



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Διερεύνηση της Αστικής Θερμικής Νησίδας των Ελληνικών Πόλεων



Νικόλαος Μπουντάς

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2014

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κύριο Δημήτρη Κουτσογιάννη για την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και για την ενθάρρυνση και την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Ακόμα περισσότερο τον ευχαριστώ για τον ιδιαίτερο τρόπο σκέψης που μου μετέδωσε, και με βοήθησε πάρα πολύ στην ανάπτυξη της κριτικής ικανότητάς μου.

Ευχαριστώ εξίσου θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Γιάννη Μαρκόνη για την καθοριστική βοήθειά του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας και για το χρόνο που αφιέρωσε.

Επίσης, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας παραχωρώντας μας δεδομένα:

- τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Νικόλαο Μαμάση ο οποίος, σε συνεργασία με την ΕΜΥ, μας παραχώρησε από τη συλλογή του όλα τα κλιματικά δελτία από το 1950 ως το 1999.
- τον κύριο Τσιουκανάρα Αθανάσιο, διαχειριστή του meteoth.es.gr
- τον κύριο Βουγιούκα Στρατή, επιστημονικό συνεργάτη ΕΕΑ
- τον κύριο Τσουράπα Αλέξανδρο, υπεύθυνο για το μετεωρολογικό σταθμό Νέου Κόσμου
- τον κύριο Αχλάδη Νίκο, υπεύθυνο επίβλεψης για το μετεωρολογικό σταθμό της Κάντζας.

Ξεχωριστές ευχαριστίες για τους φίλους μου και τους συναδέλφους μου που με τον τρόπο τους με ενθάρρυναν και μου συμπαράστηκαν.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την κατανόηση, την υπομονή και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Περιεχόμενα.....	4
Περίληψη	6
Abstract	8
1. Αντικείμενο της Εργασίας	10
1.1 Διάρθρωση της εργασίας	10
1.2 Ορισμοί Εννοιών.....	11
1.3 Παρουσίαση προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν	15
1.3.1 Γλώσσα προγραμματισμού R	15
1.3.2 Πλατφόρμα λογισμικού TIBCO Spotfire	16
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Υλικά κατασκευής	21
2.3 Επίδραση στην καταναλισκόμενη ενέργεια.....	23
2.4 Περιοχές μελέτης	24
2.4.1 Ασία	24
2.4.2 Αμερική.....	30
2.4.3 Ευρώπη	35
2.4.4 Ελλάδα	41
2.4.5 Νότιο Ημισφαίριο	49
2.5 Σύγκριση	50
2.6 Τρόποι Αντιμετώπισης.....	51
3 Εξέλιξη των παραγόντων που επιδρούν στη θερμική νησίδα	53
3.1 Αύξηση Πληθυσμού	53
3.2 Αύξηση Οικοδομικής Δραστηριότητας	58
3.3 Αύξηση Οχημάτων	64
3.4 Αύξηση Ενεργειακής Κατανάλωσης	65
4 Σταθμοί	66
4.1 Παρουσίαση των σταθμών	66
4.2 Αξιολόγηση των σταθμών	69

