒΗΘ	216.2	194.2	168.3	83.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	33.0	167.9	871.3
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	42.7	57.1	16.5	0.0	0.0	0.0	119.4
2016	ΒΗΘ	191.4	106.7	125.8	16.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	62.7	244.8	759.3
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.3	59.8	47.3	2.5	0.0	0.0	0.0	133.9
2017	ΒΗΘ	276.9	168.7	125.2	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	87.0	151.9	872.9
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	65.1	72.5	8.6	0.0	0.0	0.0	168.8
2018	ΒΗΘ	201.5	139.5	82.9	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	55.2	208.2	715.4
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	57.8	54.2	10.8	0.0	0.0	0.0	128.5
2019	ΒΗΘ	245.6	200.1	131.1	85.2	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	13.2	145.2	828.7
	ΒΗΨ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.40	49.5	65.2	3.7	0.0	0.0	0.0	147.8

Πίνακας 4.10. : Οι υπολογισμένες βαθμομέρες με θερμοκρασίες βάσης 18 °C και 26 °C για την περιοχή 'Λαύριο'.

### 4.3 Υπολογισμένα φορτία για θέρμανση και ψύξη

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η υπολογισμένη κατανάλωση ενέργεια για θέρμανση και για ψύξη για τις δέκα περιοχές, αξιοποιώντας τις υπολογισμένες βαθμοημέρες του προηγούμενου υποκεφαλαίου ,μέσα από τις εξισώσεις 3.5.1 και 3.6.1 . Η σειρά που παρουσιάζονται οι πίνακες είναι όμοια με πριν δηλαδή με βάση την απόσταση από την περιοχή ‘Αθήνα κέντρο’.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2009	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	8510	9563.4	7263.4	2019.4	165.6	0	0	0	0	404.8	3086.6	5138.2	36151.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	4.47	135.09	403.77	289.15	28.65	0.00	0.00	0.00	861.1
2010	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9457.6	6200.8	5202.6	915.4	0	0	0	0	0	1297.2	685.4	6513.6	30272.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	12.65	141.41	383.67	538.48	17.86	0.00	0.00	0.00	1094.1
2011	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10041.8	8799.8	8293.8	3684.6	312.8	0	0	0	0	2378.2	7902.8	8491.6	49905.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.22	428.70	324.13	174.16	0.00	0.00	0.00	996.2
2012	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	14273.8	11385	7047.2	1412.2	156.4	0	0	0	0	13.8	2378.2	9034.4	45701.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	282.08	580.91	486.38	70.71	2.60	0.00	0.00	1422.7
2013	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9834.8	7194.4	5147.4	1039.6	0	0	0	0	0	538.2	2548.4	10143	36445.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	4.84	148.85	305.90	366.18	26.42	0.00	0.00	0.00	852.2
2014	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	7300.2	6596.4	5538.4	2051.6	0	0	0	0	0	1113.2	3537.4	6978.2	33115.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.62	257.52	351.30	32.00	0.00	0.00	0.00	739.4
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11021.6	9890	7714.2	3049.8	0	0	0	0	0	768.2	1959.6	9788.8	44192.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.63	389.63	379.95	123.18	0.00	0.00	0.00	940.4
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9917.6	4715	5648.8	174.8	96.6	0	0	0	0	533.6	3937.6	12576.4	37600.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23	251.56	397.81	343.48	27.91	0.00	0.00	0.00	1023.0
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	14361.2	8261.6	5147.4	1817	69	0	0	0	0	358.8	3905.4	7893.6	41814.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	4.84	142.53	442.10	430.56	69.22	0.00	0.00	0.00	1089.2
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9614	6854	3431.6	381.8	0	0	0	0	73.6	207	3367.2	10120	34049.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.10	335.67	307.39	83.73	0.00	0.00	0.00	826.9
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11877.2	10147.6	6306.6	3910	299	0	0	0	0	0	1205.2	8344.4	42090.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	183.46	277.24	386.28	33.12	0.00	0.00	0.00	880.1

Πίνακας 4.11. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Αθήνα κέντρο’.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2010	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10520.2	6867.8	5961.6	1472	23	0	0	0	0	1536.4	795.8	6835.6	34012.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	15.26	145.13	308.87	472.61	17.49	0.00	0.00	0.00	959.4
2011	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10281	9085	8680.2	4268.8	473.8	0	0	0	0	2796.8	8399.6	8625	52610.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.68	431.68	292.50	160.02	0.00	0.00	0.00	957.9
2012	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	14632.6	11803.6	7024.2	1591.6	188.6	0	0	0	0	64.4	1458.2	9420.8	46184.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.52	602.49	489.73	71.08	5.21	0.00	0.00	1442.0
2013	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10143	7498	5409.6	1205.2	0	0	0	0	0	648.6	2925.6	10662.8	38492.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	14.51	135.83	261.61	324.88	20.84	0.00	0.00	0.00	757.7
2014	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	7672.8	6890.8	5966.2	2304.6	78.2	0	0	0	13.8	1099.4	4025	7111.6	35162.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.08	240.77	349.06	21.58	0.00	0.00	0.00	714.5
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11196.4	10308.6	8119	2980.8	27.6	0	0	0	0	984.4	1913.6	9512.8	45043.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	67.36	385.53	349.81	145.88	0.00	0.00	0.00	951.2
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10161.4	4600	5915.6	188.6	193.2	0	0	0	0	740.6	4452.8	13004.2	39256.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	4.09	247.10	361.72	322.64	18.61	0.00	0.00	0.00	954.2
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	14720	8500.8	5368.2	2106.8	156.4	0	0	0	9.2	607.2	4420.6	8211	44100.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	6.33	164.86	426.84	379.58	76.66	0.00	0.00	0.00	1054.3
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9959	7300.2	3721.4	409.4	0	0	0	0	142.6	239.2	3887	10511	36169.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.99	309.25	254.54	74.06	0.00	0.00	0.00	736.8
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	12226.8	10101.6	5791.4	3703	285.2	0	0	0	0	0	1035	8031.6	41174.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	195.00	308.13	395.58	34.61	0.00	0.00	0.00	933.3

Πίνακας 4.12. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή ‘Αμπελόκηποι’.



ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9250.6	4627.6	5809.8	418.6	174.8	0	0	0	0	524.4	3730.6	12134.8	36671.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	179.37	381.81	322.64	25.68	0.00	0.00	0.00	909.5
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	13804.6	8086.8	5368.2	2277	115	0	0	0	0	381.8	3367.2	7373.8	40774.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.71	359.86	428.70	34.24	0.00	0.00	0.00	909.5
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9218.4	6909.2	3873.2	519.8	0	0	0	0	101.2	165.6	3210.8	9775	33773.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.52	241.89	321.90	82.24	0.00	0.00	0.00	692.5
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11633.4	9586.4	5621.2	3532.8	354.2	0	0	0	0	0	616.4	7130	38474.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	157.79	261.24	428.33	61.77	0.00	0.00	0.00	909.1

Πίνακας 4.13. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Άλιμος'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	13220.4	12309.6	10846.8	5170.4	248.4	0	0	0	4.6	1775.6	3049.8	10833	57458.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.42	180.49	150.72	62.15	0.00	0.00	0.00	419.8
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	12088.8	6536.6	8358.2	1021.2	901.6	0	0	0	0	1623.8	6044.4	14779.8	51354.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	151.83	153.32	155.55	3.35	0.00	0.00	0.00	464.1
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	16491	10078.6	7355.4	4043.4	455.4	0	0	0	105.8	1462.8	6039.8	9706	55738.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86	120.57	276.50	220.31	30.14	0.00	0.00	0.00	649.4
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11615	9154	5722.4	1191.4	46	0	0	0	395.6	910.8	5437.2	12406.2	46878.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.26	160.39	63.26	29.03	0.00	0.00	0.00	283.9
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	14122	11707	7732.6	5552.2	841.8	0	0	0	0	87.4	2116	9627.8	51786.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.73	158.53	200.95	0.74	0.00	0.00	0.00	444.0

Πίνακας 4.14. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Αγ. Παρασκευή'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2011	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11904.8	10598.4	10331.6	5989.2	1168.4	0	0	0	0	3804.2	9701.4	10230.4	63728.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.47	271.66	144.02	69.22	0.00	0.00	0.00	505.4
2012	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	16196.6	13367.6	8652.6	2668	358.8	0	0	0	0	308.2	3776.6	10934.2	56262.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	144.39	433.54	330.46	21.21	0.00	0.00	0.00	929.6
2013	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11674.8	8997.6	6895.4	2208	46	0	0	0	0	1090.2	4255	12194.6	47361.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	4.09	89.31	166.35	200.95	14.14	0.00	0.00	0.00	474.8
2014	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9094.2	8068.4	7438.2	3597.2	418.6	27.6	0	0	110.4	1858.4	5589	8753.8	44955.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.43	157.41	249.70	3.72	0.00	0.00	0.00	469.3
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	12815.6	11762.2	9890	4429.8	78.2	0	0	0	0	1462.8	2893.4	10796.2	54128.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.14	239.28	228.12	86.71	0.00	0.00	0.00	584.3
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11794.4	6072	7672.8	630.2	593.4	0	0	0	0	1320.2	5676.4	14485.4	48244.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	184.95	224.03	210.26	5.21	0.00	0.00	0.00	624.4
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	16339.2	9830.2	6863.2	3367.2	354.2	0	0	0	69	1292.6	6090.4	9821	54027.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	130.99	305.15	254.91	33.12	0.00	0.00	0.00	725.3
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11458.6	8611.2	5124.4	841.8	0	0	0	0	331.2	657.8	5087.6	12176.2	44288.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.28	205.05	111.64	38.70	0.00	0.00	0.00	399.7
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	13864.4	11518.4	7475	4991	538.2	0	0	0	0	27.6	2120.6	9503.6	50038.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.60	198.72	244.49	3.72	0.00	0.00	0.00	564.5

Πίνακας 4.15. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Μαρούσι'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2012	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	16159.8	12962.8	8579	2833.6	312.8	0	0	0	0	165.6	3560.4	10695	55269.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.16	536.62	379.58	35.73	1.49	0.00	0.00	1143.6
2013	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11513.8	8910.2	7038	2120.6	27.6	0	0	0	0	1131.6	3951.4	11619.6	46312.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	103.08	197.98	270.17	13.77	0.00	0.00	0.00	585.4
2014	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9011.4	7976.4	7511.8	3707.6	492.2	13.8	0	0	69	1688.2	5165.8	8726.2	44362.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.31	159.27	270.54	5.58	0.00	0.00	0.00	492.7
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	18635.98	12316.96	10179.8	4324	50.6	0	0	0	0	1154.6	3049.8	11058.4	60770.1
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.91	273.15	232.96	86.71	0.00	0.00	0.00	620.7
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11739.2	6315.8	7833.8	970.6	565.8	0	0	0	0	1122.4	5768.4	14227.8	48543.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	194.63	251.19	248.59	10.79	0.00	0.00	0.00	705.2
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	16210.4	9765.8	7102.4	3468.4	216.2	0	0	0	46	1113.2	5704	9503.6	53130.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	5.21	116.48	329.34	315.57	34.98	0.00	0.00	0.00	801.6
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9503.6	9126.86	5354.4	938.4	732.32	708.4	0	699.66	179.4	487.6	5646.04	11886.4	45263.1
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.70	208.02	169.32	55.08	0.00	0.00	0.00	487.1
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	14247.12	11104.4	7286.4	5480.9	1362.98	0	0	0	0	36.8	1812.4	9236.8	50567.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	158.16	223.28	317.06	14.89	0.00	0.00	0.00	713.4

Πίνακας 4.16. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Άνω Λιόσια'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9278.2	4521.8	5736.2	326.6	151.8	0	0	0	0	400.2	3358	11564.4	35337.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	203.19	389.26	351.30	34.24	0.00	0.00	0.00	978.0
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	13754	7691.2	4701.2	1826.2	96.6	0	0	0	0	322	3026.8	6978.2	38396.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	122.43	410.47	447.68	73.68	0.00	0.00	0.00	1056.9
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	8786	6605.6	3532.8	381.8	0	0	0	0	59.8	119.6	2626.6	9227.6	31339.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.34	314.46	344.97	113.13	0.00	0.00	0.00	858.9
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11316	8993	5129	3247.6	184	0	0	0	0	0	464.6	6780.4	36114.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	216.96	296.59	424.98	66.98	0.00	0.00	0.00	1005.5

Πίνακας 4.17. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Πέραμα'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2014	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11596.6	10543.2	10225.8	6187	2065.4	253	0	0	460	3440.8	8077.6	10773.2	63622.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.47	30.14	123.18	0.00	0.00	0.00	0.00	189.8
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	15097.2	14531.4	13008.8	6872.4	782	13.8	0	0	105.8	2898	4692	12617.8	70619.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.30	105.69	56.94	46.52	0.00	0.00	0.00	218.4
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	14365.8	8229.4	10708.8	2152.8	1766.4	13.8	0	0	253	2778.4	7866	17277.6	65412.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	110.52	61.40	75.92	0.00	0.00	0.00	0.00	247.8
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	19071.6	12291.2	9650.8	5777.6	1108.6	69	0	0	340.4	2810.6	8040.8	12144	71304.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.20	195.74	123.92	23.07	0.00	0.00	0.00	430.9
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	13938	11362	8257	2221.8	253	0	0	0	791.2	2787.6	7649.8	14623.4	61883.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	65.87	0.00	11.16	0.00	0.00	0.00	79.6
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	16560	13878.2	10110.8	7291	2024	0	0	0	73.6	358.8	3680	11886.4	65862.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.98	84.48	95.27	0.00	0.00	0.00	0.00	214.7

Πίνακας 4.18. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Πεντέλη'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11785.2	10262.6	9236.8	5009.4	78.2	0	0	0	0	680.8	3376.4	10216.6	50646.0
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.57	131.36	14.51	0.00	0.00	0.00	234.4
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10741	6683.8	7332.4	1766.4	749.8	0	0	0	0	676.2	4383.8	13192.8	45526.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.43	112.76	93.03	4.47	0.00	0.00	0.00	268.7
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	15028.2	8850.4	7304.8	4715	184	0	0	0	4.6	1094.8	5676.4	8445.6	51303.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.49	114.99	190.53	4.84	0.00	0.00	0.00	343.9
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10478.8	7659	4747.2	2175.8	0	0	0	0	41.4	386.4	3620.2	11219.4	40328.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.84	120.94	123.92	23.07	0.00	0.00	0.00	272.8
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	12801.8	10658.2	7373.8	5138.2	809.6	0	0	0	3312	165.6	1366.2	8086.8	49712.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.29	100.48	174.90	0.00	0.00	0.00	0.00	335.7

Πίνακας 4.19. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Ραφήνα'.

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝ
2009	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	7792.4	9085	7562.4	3459.2	271.4	0	0	0	0	211.6	2626.6	4301	35309.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.49	233.33	108.29	2.60	0.00	0.00	0.00	377.7
2010	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	8307.6	5892.6	5662.6	1840	23	0	0	0	0	975.2	5165.8	5671.8	33538.6
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	53.96	210.63	360.60	1.49	0.00	0.00	0.00	627.1
2011	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9186.2	8261.6	8326	4719.6	703.8	0	0	0	0	1853.8	6532	7415.2	46998.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.54	245.24	160.39	54.33	0.00	0.00	0.00	471.5
2012	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	13179	10483.4	7341.6	1706.6	147.2	0	0	0	0	0	1412.2	7530.2	41800.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.73	359.48	312.22	23.44	0.00	0.00	0.00	810.9
2013	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	8735.4	6610.2	5276.2	1550.2	0	0	0	0	0	414	1706.6	8657.2	32949.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.33	161.88	195.74	10.42	0.00	0.00	0.00	422.4
2014	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	6647	6246.8	5763.8	2539.2	73.6	0	0	0	0	588.8	3026.8	5966.2	30852.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.19	123.92	221.05	15.26	0.00	0.00	0.00	400.4
2015	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9945.2	8933.2	7741.8	3845.6	13.8	0	0	0	0	358.8	1518	7723.4	40079.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.54	158.90	212.49	61.40	0.00	0.00	0.00	444.3
2016	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	8804.4	4908.2	5786.8	759	207	0	0	0	0	317.4	2884.2	11260.8	34927.8
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.43	222.54	176.02	9.30	0.00	0.00	0.00	498.3
2017	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	12737.4	7760.2	5759.2	2622	0	0	0	0	0	285.2	4002	6987.4	40153.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.10	242.26	269.80	32.00	0.00	0.00	0.00	628.2
2018	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	9269	6417	3813.4	1104	0	0	0	0	0	188.6	2539.2	9577.2	32908.4
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.21	215.10	201.70	40.19	0.00	0.00	0.00	478.2
2019	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	11297.6	9204.6	6030.6	3919.2	377.2	0	0	0	0	4.6	607.2	6679.2	38120.2
	ΨΥΞΗ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109.41	184.21	242.63	13.77	0.00	0.00	0.00	550.0

Πίνακας 4.20. : Η μηνιαία και ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη για την περιοχή 'Λαύριο'.

## 4.4 Τελικά αποτελέσματα

Σε αυτό υποκεφάλαιο παρουσιάζονται συνολικά τρεις πίνακες που δείχνουν τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης και στη συνέχεια μερικά γραφήματα που αναπαριστούν σχηματικά τις διαφορές από περιοχή σε περιοχή. Αρχικά για τους πίνακες, ακριβέστερα, ο πρώτος αφορά τις τιμές των μέσων ετήσιων βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης και επιπρόσθετα τις καταναλώσεις των θερμικών και ψυκτικών φορτίων των δέκα περιοχών. Δηλαδή ο πρώτος πίνακας αποτελεί συγκέντρωση και συμπύκνωση των τιμών από τα δύο προηγούμενα υποκεφάλαια - τιμές που αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τιμών της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας και των εκλυόμενων ρύπων. Στο δεύτερο πίνακα φαίνονται ακριβώς αυτές οι τιμές, που υπολογίστηκαν με τους συντελεστές που επιλέχθηκαν για το πετρέλαιο θέρμανσης και την ηλεκτρική ενέργεια όπως φαίνεται στο κεφάλαιο 3.7 της μεθοδολογίας. Στο τελευταίο πίνακα φαίνεται η ποσοστιαία συμβολή των τιμών του δεύτερου πίνακα και χρησιμεύει στην ανάδειξη των διαφορών στα ποσοστά από περιοχή σε περιοχή αλλά και των διαφορών μεταξύ των ποσοστών της πρωτογενούς ενέργειας και των εκλυόμενων ρύπων.

Σχετικά με τα γραφήματα, αρχικά παρουσιάζονται χωριστά οι καταναλώσεις της πρωτογενούς ενέργειας και οι εκλυόμενοι ρύποι από τον δεύτερο πίνακα μαζί με τα ποσοστά της θέρμανσης και της ψύξης του τρίτου πίνακα. Στη συνέχεια αξιοποιώντας τα στοιχεία του δεύτερου πίνακα, σχηματίστηκαν δύο ακόμα γραφήματα που αθροίζουν τα ποσοστά της θέρμανσης και της ψύξης και δείχνουν τη ποσοστιαία συμβολή τους, πρώτα για την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και έπειτα για τους εκλυόμενους ρύπους.

Περιοχή	Μέσες ετήσιες ΒΗΘ	Μέσες ετήσιες ΒΗΨ	Μέση ετήσια κατανάλωση για θέρμανση (KWh)	Μέση ετήσια κατανάλωση για ψύξη (KWh)
Αθήνα Κέντρο	852	262	39212	975
Αμπελόκηποι	896	254	41221	946
Άλιμος	814	230	37423	855
Αγ. Παρασκευή	1144	122	52643	452
Μαρούσι	1118	158	51448	586
Άνω Λιόσια	1098	186	50527	694
Πέραμα	767	262	35297	975
Πεντέλη	1445	62	66451	230
Ραφήνα	1033	78	47503	291
Λαύριο	806	139	37058	519

Πίνακας 4.21. : Οι μέσες ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης και οι αντίστοιχες καταναλώσεις ενέργειας για τις δέκα διαφορετικές περιοχές της μελέτης.

Περιοχή	Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση (KWh)	Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη (KWh)	Εκλυόμενοι ρύποι για θέρμανση (kgCO <sub>2</sub> )	Εκλυόμενοι ρύποι για ψύξη (kgCO <sub>2</sub> )
Αθήνα Κέντρο	43134	2828	11387	2796
Αμπελόκηποι	45343	2744	11970	2714
Άλιμος	41166	2480	10868	2453
Αγ. Παρασκευή	57908	1311	15288	1297
Μαρούσι	56593	1700	14941	1682
Άνω Λιόσια	55580	2012	14673	1990
Πέραμα	38827	2827	10250	2796
Πεντέλη	73096	668	19297	660
Ραφήνα	52254	844	13795	835
Λαύριο	40764	1505	10762	1489

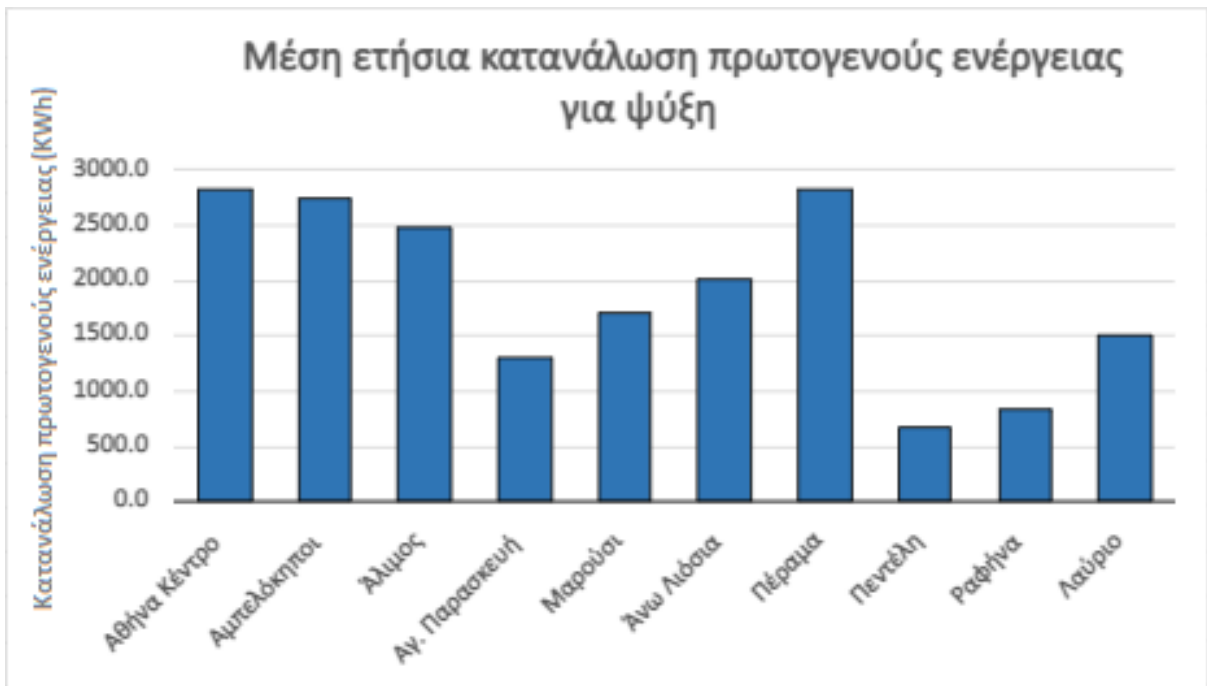
Πίνακας 4.22. : Οι μέσες ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και ψύξη και οι εκλυόμενοι ρύποι αυτών.