5.	Μελέτη της θερμικής αστικής νησίδας στην περιοχή της Αττικής	82
5.1	Σταθμοί.....	82
5.2	Σύγκριση προαστίων.....	87
5.2.1	Σε επίπεδο ημέρας (χρονικό βήμα 10 min).....	87
5.2.2	Σε επίπεδο μήνα (χρονικό βήμα ημέρας).....	98
5.2.3	Σε επίπεδο έτους (χρονικό βήμα μήνα)	99
5.2.4	Συγκεντρωτικά.....	101
5.3	Σύγκριση Βουνών.....	103
6	Μελέτη της θερμικής αστικής νησίδας στην υπόλοιπη Ελλάδα.....	107
6.1	Θεσσαλονίκη.....	107
6.2	Πάτρα.....	109
6.3	Ηράκλειο	111
6.4	Χανιά.....	114
6.5	Πύργος	117
6.6	Βόλος	120
6.7	Πρέβεζα- Λευκάδα.....	121
6.8	Αρτα.....	123
6.9	Μεγαλόπολη	124
6.10	Πτολεμαίδα	126
6.11	Καλαμάτα.....	128
6.12	Συνολικά	130
7	Μεταβλητότητα Θερμοκρασίας στην Ελλάδα: Χωρο- χρονικές Σχέσεις	132
7.1	Εισαγωγή	132
7.2	Σταθμοί.....	133
7.3	Χαρακτηριστικά θερμοκρασίας.....	142
7.4	Μεταβολή στο χρόνο.....	144
8	Επιπτώσεις της θερμικής νησίδας.....	148
8.1	Επιπτώσεις στην ενέργεια.....	148
8.2	Επιπτώσεις στην εξατμισοδιαπνοή	151
9	Συμπεράσματα	153
10	Αναφορές.....	156
	Ευρετήριο Πινάκων	164
	Πίνακας Εικόνων	166

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί κατακόρυφα η έρευνα πάνω στη μεταβολή του κλίματος του πλανήτη, εξαιτίας της αύξησης στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία που παρατηρήθηκε κυρίως τις δεκαετίες του '80 και του '90. Ωστόσο, ένας από τους παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν τη μέτρησή της είναι η μέτρηση της αστικής θερμικής νησίδας. Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, διερευνάται η ύπαρξη της αστικής θερμικής νησίδας στις ελληνικές πόλεις.

Οι αστικές περιοχές καλύπτουν μόλις το 1% της επιφάνειας της Γης, αλλά ταυτόχρονα, οι περισσότεροι από τους καλύτερα συντηρημένους σταθμούς και με πολλά χρόνια καταγραφών βρίσκονται μέσα ή στο άκρο αστικών κέντρων. Έτσι, είναι δύσκολο να μετρηθεί η θερμοκρασία, χωρίς να ληφθεί υπόψη η συνεισφορά της αστικοποίησης σε αυτήν (Connolly και Connolly, 2014).

Στην εργασία αυτή ερευνάται κατά πόσο οι παράγοντες αστικοποίησης (όπως η αύξηση πληθυσμού, οικοδομικής δραστηριότητας και οχημάτων) οδηγούν στη μεταβολή του μικροκλίματος στα αστικά κέντρα και στην εμφάνιση αυξημένων θερμοκρασιών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σε διαφορετικές κλίμακες (10 min- 1 μήνα) από διαφορετικούς φορείς. Η σύγκριση μεταβολής της θερμοκρασίας έγινε σε διαφορετικές περιοχές:

(α) Μεταξύ διαφορετικών προαστίων του λεκανοπεδίου Αττικής. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν σταθμοί στο κέντρο της Αθήνας, σε προάστια με υψηλή δόμηση, σε προάστια με χαμηλή δόμηση και πράσινο και σε προάστια που βρίσκονται εκτός της πυκνοκατοικημένης περιοχής του λεκανοπεδίου. Για μεγαλύτερη ασφάλεια, επιλέχθηκαν τουλάχιστον δύο σταθμούς σε κάθε κατηγορία (κεφ. 5).

(β) Με όμοιο τρόπο έγινε η ανάλυση και σε άλλες πόλεις με σταθμούς τόσο στο κέντρο τους όσο και έξω από αυτό (κεφ. 6).

(γ) μεταξύ διαφορετικών πόλεων για τα τελευταία 65 έτη σε όλη την Ελλάδα (κεφ. 7).

Επιβεβαιώσαμε την ύπαρξη αστικής θερμικής νησίδας σε όσες ελληνικές πόλεις μελετήθηκαν, με ένταση από 0.3 ως 1.5°C. Όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι μία περιοχή και όσο περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες προσελκύει, τόσο υψηλότερες τιμές παρουσιάζει, με μικρότερη τυπική απόκλιση. Το φαινόμενο είναι πιο αισθητό τους χειμερινούς μήνες και τις βραδινές ώρες.

Στην μελέτη των μηνιαίων θερμοκρασιών τα τελευταία 65 έτη σε όλη την Ελλάδα, παρατηρήθηκε ότι μόνο οι σταθμοί που βρίσκονται στα κέντρα των πόλεων και στα αεροδρόμια παρουσίασαν αύξηση των κλίσεων της θερμοκρασίας. Συνολικά, αυτά τα 65 έτη παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας της Ελλάδας κατά 0,018°C ανά δεκαετία. Γενικότερα, η κλίση των θερμοκρασιακών μεταβολών ανά δεκαετία είναι συνεχώς αυξανόμενη, αρχίζοντας από αρνητικές τιμές την περίοδο 1950-1980, συνεχίζει με θετικές ως το 2000 και μειώνεται ως το 2013 (παραμένοντας θετικές

τιμές). Ακολουθεί, δηλαδή, την αύξηση στον πληθυσμό και στην οικοδομική δραστηριότητα.

Τέλος, υπολογίστηκε ότι η αστική θερμική νησίδα προκαλεί μείωση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης και αμελητέα αύξηση της εξατμισοδιαπνοής τους καλοκαιρινούς μήνες.

Abstract

In recent years, research on climate change has increased, due to the increase in average global temperature observed mainly in the '80s and '90s. However, one of the main factors that may affect its measurement is to measure the urban heat island effect. In this graduate thesis, the possible existence of the urban heat island in Greek cities is investigated.

Urban areas account for only 1% of the Earth's surface, but at the same time, most of the best preserved stations with many years of record data are placed in the center or on the edge of urban centers. Thus, it is difficult to measure the temperature, without taking the contribution of urbanization into account (Connolly and Connolly, 2014).

In this thesis, we investigated whether urbanization factors (such as the growth of population, construction activity and vehicles) lead to changes in the microclimate in urban centers and the emergence of increased temperatures. For this purpose, data on different scales (10 min-1 per month) were used by different agencies. The comparison took place in different regions:

(a) In different suburbs of the Attica region. For this purpose, we used stations in the center of Athens, in suburbs with high population and building density, in suburbs with low population and building density and more greenery and suburbs outside the congested area of the basin. For greater safety, at least two stations were selected from each category (chapter 5).

(b) In the same way, in other cities the analysis was carried out with stations located both in the center and outside (chapter 6).

(c) In different cities all over Greece for a duration of the last 65 years (chapter 7).

We confirmed the existence of the urban heat island effect in all Greek cities investigated, with an intensity ranging from 0.3 to 1.5°C. The more densely populated a city is, the higher temperatures it presents, with smaller standard deviation. The phenomenon is most noticeable in winter months and during the evening hours.

In the study of monthly temperatures over the last 65 years throughout Greece, it was found that only stations located in city centers and airports recorded an increase in slopes. Altogether, for the above mentioned period, there has been an increase in the mean temperatures of 0.018 °C per decade. More specifically, the slope of the temperature changes per decade is constantly growing, starting from negative values in the period 1950-1980, continuing with positive ones until 2000 and then decreasing until 2013 (remaining in positive values though). So, it follows the increase in population and construction activity.

Finally, it was estimated that the urban heat island causes a reduction in the annual energy consumption and a negligible increase in evapotranspiration during the summer months.

1. Αντικείμενο της Εργασίας

1.1 Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από 9 κεφάλαια.

Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή στην εργασία. Ορίζεται η αστική θερμική νησίδα και άλλες έννοιες που χρησιμοποιούνται στην υπόλοιπη εργασία.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μία εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ερευνών από διάφορες πόλεις σε όλο τον κόσμο και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι μελετητές.