Περιοχή	Ποσοστιαία συμβολή πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση (%)	Ποσοστιαία συμβολή πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη (%)	Ποσοστιαία συμβολή εκπομπών για θέρμανση (%)	Ποσοστιαία συμβολή εκπομπών για ψύξη (%)
Αθήνα Κέντρο	93.85	6.15	80.28	19.72
Αμπελόκηποι	94.29	5.71	81.52	18.48
Άλιμος	94.32	5.68	81.59	18.41
Αγ. Παρασκευή	97.79	2.21	92.18	7.82
Μαρούσι	97.08	2.92	89.88	10.12
Άνω Λιόσια	96.51	3.49	88.06	11.94
Πέραμα	93.21	6.79	78.57	21.43
Πεντέλη	99.09	0.91	96.69	3.31
Ραφήνα	98.41	1.59	94.29	5.71
Λαύριο	96.44	3.56	87.85	12.15

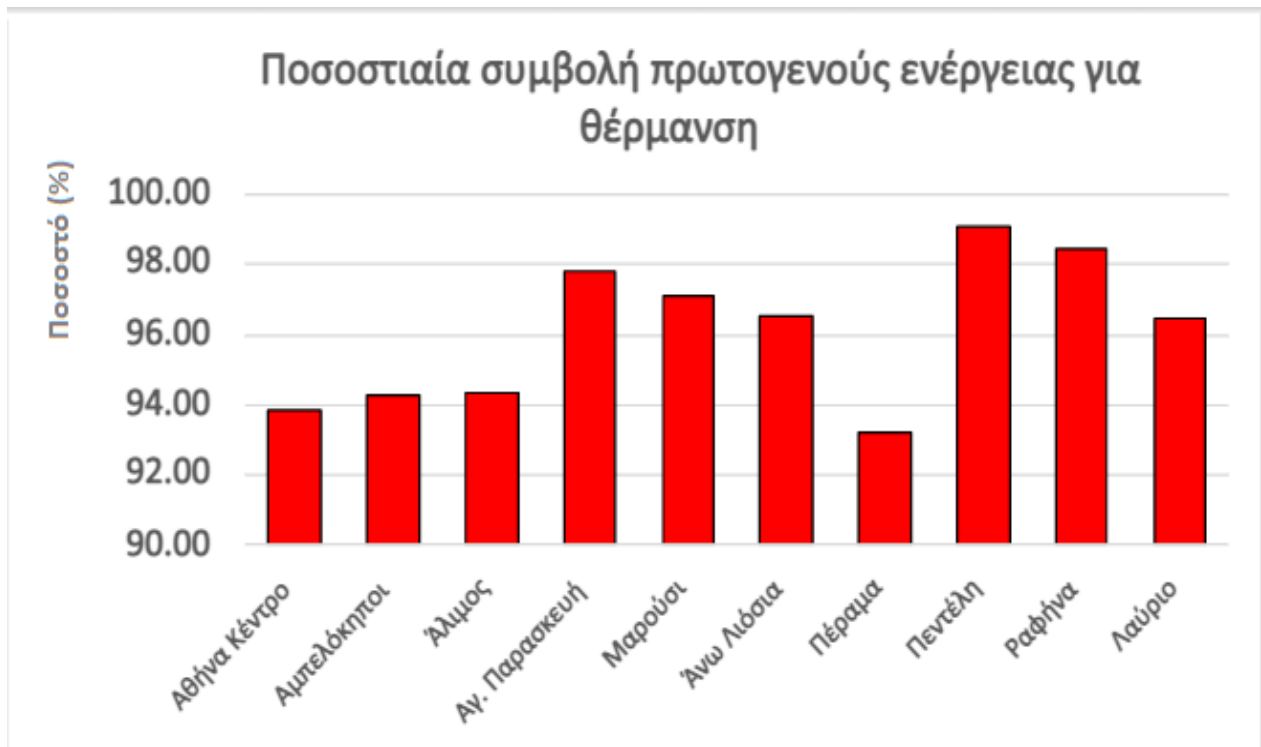
Πίνακας 4.23. : Τα ποσοστά της πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση και τη ψύξη και τα ποσοστά των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση και τη ψύξη.



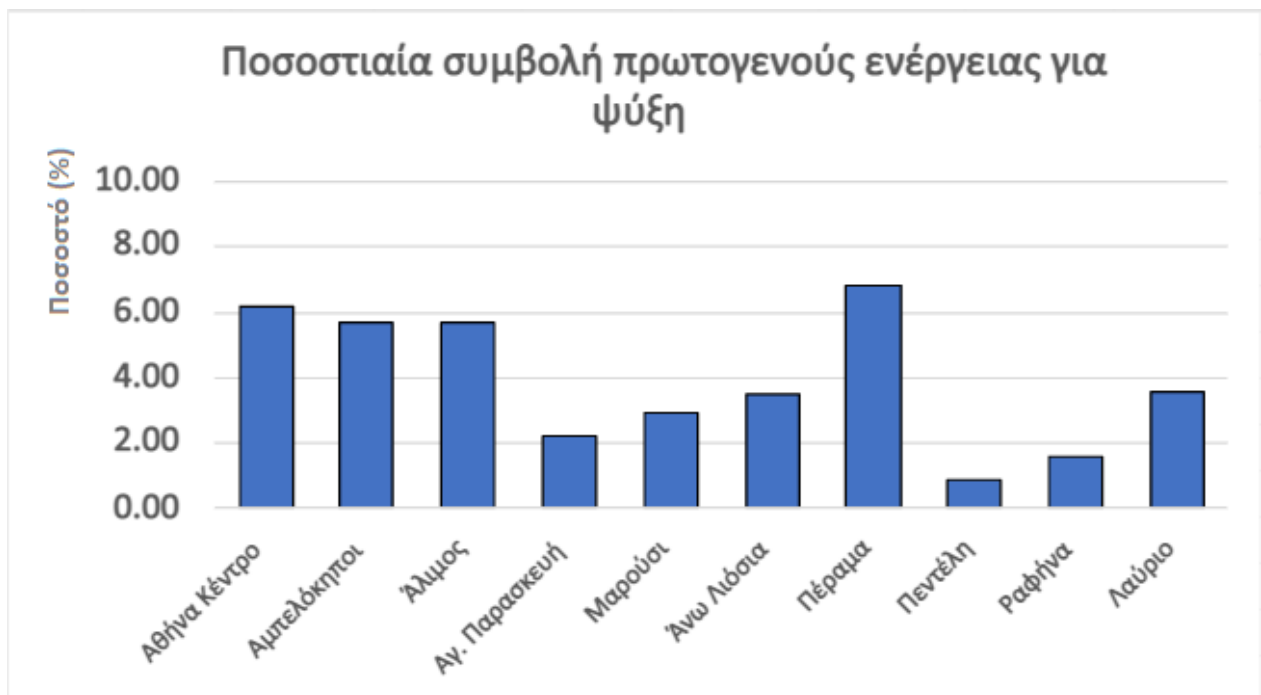
Εικόνα 4.1. : Γράφημα της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών.



Εικόνα 4.2. : Γράφημα της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη ψύξη, των δέκα περιοχών.



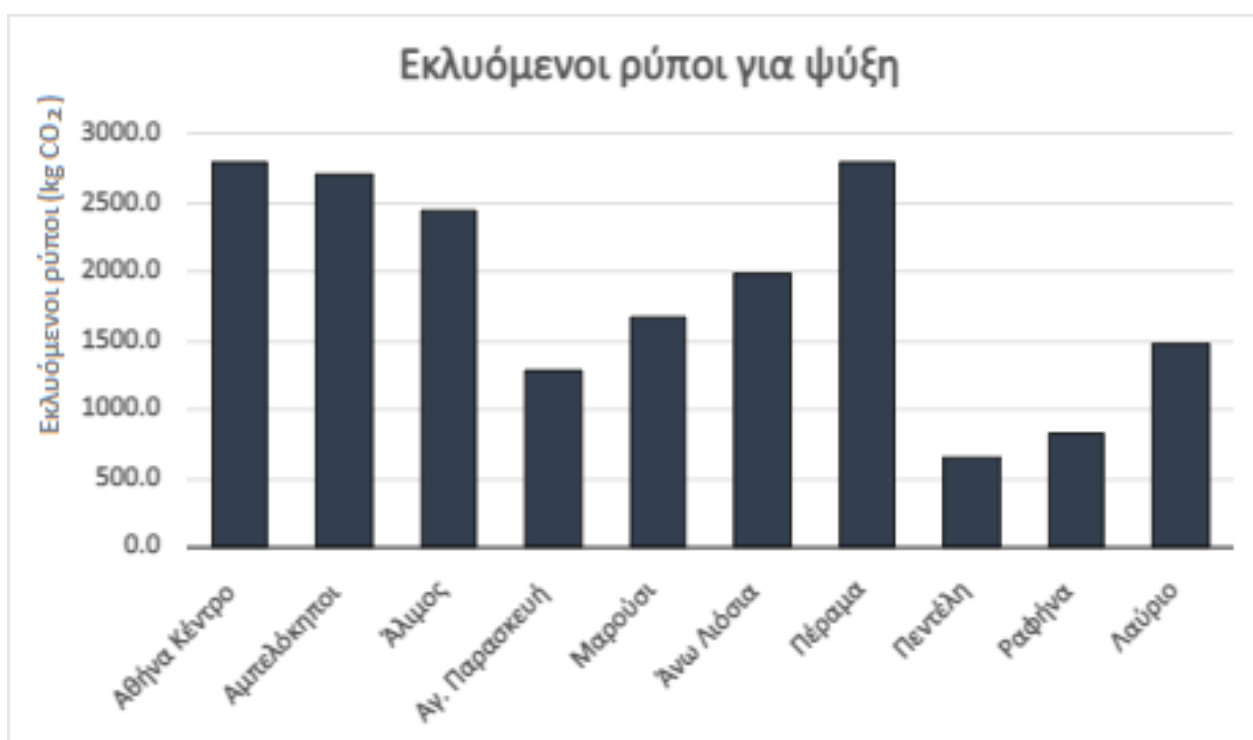
Εικόνα 4.3. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών.



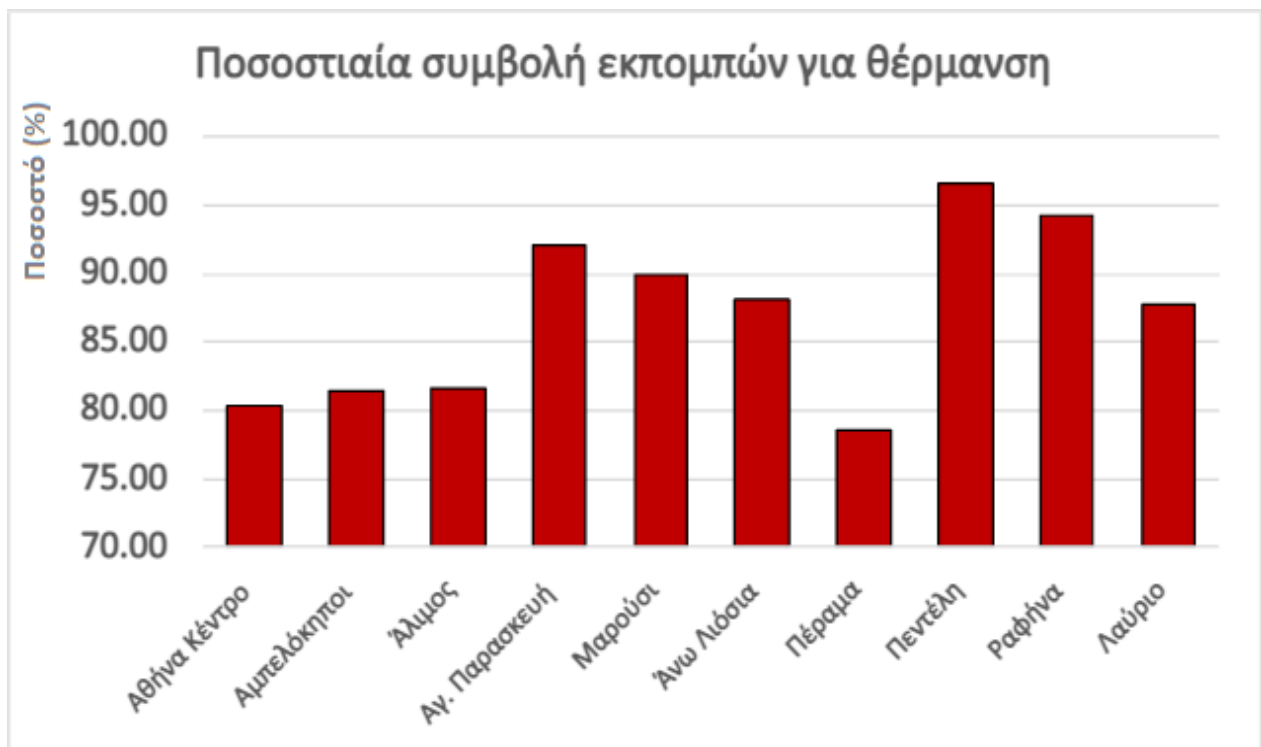
Εικόνα 4.4. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής της μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη ψύξη, των δέκα περιοχών.