Στο Κεφάλαιο 3 μελετάται η εξέλιξη παραγόντων που πιθανώς να επηρεάζουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Σε αυτό το πλαίσιο, εξετάζονται οι τρεις πιο χαρακτηριστικοί παράγοντες αστικοποίησης (πληθυσμός, οικοδομική δραστηριότητα, οχήματα), καθώς και η ενεργειακή κατανάλωση.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών και η κλίμακα στην οποία χρησιμοποιήθηκαν. Ακόμα, αξιολογούνται διάφοροι σταθμοί ως προς την αξιοπιστία τους, βάσει των χαρακτηριστικών της περιοχής που τους περιβάλλει.

Στο Κεφάλαιο 5 διερευνάται η ύπαρξη θερμικής νησίδας στην περιοχή της Αττικής. Για το σκοπό αυτό γίνεται σύγκριση των θερμοκρασιών τόσο από σταθμούς που βρίσκονται σε προάστια με διαφορετικά χαρακτηριστικά όσο και από τα δύο βουνά (Υμηττό και Πάρνηθα). Η σύγκριση γίνεται με χρονικό βήμα 10 λεπτών, ημέρας και μήνα.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται η ίδια σύγκριση μεταξύ σταθμών που βρίσκονται στο κέντρο και στα όρια από άλλες 11 πόλεις της Ελλάδας.

Στο Κεφάλαιο 7 διερευνάται η πιθανή επίδραση της αστικής θερμικής νησίδας στη μέτρηση της θερμοκρασίας σε όλη την Ελλάδα τα τελευταία 65 χρόνια.

Στο Κεφάλαιο 8 υπολογίζονται οι επιπτώσεις που προκύπτουν από την ύπαρξη της αστικής θερμικής νησίδας στη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης και της εξατμισοδιαπνοής.

Στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της εργασίας.

1.2 Ορισμοί Εννοιών

Προέλευση του όρου ‘κλίμα’

Ο όρος είναι της ελληνιστικής εποχής (2^{ος} αιώνας π.Χ.). Ετυμολογείται από το «κλίνω» και σχετίζεται με την κλίση των ακτίνων του ήλιου. Αποδίδεται στον αστρονόμο Ίππαρχο, ο οποίος όρισε 5 κλίματα και διαίρεσε τη Γη σε αντίστοιχες ζώνες γεωγραφικού πλάτους. Χρησιμοποίησε ως βάση τη μέγιστη διάρκεια της ημέρας στον κάθε τόπο για να κάνει αυτή την κατάταξη, η οποία κυμαινόταν από 13 μέχρι 19 ώρες (Κουτσογιάννης, 2011).

Ορισμοί του όρου ‘κλίμα’

«Κλίμα: Ο μέσος καιρός για μια περίοδο τουλάχιστον 30 ετών. Το κλίμα που λαμβάνεται για διαφορετικές χρονικές περιόδους (30 χρόνια, 1000 χρόνια) μπορεί να είναι διαφορετικό» [Ορισμός που δίνεται στο γλωσσάρι της Αμερικανικής NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), www.cpc.noaa.gov/products/outreach/glossary.shtml].

«Κλίμα: Τα αργά μεταβαλλόμενα στοιχεία του συστήματος ατμόσφαιρα-υδρόσφαιρα-επιφάνεια της γης. Συνήθως χαρακτηρίζεται με βάση κατάλληλους μέσους όρους του κλιματικού συστήματος για περιόδους ενός μήνα ή περισσότερο, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβλητότητα στο χρόνο των μέσων όρων αυτών των ποσοτήτων» (Ορισμός που δίνεται στο γλωσσάρι της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Εταιρείας, amsglossary.allenpress.com/glossary/search?id=climate1).

Κλίμα/Καιρός

«Η λέξη *κλίμα* περιγράφει τις μέσες καιρικές συνθήκες που έχουν συμβεί σε ένα συγκεκριμένο χώρο για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον *καιρό*, ο οποίος βιώνεται από μέρα σε μέρα. Το κλίμα ενός τόπου καθορίζεται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος του, την απόστασή του από ωκεανούς, και το υψόμετρό του πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.» (Allaby M, 2007).

«*Καιρός* είναι η κατάσταση της ατμόσφαιρας, σε μια συγκεκριμένη θέση σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή για ένα αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα, με ιδιαίτερη έμφαση στις βραχυπρόθεσμες αλλαγές. Μια περιγραφή του καιρού περιλαμβάνει αναφορές για την τρέχουσα ή την αναμενόμενη θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία, ορατότητα, ποσοστό νεφοκάλυψης και τύπο σύννεφων, και κατακρήμνιση. Ο καιρός διαφέρει από το κλίμα, το οποίο είναι πολύ ευρύτερη έννοια.» (Allaby M, 2007).

Θερμική νησίδα (Allaby M, 2007)

Θερμική νησίδα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένας χώρος που είναι αισθητά πιο θερμός από το περιβάλλον του και μπορεί να παρομοιαστεί με ένα νησί θερμότητας σε μια θάλασσα από δροσερό αέρα. Αυτή η επίδραση περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Luke Howard στο κλίμα του Λονδίνου, δημοσιεύθηκε το 1819, και έκτοτε

έχει παρατηρηθεί σε πολλές μεγάλες πόλεις. Επηρεάζει όλες τις αστικές περιοχές, αλλά κυρίως τις μεγάλες πόλεις. Το αποτέλεσμα είναι να παρατηρούνται πιο ακραίες θερμοκρασίες σε ορισμένα μέρη μιας πόλης από ότι σε άλλα, ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας που υπάρχει- βιομηχανικές ή οικιστικές, για παράδειγμα- και τη διαμόρφωση από κτίρια και δρόμους. Η συσσώρευση της θερμότητας τροποποιεί την ατμόσφαιρα της πόλης και παράγει ένα χαρακτηριστικό αστικό κλίμα.

Η θερμοκρασία του αέρα σε μια πόλη αυξάνει ταχέως κατά τη διάρκεια της ημέρας και πέφτει πάλι τη νύχτα. Μερικές φορές το κέντρο της πόλης είναι ψυχρότερο από το ύπαιθρο το βράδυ, αλλά αυτό είναι σπάνιο. Συνήθως, η επίδραση θερμικής νησίδας φτάνει το ανώτατο όριο κατά το πρώτο μέρος της νύχτας, όταν η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στο επίπεδο του εδάφους στο κέντρο της πόλης και της γύρω περιοχής είναι συχνά 9°F- 11°F (5°C- 6°C) και μπορεί να φθάσει μέχρι 14°F (8°C). Η θερμοκρασία μειώνεται αρκετά σταθερά από το κέντρο της πόλης προς τα απομακρυσμένα προάστια.

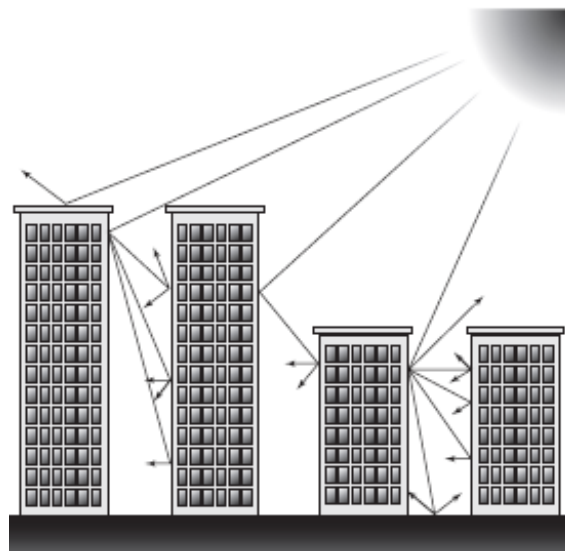
Η θερμική νησίδα οφείλεται σε διάφορες αιτίες. Τα κτίρια δημιουργούν μία επιφάνεια πιο ανώμαλη από τη γύρω περιοχή (προκαλώντας μεγαλύτερη τριβή στον αέρα που κινείται πάνω από αυτήν), με αποτέλεσμα να μειώνουν την ταχύτητα του ανέμου. Ο άνεμος φυσάει πιο αργά μέσα στην πόλη, και αυτό με τη σειρά του μειώνει την ανανέωση του αέρα και την αποθέρμανσή της. Κατά συνέπεια, ο αέρας της πόλης, που είναι θερμός ένεκα των θερμαινόμενων κτιρίων και των βιομηχανιών, αντικαθίσταται δυσκόλως με δροσερό αέρα. Αντιθέτως, ο αέρας ανανεώνεται πολύ πιο συχνά στο ύπαιθρο.