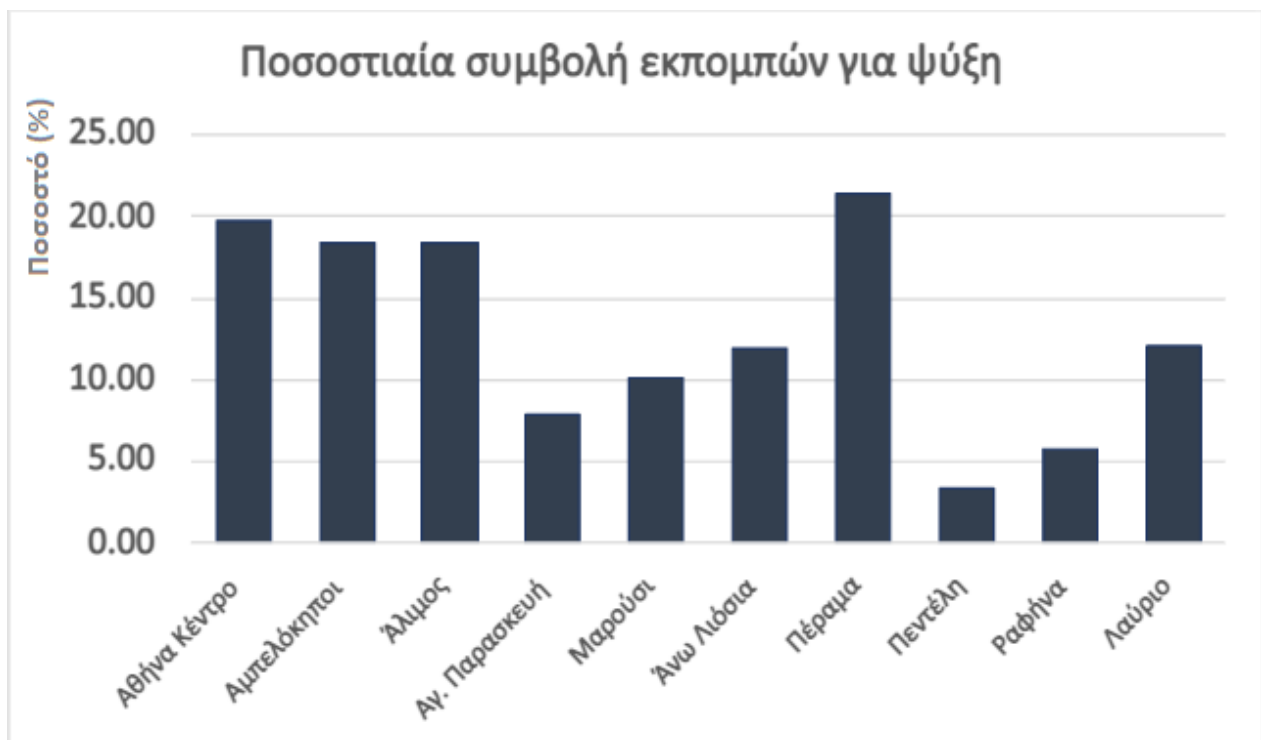
Εικόνα 4.5. : Γράφημα των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών.



Εικόνα 4.6. : Γράφημα των εκλυόμενων ρύπων για τη ψύξη, των δέκα περιοχών.

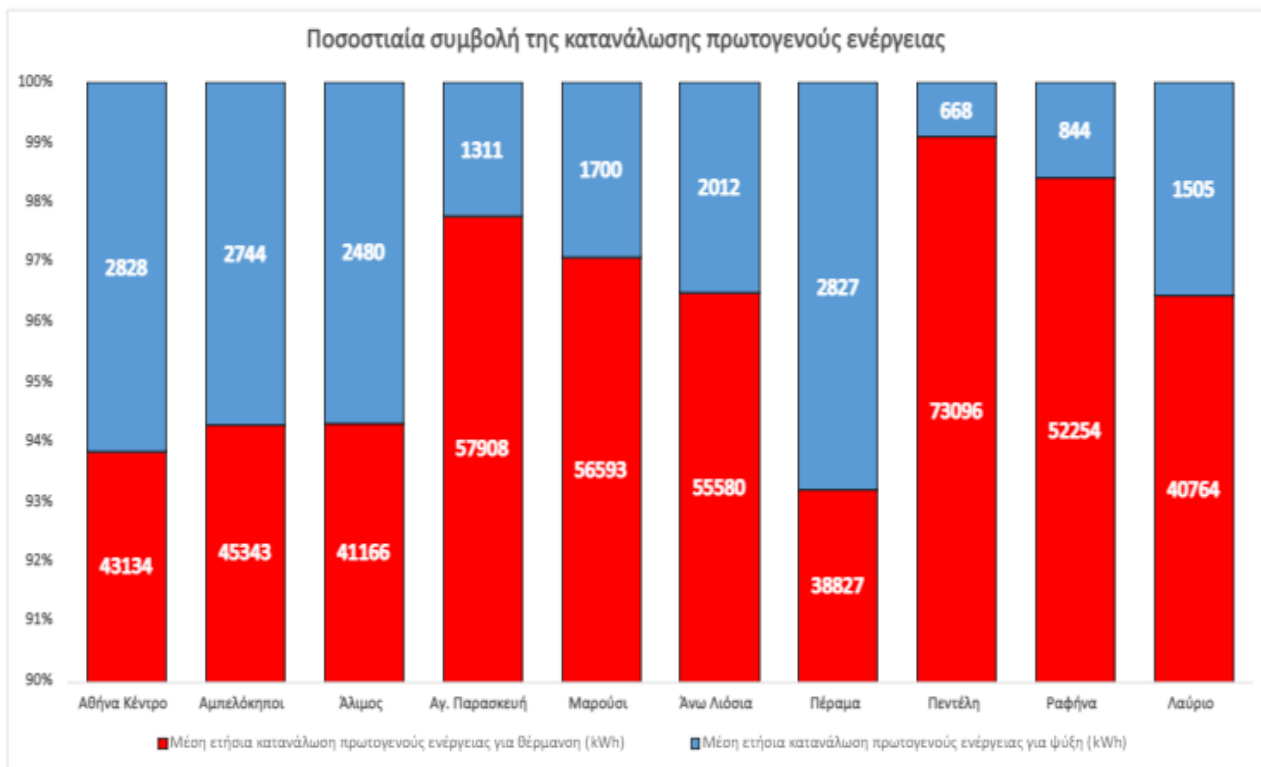


Εικόνα 4.7. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση, των δέκα περιοχών.

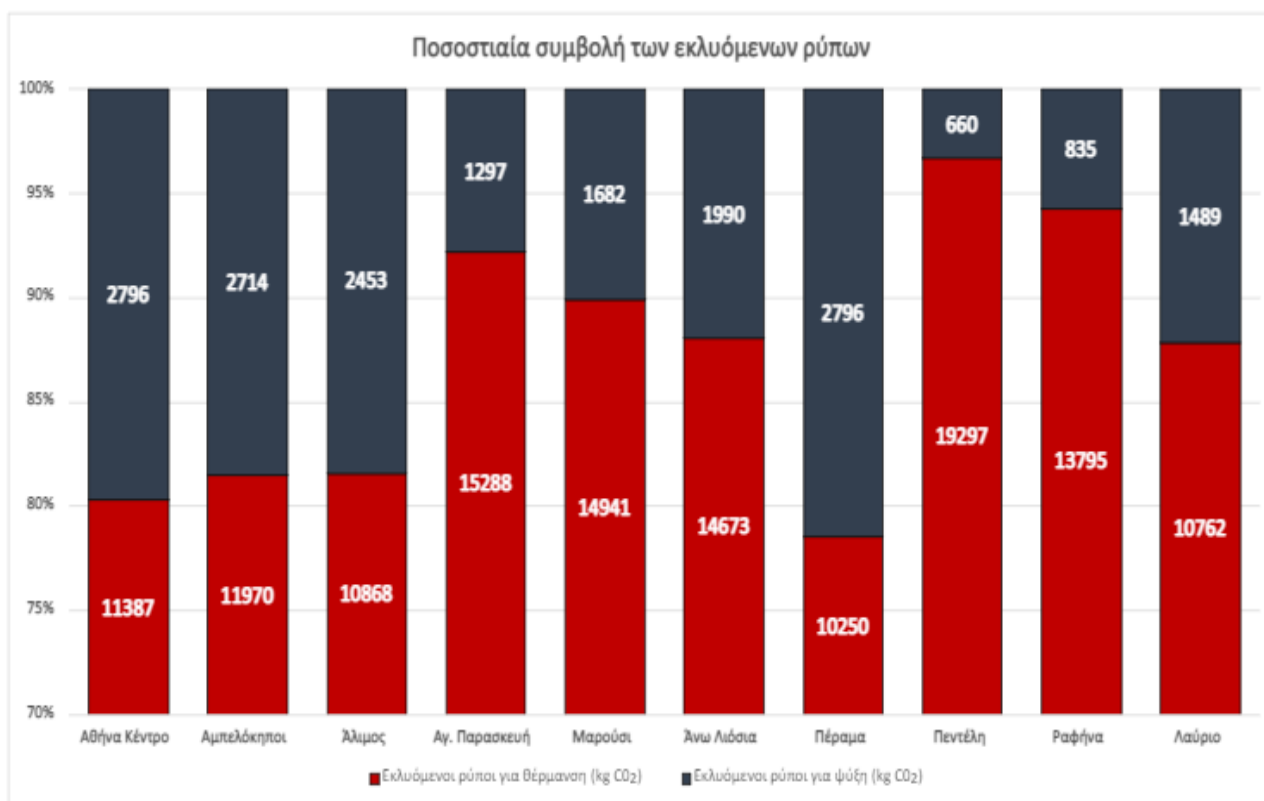


Εικόνα 4.8. : Γράφημα της ποσοστιαίας συμβολής των εκλυόμενων ρύπων για τη ψύξη, των δέκα περιοχών.





Εικόνα 4.9. : Γράφημα της ποσοστιαίας αναλογίας των ποσοστών της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας για τη θέρμανση και τη ψύξη των δέκα περιοχών.



Εικόνα 4.10. : Γράφημα της ποσοστιαίας αναλογίας των ποσοστών των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση και την ψύξη των δέκα περιοχών.

## 4.5 Ανάλυση και σχολιασμός

Εξετάζοντας αναδρομικά τον πρώτο πίνακα του προηγούμενου κεφαλαίου, παρατηρούμε αρχικά πως υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις τιμές των βαθμομερών και των κατά συνέπεια καταναλώσεων της κάθε περιοχής. Ο λόγος αυτών των διαφορών οφείλεται κυρίως στο φαινόμενο της θερμικής νησίδας, το υψόμετρο και τη σύνθετη τοπογραφία της περιοχής που μελετάται καθώς το κλίμα σε ορισμένες περιοχές επηρεάζεται από τα κοντινά βουνά και σε κάποιες από τη θάλασσα. Σχετικά με τις τιμές των δύο κέντρων παρατηρούμε πως ενώ υπάρχει μια απόσταση 3.8 χιλιομέτρων οι διαφορές είναι σχετικά μικρές. Συγκεκριμένα, οι βαθμομέρες θέρμανσης και η κατανάλωση για θέρμανση είναι στην περιοχή του σταθμού 'Αμπελόκηποι' είναι περισσότερες κατά 5.12 % από την περιοχή 'Αθήνα κέντρο' και αντίστοιχα, οι βαθμομέρες ψύξης και η κατανάλωση για ψύξη είναι μικρότερες κατά 3.06 % . Αν και αυτά τα αποτελέσματα φαίνεται να υποστηρίζουν την αρχή για περισσότερη ανάγκη για θέρμανση και μειωμένη ανάγκη για ψύξη όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο όπου η θερμική νησίδα εξασθενεί, ισχύουν μόνο αν το πρώτο κέντρο παρθεί ως σημείο αναφοράς ενώ εξεταστούν τα αποτελέσματα με βάση τον σταθμό στους Αμπελόκηπους ως αναφορικός, ισχύει το αντίθετο. Ένα βιαστικό συμπέρασμα πάνω σε αυτό θα ήταν να θεωρηθεί ο σταθμός 'Αθήνα κέντρο' καταλληλότερο σημείο αναφοράς σε μια έρευνα για τη θερμική νησίδα, ωστόσο αυτό θα αγνοούσε τη διαφορά ύψους του σταθμού που υπάρχει ανάμεσα στις δύο περιοχές. Το υψόμετρο για τη πρώτη περιοχή είναι στα 50 μέτρα ενώ για τη δεύτερη στα 136 μέτρα. Αυτό σημαίνει πως επειδή ο δεύτερος σταθμός βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος αναμένεται οι ανάγκες για θέρμανση να είναι μεγαλύτερες αλλά και οι απαιτήσεις για ψύξη να είναι μικρότερες. Συνεπώς αυτές οι μικρές διαφορές στις τιμές δεν πρέπει να προκαλούν έκπληξη και δείχνουν πως υπάρχει σημαντική ομοιότητα ανάμεσα στις δύο περιοχές σε επίπεδο ενεργειακής ανάγκης για άνεση και κατανάλωσης. Εξαιτίας αυτής της ομοιότητας, παραλήφθηκαν σκόπιμα οι πίνακες και τα γραφήματα που δείχνουν τις σχέσεις των περιοχών με την περιοχή 'Αμπελόκηποι' με βάση την απόσταση καθώς θα ήταν παρεμφερή σχηματικά και ουσιαστικά αλλά και θα πλημμύριζαν το κεφάλαιο με άλλες 30 εικόνες που θα πρόσφεραν ελάχιστα σε θέμα κατανόησης των διαφορών · αν όχι κάτι ολότελα αρνητικό. Για αυτό και στη συνέχεια οι διαφορές θα σχολιάζονται ταυτόχρονα και για τα δύο κέντρα (δηλαδή όχι πρώτα συνολικά για το ένα και μετά για το άλλο) ούτως ώστε έτσι να είναι ευκολότερο να συγκρατηθούν οι τάσεις που προκύπτουν από περιοχή σε περιοχή.