Η κατάργηση των περισσότερων φυτών από τις αστικές περιοχές μειώνει την ποσότητα της διαπνοής. Όπου υπάρχει εκτεταμένη κάλυψη από βλάστηση, η διαπνοή απορροφά ένα σημαντικό ποσό λανθάνουσας θερμότητας, το οποίο ψύχει τον αέρα. Τα δέντρα που βρίσκονται στους δρόμους της πόλης αποπνέουν πολύ μικρό ποσοστό υγρασίας για να κάνει διαφορά, αλλά η διαπνοή από τα φυτά σε μεγάλα πάρκα της πόλης παράγει μικρότερες νησίδας χαμηλότερων θερμοκρασιών στο εσωτερικό της μεγαλύτερης νησίδας θερμότητας.

Η εξάτμιση έχει επίσης μειωθεί, γιατί η βροχή και το λιωμένο χιόνι παρασύρονται γρήγορα μέσα από συλλογή ομβρίων και υπονόμους, αντί να αφήνονται να στεγνώσουν από την εξάτμιση των εκτεθειμένων επιφανειών νερού. Στην ύπαιθρο, ένα μέρος του νερού εξατμίζεται και ένα άλλο απορροφάται από το έδαφος, από το οποίο ένα μεγάλο μέρος του νερού συντάσσεται προς τα πάνω και πάλι από τριχοειδή φαινόμενα ή μπαίνει στα φυτά και επιστρέφεται στον αέρα με τη διαπνοή. Η εξάτμιση επίσης απορροφά λανθάνουσα θερμότητα από το στρώμα του αέρα κοντά στο έδαφος.

Τούβλα, τσιμέντο, πέτρα και άσφαλτος, εκτός του ότι οδηγούν σε χαμηλότερο βαθμό εξάτμισης, απορροφούν τη θερμότητα καλύτερα από το έδαφος, το νερό, και τα φυτά στην ύπαιθρο (λόγω θερμοχωρητικότητας). Έχουν επίσης πολύ χαμηλότερο συντελεστή λευκαύγειας (albedo) από τα χωράφια. Ένας ουρανοξύστης απορροφά

έως και έξι φορές περισσότερη θερμότητα από ότι ένα χωράφι ανά μονάδα επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι τα κτίρια και οι δρόμοι της πόλης θερμαίνονται γρήγορα κατά τη διάρκεια της ημέρας και χάνουν εξίσου γρήγορα τη θερμότητα τους τη νύχτα. Οι ζεστές επιφάνειες θερμαίνουν τον αέρα που βρίσκεται σε επαφή. Σε μια ζεστή μέρα του καλοκαιριού η θερμοκρασία στην πόλη μπορεί να αυξηθεί έως και κατά 17°C από την αυγή μέχρι και τα μέσα του απογεύματος.