Πριν σχολιαστούν οι τιμές των καταναλώσεων της πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση και τη ψύξη αλλά και οι τιμές των εκλυόμενων ρύπων χρειάζεται να γίνει μια μικρή αναφορά στο υψόμετρο που βρίσκονται οι σταθμοί των περιοχών. Πέρα από τις τιμές στα δύο κέντρα, (τα 50 και τα 136 μέτρα) το εύρος των τιμών του υψόμετρου είναι από τα 2 έως και τα 495 μέτρα. Η περιοχή που ο σταθμός της βρίσκεται στα 495 μέτρα είναι η Πεντέλη, και αν για μια στιγμή τη παραβλέψουμε, το υψόμετρο καλύπτει ένα εύρος τιμών από τα 2 μέτρα έως και 273 μέτρα. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για δύο λόγους. Αρχικά, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.3 για τις κλιματικές ζώνες, σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. , αν μια περιοχή βρίσκεται σε υψόμετρο τουλάχιστον τα 500 μέτρα θεωρείται πως ανήκει στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη και λόγω αυτού καλύπτει ένα διαφορετικό εύρος βαθμομερών θέρμανσης. Επειδή ο νομός Αττικής ανήκει στην κλιματική ζώνη Β και επειδή το υψόμετρο είναι αρκετά κοντά στα 500 μέτρα, ο σταθμός στην Πεντέλη έχει συνθήκες όμοιες με αυτές της ζώνης Γ και αυτό φαίνεται καθαρά στις τιμές των βαθμομερών θέρμανσης, που για όλες τις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές βρίσκονται μεταξύ των 767.3 έως και 1144.3 ενώ στην Πεντέλη οι βαθμομέρες θέρμανσης είναι 1444.6 , δηλαδή 300 παραπάνω από την τελευταία υψηλότερη τιμή της Αγίας Παρασκευής. Σε ένα δεύτερο σημείο, υπάρχει τεράστια απόκλιση των τιμών που υπολογίστηκαν για την Πεντέλη σε σχέση με τις υπόλοιπες και αυτό φαίνεται καθαρά σε όλα τα γραφήματα όπου κατέχει για τη θέρμανση τις υψηλότερες τιμές και για τη ψύξη τις χαμηλότερες.

Αν και είναι εφικτό να διεξαχθούν σχετικά όμοια συμπεράσματα από τις υπολογισμένες βαθμομέρες του πίνακα 4.21. , επειδή αντικείμενο της εργασίας είναι η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χρειάζεται να επικεντρωθεί ο σχολιασμός στο πίνακα της μέσης ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας των δέκα περιοχών. Από τον πίνακα των καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας (4.22.) παρατηρούμε αρχικά πως στους σταθμούς 'Αθήνα κέντρο' και 'Αμπελόκηποι' η μέση

ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση είναι 43133.7 kWh και 45342.7 kWh και αντίστοιχα για τη ψύξη , 2827.6 kWh και 2743.8 kWh. Για τις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές καλύπτουν ένα εύρος από 38826.6 - 73095.9 kWh για τη θέρμανση και ένα εύρος 2827 - 667.7 kWh για τη ψύξη.

Αναλύοντας σε αυτό το σημείο, κατά πόσο αυξάνεται η ανάγκη για θέρμανση και πόσο μειώνεται η ανάγκη για ψύξη σε σχέση με τα κέντρα προκύπτουν τα ακόλουθα. Αρχικά για τη θέρμανση, πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν συνολικά τρεις σταθμοί που αν και βρίσκονται σε κάποια απόσταση από τα κέντρα η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση αντί να αυξάνεται με την απόσταση είναι μικρότερη. Οι σταθμοί αυτοί είναι, ο σταθμός 'Άλιμος', ο σταθμός 'Πέραμα' και ο σταθμός 'Λαύριο' και οι τιμές τους έχουν ενδιαφέρον για διαφορετικούς λόγους. Αρχικά για τον σταθμό 'Άλιμος', που βρίσκεται σε υψόμετρο τα 25 μέτρα και αρκετά κοντά από τα δύο κέντρα, οι τιμές των καταναλώσεων του είναι 41165.6 kWh και 2480 kWh δηλαδή οι καταναλώσεις για θέρμανση είναι λιγότερες από τα κέντρα κατά 4.78% και 10.1% και για τη ψύξη είναι λιγότερες κατά 14% και 10.6%. Η κατανάλωση για ψύξη πράγματι είναι μειωμένη όπως αναμενόταν ωστόσο το γεγονός ότι και η κατανάλωση για θέρμανση μειώνεται σημαίνει πως υπάρχει κάποια επίδραση στο κλίμα από το χαμηλότερο υψόμετρο και από τη κοντινή θέση της περιοχής στη θάλασσα. Σειρά έχει ο σταθμός 'Πέραμα' - ένας σταθμός με αρκετά αμφιλεγόμενα αποτελέσματα. Ο σταθμός 'Πέραμα' έχει υψόμετρο 45 μέτρα (αρκετά κοντά με τα 50 μέτρα του σταθμού 'Αθήνα κέντρο'), απέχει 13.06 και 16.87 χιλιόμετρα από τα δύο κέντρα και οι τιμές των καταναλώσεων του είναι 38826.6 kWh και 2827 kWh. Από αυτά παρατηρούμε πως οι καταναλώσεις για θέρμανση είναι μικρότερες κατά 11% και 16.7% ωστόσο για τη ψύξη οι τιμές δείχνουν κάτι απρόσμενο καθώς παρά την απόσταση είναι ίδιες με αυτές της περιοχής 'Αθήνα κέντρο'. Εξαιτίας του κοινού υψόμετρου και της γεωγραφικής θέσης της περιοχής του σταθμού κοντά στη θάλασσα, οι μειωμένες ανάγκες για θέρμανση και οι όμοιες ανάγκες για ψύξη με τα δύο κέντρα, δείχνουν πως πρόκειται για μια περιοχή που το φαινόμενο της θερμικής νησίδας είναι ιδιαίτερα έντονο · δηλαδή επικρατούν συνθήκες περισσότερο όμοιες με τα αστικά κέντρα και όχι συνθήκες μιας προαστιακής ή αγροτικής περιοχής. Επιπρόσθετα τα στοιχεία που συνθέτουν το φαινόμενο φαίνεται να είναι δριμύτερα, δηλαδή συγκριτικά με το κέντρο ενδέχεται να υπάρχει μειωμένη εξατμισοδιαπνοή (δηλαδή λιγότερη βλάστηση και επιφάνειες για εξάτμιση του νερού), πυκνότερη δόμηση των κτιρίων συνδυαστικά με κατασκευαστικά υλικά που ευνοούν την αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών, αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση και φυσικά αυξημένη ανθρωπογενής θερμότητα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για τους λόγους που αναφέραμε ο σταθμός 'Πέραμα' είναι ο δεύτερος σταθμός (μαζί με αυτόν στη Πεντέλη) που τα αποτελέσματα του ξεχωρίζουν ιδιαίτερα και αυτό φαίνεται και σε όλα τα γραφήματα , που ενώ σε γενικές γραμμές η κατανάλωση για θέρμανση αυξάνεται και η κατανάλωση για ψύξη μειώνεται, οι τιμές στο Πέραμα επαναλαμβάνουν σχηματικά την εικόνα των τιμών που βρίσκεται στα δύο κέντρα. Ο τελευταίος σταθμός με τιμές για τη θέρμανση μικρότερες από τα κέντρα είναι και ο σταθμός που απέχει περισσότερο απ' αυτά, δηλαδή ο σταθμός 'Λαύριο'. Ο σταθμός 'Λαύριο' βρίσκεται σε υψόμετρο 2 μέτρων και οι τιμές των καταναλώσεων είναι 40763.8 kWh και 1505.1 kWh. Αν και οι τιμές της θέρμανσης είναι μικρότερες από αυτές στα δύο κέντρα, παρατηρούμε επίσης πως οι τιμές για τη ψύξη είναι λιγότερες κατά το ήμισυ σχεδόν και συγκεκριμένα 1.88 και 1.82 φορές λιγότερες. Αυτό συμβαίνει αρχικά γιατί η περιοχή δεν βρίσκεται κοντά στο κέντρο αλλά και γιατί βρίσκεται γεωγραφικά σε σημείο που βρίσκεται κοντά σε περιοχές που ανήκουν στη ζώνη Α όπως οι Κυκλάδες και η Κρήτη , συνεπώς αυτές οι τιμές μπορεί να οφείλονται στο γεγονός ότι το προφίλ των συνθηκών στο Λαύριο ταιριάζει περισσότερο σε αυτό της ζώνης Α. Επιστρέφοντας τώρα στις υπόλοιπες περιοχές που οι τιμές της θέρμανσης είναι περισσότερες από αυτές του κέντρου, παρατηρούμε πως καλύπτουν ένα εύρος τιμών μεταξύ 52253.6 - 73095.9 kWh δηλαδή είναι αυξημένες κατά ποσοστό 21.1 έως 69.4 % για το πρώτο κέντρο και 15.2 έως 61.2 % για το δεύτερο. Αν από τις τιμές δεν συμπεριληφθεί η Πεντέλη εξαιτίας της μεγάλης απόκλισης και επειδή ανήκει θεωρητικά στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη τότε οι καταναλώσεις καλύπτουν ένα εύρος τιμών μεταξύ 52253.6 - 57907.7 kWh δηλαδή είναι αυξημένες κατά ποσοστό 21.1 έως 34.3% και 15.2 έως 27.7 %. Αν δεν ήταν ξεκάθαρη η απόκλιση από τους πίνακες και τα γραφήματα , η διαφορά στα ποσοστά από την αμέσως επόμενη τιμή κατά 35.1 % και 33.5% δεν αφήνει περιθώρια αμφιβολίας. Έχοντας τελειώσει με τις τιμές της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση σειρά έχουν οι τιμές για τη ψύξη. Διαφέροντας από τη συμπεριφορά στη θέρμανση, όλες οι τιμές των καταναλώσεων

για τη ψύξη -πλην φυσικά τα αποτελέσματα για το Πέραμα που έχει προφίλ αστικού κέντρου- είναι μικρότερες από αυτές των κέντρων. Συγκεκριμένα οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη είναι λιγότερες κατά 0.14 - 4.24 φορές από το πρώτο κέντρο και 0.11 - 4.11 φορές από το δεύτερο. Αν εξαιρεθούν οι υπολογισμένες καταναλώσεις από την Πεντέλη που είναι ιδιαίτερα χαμηλές με το σκεπτικό ότι ανήκουν σε διαφορετική κλιματική ζώνη, οι καταναλώσεις του συνόλου των περιοχών είναι λιγότερες κατά 0.14 - 3.35 φορές από το πρώτο κέντρο και 0.11 - 3.25 φορές από το δεύτερο. Με αυτά παρατηρούμε πως υπάρχει απόκλιση στις τιμές αν δεν ληφθεί υπόψη η Πεντέλη, ωστόσο δεν είναι το ίδιο σημαντική με την απόκλιση στη θέρμανση και υπάρχουν αρκετές περιοχές που έχουν λιγότερες απαιτήσεις και συνεπώς καταναλώνουν λιγότερα για ψύξη, σε σχέση με τα κέντρα και το Πέραμα που αποτελεί εξαίρεση.

Επειδή οι τιμές των εκλυόμενων ρύπων για τη θέρμανση και ψύξη είναι στην ουσία ένας πολλαπλασιασμός των καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας με έναν συντελεστή οι διαφορές στα ποσοστά είναι όμοιες με αυτές που παρουσιάστηκαν παραπάνω με διαφορά φυσικά τις αρχικές τιμές για αυτό τα συμπεράσματα είναι όμοια. Ωστόσο υπάρχει ενδιαφέρον να σχολιαστούν οι διαφορές ανάμεσα στην ποσοστιαία συμβολή των καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας και τη ποσοστιαία συμβολή των εκλυόμενων ρύπων. Παρατηρώντας τα γραφήματα 4.3., 4.4. και 4.9. που δημιουργήθηκαν με βάση τον πίνακα 4.23 φαίνεται πως η ποσοστιαία συμβολή της πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση του συνόλου των περιοχών είναι μεγαλύτερη σε ποσοστό από τις τιμές στα δύο κέντρα (με εξαίρεση πάντα το Πέραμα) και αντίστοιχα για την ψύξη υπάρχει μείωση της συμβολής της όσο απομακρυνόμαστε. Ακριβέστερα, για τη θέρμανση η ποσοστιαία συμβολή στα κέντρα είναι 93.85 % και 94.29 % και για τις υπόλοιπες περιοχές βρίσκεται μεταξύ 94.32 - 99.09 % και για τη ψύξη στα κέντρα είναι 6.15 % και 5.71 % και για τις υπόλοιπες περιοχές βρίσκεται μεταξύ 5.68 - 0.91 % . Ωστόσο αν και υπάρχει αύξηση στη θέρμανση και μείωση στη ψύξη στις ποσοστιαίες συμβολές από τα γραφήματα δεν φαίνεται οι τιμές να ακολουθούν ούτε αύξουσα σειρά οι τιμές της θέρμανσης ούτε φθίνουσα οι τιμές της ψύξης σε σχέση με την απόσταση.

Σε ένα τελευταίο σχόλιο έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η αλλαγή των ποσοστών της πρωτογενούς ενέργειας με τα αντίστοιχα ποσοστά των εκλυόμενων ρύπων. Βλέποντας τα γραφήματα 4.3., 4.4., 4.7. και 4.8. και τα γραφήματα 4.9. και 4.10. παρατηρούμε πως είναι σχηματικά πανομοιότυπα ωστόσο υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα ποσοστά που αναλογούν στις τιμές για τη θέρμανση και τη ψύξη. Όπως σχολιάστηκε πιο πάνω η ποσοστιαία συμβολή της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση βρίσκεται για το σύνολο των περιοχών (μαζί με τα κέντρα) σε ποσοστά που ξεκινούν περίπου από το 93% και φτάνουν το 99% αλλά οι αντίστοιχοι εκλυόμενοι ρύποι ξεκινούν από ποσοστό 80% στα κέντρα και φτάνουν μέχρι και ποσοστό 96.69 % σε πιο απομακρυσμένες περιοχές. Αυτό σημαίνει πως στα κέντρα το ποσοστό εκλυόμενων ρύπων από την κάλυψη των αναγκών για ψύξη φτάνει το 20% ενώ στις πιο απομακρυσμένες περιοχές καταλήγει να είναι μέχρι και 3.31 %. Βέβαια το 3.31 % ανήκει στην Πεντέλη που πρακτικά ανήκει στην επόμενη κλιματική ζώνη ωστόσο το αμέσως επόμενο ποσοστό είναι στη Ραφήνα και είναι 5.71 % δηλαδή έχουμε σχεδόν 3 φορές μικρότερο ποσοστό εκλυόμενων ρύπων σε σχέση με τα κέντρα. Μια ενδιαφέρουσα σύγκριση στο πως διαφέρουν οι τιμές στα ποσοστά των εκλυόμενων ρύπων φαίνεται μεταξύ δύο περιοχών που έχουν κοινό υψόμετρο όμως η μία βρίσκεται αρκετά κοντά στην αστική δομή -και επηρεάζεται συνεπώς από το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας- και η άλλη βρίσκεται σε απόσταση 26 και 22 χιλιομέτρων από τα κέντρα. Ο λόγος για τις περιοχές των σταθμών 'Άλιμος' και 'Ραφήνα'. Στον Άλιμο η ποσοστιαία συμβολή των εκλυόμενων ρύπων είναι 81.59 % από τη θέρμανση και 18.41% από τη ψύξη και για τη Ραφήνα οι τιμές είναι 94.29 % από τη θέρμανση και 5.71 % για τη ψύξη δηλαδή παρατηρούμε πως οι εκλυόμενοι ρύποι από τη ψύξη για τον Άλιμο είναι 3.23 φορές περισσότεροι. Αυτό μας ενδιαφέρει γιατί εκτός ότι δείχνει τις διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών μας δείχνει και τις αυξημένες ανάγκες για ψύξη που υπάρχουν εξαιτίας του φαινομένου της θερμικής νησίδας που δύναται να μειωθούν με επεμβάσεις αναχαίτισης όπως το φύτεμα δέντρων σε ανοιχτούς χώρους, με πράσινες οροφές και με τα 'ψυχρά υλικά' στις κατασκευές.

---

# Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

## Συμπεράσματα

---

## 5. Συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη της καταναλισκόμενης ενέργειας για τη θέρμανση και τη ψύξη εφαρμόζοντας τη μέθοδο των βαθμοημερών για μια απλή, τυπική και νέα (προς κατασκευή) μονοκατοικία, με κοινά χαρακτηριστικά, σε απομονωμένη τοποθέτηση για δέκα διαφορετικές περιοχές στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών. Η τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και κλιματισμό των κτιρίων επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που βρίσκεται και η παράμετρος που διακρίνεται περισσότερο για τη στενή της σχέση με την χρήση ενέργειας είναι η εξωτερική θερμοκρασία. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλή αυξάνεται η ανάγκη για ψύξη και όταν είναι χαμηλή η ανάγκη για θέρμανση. Οι βαθμοημέρες αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο που λαμβάνει υπόψιν την εξωτερική θερμοκρασία και προσφέρει μια εικόνα των αναγκών για θέρμανση και των αναγκών για ψύξη μέσω αθροιστικών διαφορών μεταξύ της εξωτερικής θερμοκρασίας και μιας ορισμένης θερμοκρασίας βάσης για ένα συγκεκριμένο διάστημα. Επειδή οι κλιματικές συνθήκες διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και επειδή εντός των αστικών περιοχών αναπτύσσεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας -που ευθύνεται για τις αυξημένες θερμοκρασίες στο κέντρο των αστικών περιοχών που φθίνουν όσο απομακρυνόμαστε από αυτό- αναμένονται διαφορές στις απαιτήσεις και στην τελική κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των περιοχών.

Σκοπός της μελέτης είναι αρχικά να παρουσιαστεί ο απλός και γρήγορος τρόπος υπολογισμού των φορτίων θέρμανσης και ψύξης από τη μέθοδο των βαθμοημερών καθώς και η ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν το τοπικό κλίμα και συμβάλουν στις διαφορές των υπολογισμένων φορτίων της κάθε περιοχής. Για αυτό το σκοπό επιλέχθηκαν από το σύνολο των περιοχών 2 αντιπροσωπευτικές για το κέντρο της Αθήνας και 8 σε διάφορα απομακρυσμένα σημεία απ' αυτό (σε αποστάσεις που ξεκινούν από τα 6 χιλιόμετρα και φτάνουν μέχρι και τα 42), από τους διαθέσιμους εγκατεστημένους σταθμούς του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, όπου συλλέχθηκαν κλιματικά δεδομένα και πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί των φορτίων για τη θέρμανση και τη ψύξη καθώς και οι εκλούμενοι ρύποι αυτών.

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τον ιστότοπο του [meteo.gr](http://meteo.gr) από την καρτέλα του [meteosearch](http://meteosearch). Με βάση τη δομή των δεδομένων υπήρχε η δυνατότητα για υπολογισμούς με τουλάχιστον τρεις μεθόδους βαθμοημερών (αξιοποιώντας τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, τις μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες ή και την μέση μηνιαία θερμοκρασία). Για τη λύση στο δίλημμα χρειάστηκε να ληφθεί υπόψιν ότι οι σταθμοί καταγράφουν τις τιμές με χρονικό βήμα δέκα λεπτών και έτσι επιλέχθηκε η μέθοδος της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας ως η αμέσως πιο ακριβής από αυτή των ωριαίων δεδομένων. Έχοντας επιλέξει θερμοκρασίες βάσης τους 18 °C και τους 26 °C από την τρίτη Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (TOTEE 20701-3) υπολογίστηκαν οι βαθμοημέρες θέρμανσης (HDD) με τους 18 °C και οι βαθμοημέρες ψύξης (CDD) με τους 26 °C, για κάθε μήνα που υπήρχαν διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα από τις δέκα επιλεγμένες περιοχές. Οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης υπολογίστηκαν για περιοχές που υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα τουλάχιστον από μια τετραετία μέχρι και για δεδομένα 11 χρόνων. Στη συνέχεια από τις τιμές των βαθμοημερών του κάθε μήνα και με βάση τις υποδείξεις για νέα κτίρια, από τον εθνικό κανονισμό για τα κτίρια (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων - Κ.Εν.Α.Κ.), υπολογίστηκαν τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία. Τέλος από τα φορτία της κάθε περιοχής υπολογίστηκε η μέση ετήσια κατανάλωση - προκειμένου να συμπυκνωθεί το χρονολογικό εύρος τιμών σε μια αντιπροσωπευτική τιμή για τη περιοχή- και μέσω αυτής χρειάστηκε να υπολογιστεί η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας με τη βοήθεια συντελεστών μετατροπής από τον Κ.Εν.Α.Κ. . Από την μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίστηκαν και οι εκλούμενοι ρύποι. Οι τιμές της μέσης ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και οι εκλούμενοι ρύποι αποτελούν το αντικείμενο σχολιασμού και διεξαγωγής συμπερασμάτων της εργασίας.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα παρατηρούμε πως υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις τιμές των καταναλώσεων. Ο λόγος αυτών των διαφορών οφείλεται κυρίως στο φαινόμενο της θερμικής νησίδας, το υψόμετρο και τη σύνθετη τοπογραφία της περιοχής που μελετάται καθώς το κλίμα σε ορισμένες περιοχές επηρεάζεται από τα κοντινά βουνά και σε κάποιες από τη θάλασσα. Συγκρίνοντας τις τιμές στα δύο κέντρα, παρατηρούμε πως υπάρχει σημαντική ομοιότητα ανάμεσα στις δύο περιοχές σε επίπεδο ενεργειακής ανάγκης για άνεση, και ενώ υπάρχει μια απόσταση 3.8 χιλιομέτρων οι διαφορές είναι σχετικά μικρές και μπορούν να καταλογιστούν στην υψομετρική διαφορά τους (50 μέτρα για την

περιοχή του σταθμού 'Αθήνα κέντρο' και 126 μέτρα για την περιοχή του σταθμού 'Αμπελόκηποι').

Επειδή οι εγκατεστημένοι σταθμοί βρίσκονται σε διαφορετικά υψόμετρα χρειάζεται να αναφερθεί πως όταν μια περιοχή βρίσκεται σε υψόμετρο 500 μέτρων ανήκει στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη με ύστατη την ζώνη Δ, σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. . Τα υψόμετρα των σταθμών καλύπτουν ένα εύρος από 2 έως και 495 μέτρα. . Η περιοχή που ο σταθμός της βρίσκεται στα 495 μέτρα είναι η Πεντέλη, και αν για μια στιγμή τη παραβλέψουμε, το υψόμετρο καλύπτει ένα εύρος τιμών από τα 2 μέτρα έως και 273 μέτρα. Αυτό έχει σημασία επειδή η Αθήνα σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. ανήκει στην ζώνη Β και συνεπώς οι κλιματικές συνθήκες της Πεντέλης προσιδιάζουν με τις συνθήκες της ζώνης Γ δηλαδή υπάρχουν περισσότερες απαιτήσεις για θέρμανση και λιγότερες για ψύξη συγκριτικά με τις υπόλοιπες 9 περιοχές που επιλέχθηκαν. Επειδή η Πεντέλη θεωρητικά ανήκει στην επόμενη κλιματική ζώνη και επειδή υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των υπόλοιπων τιμών η Πεντέλη θα έχει ξεχωριστή μεταχείριση στους επικείμενους σχολιασμούς των αποτελεσμάτων.

Οι τιμές των καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας για του σταθμούς 'Αθήνα κέντρο' και 'Αμπελόκηποι' είναι 43133.7 kWh και 45342.7 kWh για τη θέρμανση και , 2827.6 kWh και 2743.8 kWh για τη ψύξη. Για τις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές της θέρμανσης καλύπτουν ένα εύρος από 38826.6 - 73095.9 kWh για τη θέρμανση και ένα εύρος 2827 - 667.7 kWh για τη ψύξη. Αν και αναμένεται οι τιμές για τη θέρμανση να είναι αυξημένες όσο απομακρυνόμαστε από τα δύο κέντρα παρατηρούμε πως υπάρχουν τρεις σταθμοί που η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι μικρότερη και οι λόγοι για αυτό είναι διαφορετικοί για τη κάθε περιοχή.

Οι τρεις σταθμοί είναι, ο σταθμός 'Άλιμος', ο σταθμός 'Πέραμα' και ο σταθμός 'Λαύριο'. Αρχικά για τον σταθμό 'Άλιμος', που βρίσκεται σε υψόμετρο τα 25 μέτρα και αρκετά κοντά από τα δύο κέντρα, οι τιμές των καταναλώσεων του είναι 41165.6 kWh και 2480 kWh δηλαδή οι καταναλώσεις για θέρμανση είναι λιγότερες από τα κέντρα κατά 4.78% και 10.1% και για τη ψύξη είναι λιγότερες κατά 14% και 10.6%. Η κατανάλωση για ψύξη πράγματι είναι μειωμένη όπως αναμενόταν ωστόσο το γεγονός ότι και η κατανάλωση για θέρμανση μειώνεται σημαίνει πως υπάρχει κάποια επίδραση στο κλίμα από το χαμηλότερο υψόμετρο και από τη κοντινή θέση της περιοχής στη θάλασσα.

Σειρά έχει ο σταθμός 'Πέραμα' - ένας σταθμός με αρκετά αμφιλεγόμενα αποτελέσματα. Ο σταθμός 'Πέραμα' έχει υψόμετρο 45 μέτρα (αρκετά κοντά με τα 50 μέτρα του σταθμού 'Αθήνα κέντρο'), απέχει 13.06 και 16.87 χιλιόμετρα από τα δύο κέντρα και οι τιμές των καταναλώσεων του είναι 38826.6 kWh και 2827 kWh. Από αυτά παρατηρούμε πως οι καταναλώσεις για θέρμανση είναι μικρότερες κατά 11% και 16.7% ωστόσο για τη ψύξη οι τιμές δείχνουν κάτι απρόσμενο καθώς παρά την απόσταση είναι ίδιες με αυτές της περιοχής 'Αθήνα κέντρο'. Εξαιτίας του κοινού υψόμετρου και της γεωγραφικής θέσης της περιοχής του σταθμού κοντά στη θάλασσα, οι μειωμένες ανάγκες για θέρμανση και οι όμοιες ανάγκες για ψύξη με τα δύο κέντρα, δείχνουν πως πρόκειται για μια περιοχή που το φαινόμενο της θερμικής νησίδας είναι ιδιαίτερα έντονο · δηλαδή επικρατούν συνθήκες περισσότερο όμοιες με τα αστικά κέντρα και όχι συνθήκες μιας προαστιακής ή αγροτικής περιοχής. Επιπρόσθετα τα στοιχεία που συνθέτουν το φαινόμενο φαίνεται να είναι δριμύτερα. Για τους λόγους που αναφέραμε ο σταθμός 'Πέραμα' είναι ο δεύτερος σταθμός μαζί με αυτόν στη Πεντέλη, που τα αποτελέσματα του ξεχωρίζουν ιδιαίτερα και αυτό φαίνεται και σε όλα τα γραφήματα , που ενώ σε γενικές γραμμές η κατανάλωση για θέρμανση αυξάνεται και η κατανάλωση για ψύξη μειώνεται, οι τιμές στο Πέραμα επαναλαμβάνουν σχηματικά την εικόνα των τιμών που βρίσκεται στα δύο κέντρα.

Ο τελευταίος σταθμός με τιμές για τη θέρμανση μικρότερες από τα κέντρα είναι και ο σταθμός που απέχει περισσότερο απ' αυτά, δηλαδή ο σταθμός 'Λαύριο'. Ο σταθμός 'Λαύριο' βρίσκεται σε υψόμετρο 2 μέτρων και οι τιμές των καταναλώσεων είναι 40763.8 kWh και 1505.1 kWh. Αν και οι τιμές της θέρμανσης είναι μικρότερες από αυτές στα δύο κέντρα, παρατηρούμε επίσης πως οι τιμές για τη ψύξη είναι λιγότερες κατά το ήμισυ σχεδόν και συγκεκριμένα 1.88 και 1.82 φορές λιγότερες. Αυτό συμβαίνει αρχικά γιατί η περιοχή δεν βρίσκεται κοντά στο κέντρο αλλά και γιατί βρίσκεται γεωγραφικά σε σημείο που βρίσκεται κοντά σε περιοχές που ανήκουν στη ζώνη Α όπως οι Κυκλάδες και η Κρήτη , συνεπώς αυτές οι τιμές μπορεί να οφείλονται στο γεγονός ότι το προφίλ των συνθηκών στο Λαύριο ταιριάζει περισσότερο σε αυτό της ζώνης Α.

Για τις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές της κατανάλωσης για θέρμανση καλύπτουν ένα εύρος τιμών μεταξύ 52253.6 - 73095.9 kWh δηλαδή είναι αυξημένες κατά ποσοστό 21.1 έως 69.4 % για το πρώτο κέντρο

και 15.2 έως 61.2 % για το δεύτερο. Αν από τις τιμές δεν συμπεριληφθεί η Πεντέλη εξαιτίας της μεγάλης απόκλισης και επειδή ανήκει θεωρητικά στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη τότε οι καταναλώσεις καλύπτουν ένα εύρος τιμών μεταξύ 52253.6 - 57907.7 kWh δηλαδή είναι αυξημένες κατά ποσοστό 21.1 έως 34.3% και 15.2 έως 27.7 %. Δηλαδή αγνοώντας την Πεντέλη οι διαφορές στα ποσοστά από την αμέσως επόμενη τιμή πέφτουν κατά 35.1 % και 33.5% αντίστοιχα, συνεπώς παρατηρούμε καθαρά τις διαφορές που έχει στις τιμές μια περιοχή που ανήκει στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη.

Σχετικά με τις υπολογισμένες καταναλώσεις για ψύξη, παρατηρούμε πως όλες οι τιμές των καταναλώσεων -πλην φυσικά τα αποτελέσματα για το Πέραμα που έχει προφίλ αστικού κέντρου- είναι μικρότερες από αυτές των κέντρων. Συγκεκριμένα οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη είναι λιγότερες κατά 0.14 - 4.24 φορές από το πρώτο κέντρο και 0.11 - 4.11 φορές από το δεύτερο. Αν εξαιρεθούν οι υπολογισμένες καταναλώσεις από την Πεντέλη οι καταναλώσεις του συνόλου των περιοχών είναι λιγότερες κατά 0.14 - 3.35 φορές από το πρώτο κέντρο και 0.11 - 3.25 φορές από το δεύτερο. Με αυτά παρατηρούμε πως υπάρχει απόκλιση στις τιμές αν δεν ληφθεί υπόψη η Πεντέλη, ωστόσο δεν είναι το ίδιο σημαντική με την απόκλιση στη θέρμανση (του 35.1 και 33.5 %) και υπάρχουν αρκετές περιοχές που έχουν λιγότερες απαιτήσεις και συνεπώς καταναλώνουν λιγότερα για ψύξη, σε σχέση με τα κέντρα και το Πέραμα φυσικά, που αποτελεί εξαίρεση.

Παρατηρώντας τη ποσοστιαία συμβολή της μέσης ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας φαίνεται πως, η ποσοστιαία συμβολή της πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση του συνόλου των περιοχών είναι μεγαλύτερη σε ποσοστό από τις τιμές στα δύο κέντρα (με εξαίρεση πάντα το Πέραμα) και αντίστοιχα για την ψύξη υπάρχει μείωση της συμβολής της όσο απομακρυνόμαστε. Ακριβέστερα, για τη θέρμανση η ποσοστιαία συμβολή στα κέντρα είναι 93.85 % και 94.29 % και για τις υπόλοιπες περιοχές βρίσκεται μεταξύ 94.32 - 99.09 % και για τη ψύξη στα κέντρα είναι 6.15 % και 5.71 % και για τις υπόλοιπες περιοχές βρίσκεται μεταξύ 5.68 - 0.91 % . Ωστόσο αν και υπάρχει αύξηση στη θέρμανση και μείωση στη ψύξη στις ποσοστιαίες συμβολές από τα γραφήματα δεν φαίνεται οι τιμές να ακολουθούν ούτε αύξουσα σειρά οι τιμές της θέρμανσης ούτε φθίνουσα οι τιμές της ψύξης σε σχέση με την απόσταση.

Τέλος σε μια σύγκριση μεταξύ της ποσοστιαίας συμβολής της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και των εκλυόμενων ρύπων παρατηρούμε πως η ποσοστιαία συμβολή της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση βρίσκεται για το σύνολο των περιοχών σε ποσοστά που ξεκινούν περίπου από το 93% και φτάνουν το 99% αλλά οι αντίστοιχοι εκλυόμενοι ρύποι ξεκινούν από ποσοστό 80% στα κέντρα και φτάνουν μέχρι και ποσοστό 96.69 % σε πιο απομακρυσμένες περιοχές. Αυτό σημαίνει πως στα κέντρα το ποσοστό εκλυόμενων ρύπων που προέρχεται από τη ψύξη φτάνει το 20% ενώ στις πιο απομακρυσμένες περιοχές καταλήγει να είναι μέχρι και 3.31 %. Βέβαια το 3.31 % ανήκει στην Πεντέλη που πρακτικά ανήκει στην επόμενη κλιματική ζώνη, ωστόσο το αμέσως επόμενο ποσοστό είναι στη Ραφήνα και είναι 5.71 % δηλαδή έχουμε σχεδόν 3 φορές μικρότερο ποσοστό εκλυόμενων ρύπων σε σχέση με τα κέντρα.

Μια τελευταία ενδιαφέρουσα σύγκριση στο πως διαφέρουν οι τιμές στα ποσοστά των εκλυόμενων ρύπων φαίνεται μεταξύ δύο περιοχών που έχουν κοινό υψόμετρο όμως η μία βρίσκεται αρκετά κοντά στην αστική δομή -και επηρεάζεται συνεπώς από το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας- και η άλλη βρίσκεται σε απόσταση 26 και 22 χιλιομέτρων από τα κέντρα. Ο λόγος για τις περιοχές των σταθμών 'Άλιμος' και 'Ραφήνα'. Στον Άλιμο η ποσοστιαία συμβολή των εκλυόμενων ρύπων είναι 81.59 % από τη θέρμανση και 18.41% από τη ψύξη και για τη Ραφήνα οι τιμές είναι 94.29 % από τη θέρμανση και 5.71 % για τη ψύξη δηλαδή παρατηρούμε πως οι εκλυόμενοι ρύποι από τη ψύξη για τον Άλιμο είναι 3.23 φορές περισσότεροι. Αυτό μας ενδιαφέρει γιατί εκτός ότι δείχνει τις διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών μας δείχνει και τις αυξημένες ανάγκες για ψύξη που υπάρχουν εξαιτίας του φαινομένου της θερμικής νησίδας που δύναται να μειωθούν με επεμβάσεις αναχαίτισης όπως το φύτεμα δέντρων σε ανοιχτούς χώρους, με πράσινες οροφές και με τα 'ψυχρά υλικά' στις κατασκευές.



## Αναφορές

[1] IPCC, 2018: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf)

[2] S.G.Poulopoulos, 2016, 'Environment and Development', Chapter 2 - Atmospheric Environment, Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications, Pages 45-136.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444627339000022>

[3] Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Dec. 10, 1997, 2303 U.N.T.S. 162.

URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

[4] United Nations / Framework Convention on Climate Change (2015) Adoption of the Paris Agreement, 21st Conference of the Parties, Paris: United Nations. AN OFFICIAL PUBLICATION. Bell, E., Cullen, J. and Taylor, S.

URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

[5] European Council, Presidency Conclusions — Brussels 8/9 March 2007, Council of the European Union, 7224/1/07, 2007.

URL: [https://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/en/ec/93135.pdf](https://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/93135.pdf)

[6] European Commission: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions : Stepping up Europe's 2030 climate ambition, Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people, Brussels, 17.9.2020 COM(2020) 562 final

URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/En/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0562&from=EN>

[7] EU Climate Action Progress Report : Speeding up European climate action towards a green , fair and prosperous future. -European commission , November 2021.

URL: [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-11/policy\\_strategies\\_progress\\_com\\_2021\\_960\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-11/policy_strategies_progress_com_2021_960_en.pdf)

[8] European Commission : Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality , Brussels, 14.7.2021, COM(2021) 550 final.

URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN>

[9] European Commission, Directorate-General for Energy, Strug, K., Hoen, M., Chan, Y. (2021). Technical assistance services to assess the energy savings potentials at national and European level : summary of EU results, Publications Office.

URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/10965>

[10] Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings.

URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0071:EN:PDF>

[11] Νόμος 3661/2008: Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις. - ΦΕΚ 89/Α/19-5-2008.

[12] Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825: «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων» -Φ.Ε.Κ. Β' 407 /9-4-2010

URL: [https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/407b\\_2010.1423739423093.pdf](https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/407b_2010.1423739423093.pdf)

- [13] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε -20701-1/ 2017: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. - Σύμφωνα με την αναθεώρηση του Κ.Εν.Α.Κ (2017). Α΄ έκδοση, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017  
URL: [http://www.kenak.gr/files/TOTEE\\_20701-1\\_2017.pdf](http://www.kenak.gr/files/TOTEE_20701-1_2017.pdf)
- [14] Νόμος 4122/2013 : Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις. - ΦΕΚ 42/Α/19-2-2013  
URL: [https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2022-07/42a\\_2013.pdf](https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2022-07/42a_2013.pdf)
- [15] Απόφαση ΔΕΠΕΑ/οικ.178581: «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων» -ΦΕΚ 2367/Β΄ 12.7.2017  
URL: [https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/2367b\\_17.1499950504761.pdf](https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/2367b_17.1499950504761.pdf)
- [16] ΥΠΕΝ/ΕΣΠΙΑΕΝ/33481/396: Επαναπροκήρυξη Διακήρυξης Ανοικτού Ηλεκτρονικού διαγωνισμού (ΕΣΗΔΗΣ) για το υποέργο με τίτλο «Καθορισμός των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και δομικών στοιχείων & κατάρτιση εθνικού σχεδίου αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας».Κωδικός ΟΠΣ:5030248 και Κωδικός πράξης ΣΑ: 2018ΣΕ17510006 - 6/4/2022.  
URL: [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2022/04/Επαν-Διεθνούς-διαγωνισμού\\_Υπ9\\_ΑΔΑΜ.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2022/04/Επαν-Διεθνούς-διαγωνισμού_Υπ9_ΑΔΑΜ.pdf)
- [17] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε -20701-3/ 2010: Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών -Β΄ έκδοση , Αθήνα, Απρίλιος 2012  
URL: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf>
- [18] K. Papakostas, T. Mavromatis, N. Kyriakis , 2010, ‘Impact of the ambient temperature rise on the energy consumption for heating and cooling in residential buildings of Greece’, *Renewable Energy - Volume 35, Issue 7, July 2010, Pages 1376-1379.*  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148109004881>
- [19] Matthaïos Santamouris , 2019, ‘Minimizing Energy Consumption, Energy Poverty and Global and Local Climate Change in the Built Environment: Innovating to Zero’ , *Casualties and Impacts in a Zero Concept World , Chapter 3 - Urban Heat Island and Local Climate Change , Pages 65-102.*  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128114179000039>
- [20] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations  
URL: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- [21] T. R. Oke, G. Mills, A. Christen and J. A. Voogt , 2017, ‘Urban Climates’, *Chapters 5-7 –Radiation (5) - Energy Balance (6) - Urban Heat Island (7)* , Cambridge University Press , Pages 122-237.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- [22] Papakostas Konstantinos, Martinopoulos Georgios, Tsimpoukis Alexandros ,2014 , ‘Estimating Heating and Cooling Degree Days through an Urban Environment Using Publicly Available Sensors’ , *October 2014 , Applied Mechanics and Materials Volume 659 : pp. 411-416.*  
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.659.411>
- [23] Pavlos Kassomenos , Giannis Kissas , Ilias Petrou, Paraskevi Begou, Hassan Saeed Khan, Mattheos Santamouris, 2022, “ The influence of daily weather types on the development and intensity of the urban heat island in two Mediterranean coastal metropolises ” , *Science of The Total Environment - Volume 819, 1 May 2022, 153071.*  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722001619>
- [24] Fernando, H.J. (Ed.). (2013), “Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two: Systems, Pollution, Modeling, and Measurements ”, Chapter 11 : Urban Heat Islands , M. Roth, Pages 143-159 ,(1st ed.). CRC Press.  
DOI: <https://doi.org/10.1201/b13691>

- [25] K. P. Moustris ,P. T. Nastos , A. Bartzokas , I. K. Larissi , P. T. Zacharia, A. G. Paliatsos ,2014, “Energy consumption based on heating/cooling degree days within the urban environment of Athens, Greece”, *Theoretical and Applied Climatology* , volume 122, pages 517–529 (2015).  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1308-7>
- [26] Τζαβαλή Α. Π. ,(2015), “Αστική Θερμική Νησίδα: Ανάλυση του φαινομένου στην Αττική και διερεύνηση της επίδρασής του στην ενεργειακή συμπεριφορά σχολικών κτηρίων” , *Διδακτορική Διατριβή - Πανεπιστήμιο Πατρών* , Πολυτεχνική Σχολή: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων.  
URL: <https://nemertes.library.upatras.gr/server/api/core/bitstreams/d1a34dbe-1796-4fc1-ae51-2f90fd4fbcda/content>
- [27] Μπάλης Δ. , (2021), “ Δημιουργία ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων βαθμοημερών ψύξης και θέρμανσης για αντιπροσωπευτικές περιοχές της Αττικής” , *Διπλωματική Εργασία - Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής* , Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.  
URL: [https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/410/mech\\_51204842.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/410/mech_51204842.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [28] Παπαμάνου Μ. , (2022) , “ Δημιουργία ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων βαθμοημερών ψύξης και θέρμανσης για αντιπροσωπευτικές περιοχές της Κρήτης” , *Διπλωματική Εργασία - Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής* , Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.  
URL: [https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/2602/Papamanou\\_51204508.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/2602/Papamanou_51204508.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [29] Γκιόκας Κ. , (2019) , “Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στη Δυτική μητροπολιτική Αθήνα” , *Πολεοδομικά εργαλεία και φυσικές μέθοδοι για την αντιμετώπισή του. , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - ΔΠΜΣ Πολεοδομία - Χωροταξία Περιβαλλοντικές συνιστώσες του σχεδιασμού και της οικιστικής ανάπτυξης.*  
URL: [http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/14369\\_/gkiokas\\_konstantinos.pdf](http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/14369_/gkiokas_konstantinos.pdf)
- [30] Ashok K. Sharma, Ted Gardner, Don Begbie, (2019), “Approaches to Water Sensitive Urban Design” , *Chapter 19 : WSUD and Urban Heat Island Effect Mitigation- Elmira Jamei, Nigel Tapper - Woodhead Publishing, Pages 381-407.*  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00019-8>
- [31] Founda D. , Pierros F. , Petrakis M. , Zerefos C., (2015), “Interdecadal variations and trends of the Urban Heat Island in Athens (Greece) and its response to heat waves” , *Atmospheric Research , Volumes 161-162, Pages 1-13.*  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.03.016>
- [32] Taslim, S., Monsefi Parapari, D. and Shafaghat, A. , (2015) “Urban Design Guidelines to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects In Hot-Dry Cities” , *Jurnal Teknologi, Volume 74 No. 4 , Pages 119-124.*  
DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v74.4619>
- [33] Howard, L., (1833), ‘The climate of London’, Vols. I-III, London .  
URL: [https://urban-climate.org/documents/LukeHoward\\_Climate-of-London-V1.pdf](https://urban-climate.org/documents/LukeHoward_Climate-of-London-V1.pdf)
- [34] T. R. Oke ,(1982), “The energetic basis of the urban heat island” ,*Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 108 , No. 455, January 1982.*  
DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- [35] Ελληνική Δημοκρατία , Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Εθνικό σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα” , Αθήνα, Δεκέμβριος 2019.  
URL: [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/el\\_final\\_necp\\_main\\_el\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/el_final_necp_main_el_0.pdf)
- [36] T. R. Oke, (1995), “The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects” ,*Wind Climate in Cities, NATO ASI series, vol 277, Pages 81-108.*  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2_5)
- [37] Μπαϊρακτάρη Α. ,(2021), “Διερεύνηση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στα μεγάλα αστικά κέντρα” , *Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, Διαχείριση Αποβλήτων.*  
URL: <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/50717>
- [38] U.S. Environmental Protection Agency, (2012), *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies.*

- URL: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- [39] North Carolina Climate Office – Evapotranspiration.  
URL: <https://legacy.climate.ncsu.edu/edu/Evap>
- [40] U.S. Environmental Protection Agency, *Ground – level Ozone Pollution : Ozone Basics and Health Effects*.  
URL: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution>
- [41] U.S. Environmental Protection Agency, *Heat Islands : Cooling Strategies*.  
URL: <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-cooling-strategies>
- [42] Παπακόστας Κ., Τσιλιγκρίδης Κ., Κυριάκης Ν., (2005), 'Βαθμομημέρες Θέρμανσης 50 Ελληνικών Πόλεων', *Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, IV, τεύχ. 1-2*.  
URL: [https://www.researchgate.net/publication/244995664\\_Heating\\_Degree-days\\_for\\_50\\_Greek\\_cities](https://www.researchgate.net/publication/244995664_Heating_Degree-days_for_50_Greek_cities)
- [43] Τσιμπούκης Α. , (2014), 'Υπολογισμός βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης από μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.', *Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών*.  
URL: <http://ikee.lib.auth.gr/record/270150>
- [44] CIBSE, (2006), *The Chartered Institution of Building Services Engineers, UK., Degree-days: theory and application. TM41: 2006*.  
URL: <https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/technical-memorandum-41-degree-days-theory-and-application-2006-pdf>
- [45] Azevedo, Juliana Antunes de & Chapman, Lee & Muller, Catherine. (2015), 'Critique and suggested modifications of the degree days methodology to enable long-term electricity consumption assessments: A case study in Birmingham, UK.', *School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, UK, Meteorological Applications. 22: Pages: 789–796*.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/met.1525>
- [46] ASHRAE handbook : fundamentals ,(2001), SI Edition, Chapter 31.17 : Energy estimating and modeling methods : Degree-Day and Bin Methods, ASHRAE, Atlanta, GA., 2001.  
URL: <https://sovathrothsama.files.wordpress.com/2016/03/ashrae-hvac-2001-fundamentals-handbook.pdf>
- [47] Somin Park , Jisoo Shim , Doosam Song, (2021), "Issues in calculation of balance-point temperature for heating degree-days for the development of building-energy policy." *Renewable and Sustainable Energy Reviews , Volume 135, January 2021, 110211*.  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120305001>
- [48] Greg J. Schoenau, Robert A. Kehrig, (1990), 'A Method for Calculating Degree-days to any Base Temperature', *Mechanical Engineering Department, University of Saskatchewan, Sashatoon, Sask., S7N OWO (Canada), Energy and Buildings, 14 (1990), Pages 299 – 302*.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90092-W](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90092-W)
- [49] *Ελληνική Στατιστική Αρχή - Αποτελέσματα απογραφής πληθυσμού κατοικιών ,ΕΛΣΤΑΤ 2021, 17.03.2023*.  
URL: [https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022\\_GR.pdf](https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf)
- [50] *Meteosearch, Δεκέμβριος 2022, Δίκτυο αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών*.  
URL: [https://meteosearch.meteo.gr/Raw%20Materials/perigrafi\\_diktyou\\_2022.pdf](https://meteosearch.meteo.gr/Raw%20Materials/perigrafi_diktyou_2022.pdf)
- [51] U.S. Department of Energy (DOE), *Room Air Conditioners*.  
URL: <https://www.energy.gov/energysaver/room-air-conditioners>
- [52] Learn metrics HVAC systems , Based on specification, 'BTU To CFM, CFM To BTU: How Many CFM Per BTU In HVAC?'  
URL: <https://learnmetrics.com/how-many-cfm-per-btu-cfm-to-btu-btu-to-cfm>