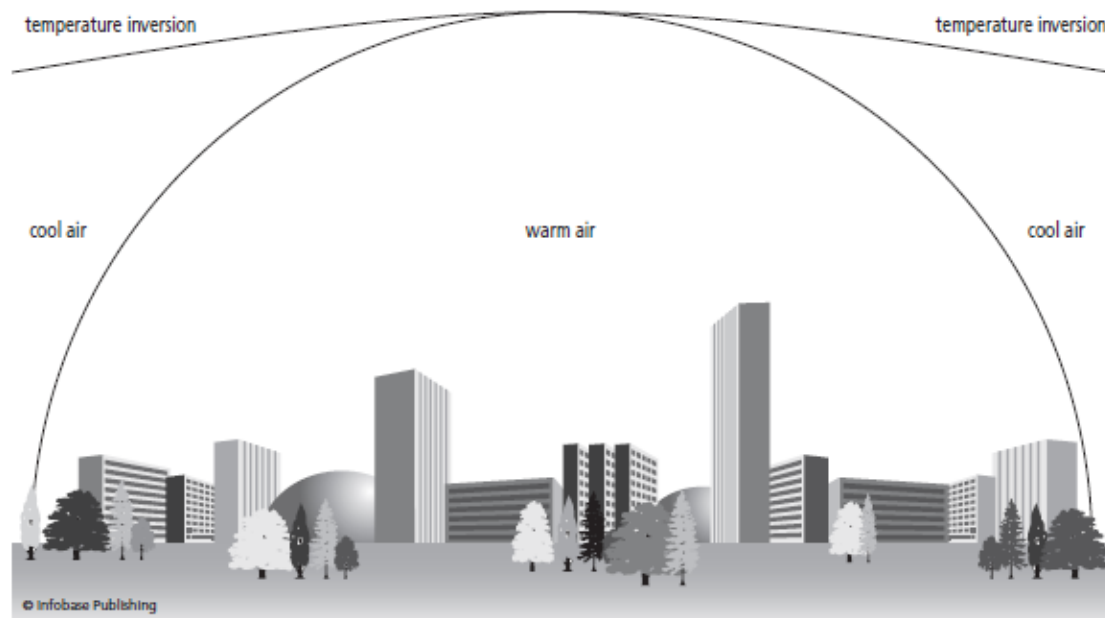


Εικόνα 1.1: Ο τρόπος με τον οποίο ψηλά και χαμηλά κτίρια αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Λίγη μόνο από την ακτινοβολία φτάνει στο έδαφος. Σχεδόν όλη απορροφάται από τα κτίρια (Allaby M, 2007).

Οι ίδιες οι πόλεις, επίσης, παράγουν θερμότητα. Τα κτίρια θερμαίνονται το χειμώνα, και σε θερμά κλίματα ψύχονται από τα κλιματιστικά το καλοκαίρι. Τα θερμαινόμενα κτίρια χάνουν θερμότητα από τα παράθυρα και τις πόρτες προς τον εξωτερικό αέρα, και τα ψυκτικά λειτουργούν με αποβολή θερμότερου αέρα από αυτόν του περιβάλλοντος κατά το ψυκτικό τους κύκλο. Μηχανήματα όλων των ειδών θερμαίνουν τον αέρα γύρω τους και οι δρόμοι της πόλης γεμίζουν συνήθως με οχήματα, τα οποία όλα εκπέμπουν θερμά καυσαέρια. Μια πολύ μεγάλη αστική περιοχή, όπως το Λος Άντζελες ή Βοστώνη ή Ουάσιγκτον, παράγει μία ποσότητα θερμότητας που είναι ίση προς το ήμισυ της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει σε μία οριζόντια επιφάνεια κατά το χειμώνα και περίπου 15% της ποσότητας που πέφτει το καλοκαίρι.

Υπάρχουν πλέον πολλές πολύ μεγάλες πόλεις που οι θερμικές νησίδες είναι σαφώς ορατές στο υπέρυθρο φάσμα από δορυφορικές φωτογραφίες. Πολλοί μετεωρολογικοί σταθμοί βρίσκονται στα αεροδρόμια των πόλεων που πλέον περιβάλλονται από αστική ανάπτυξη καθώς οι πόλεις έχουν επεκταθεί και ως εκ τούτου είναι πλέον εντός των ορίων των νησίδων θερμότητας. Μάλιστα, μερικοί κλιματολόγοι ισχυρίζονται ότι τουλάχιστον ένα τμήμα από την παρατηρούμενη υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να οφείλεται στο φαινόμενο της θερμικής νησίδας, μελετώντας τις πηγές δεδομένων από τις οποίες υπολογίζονται οι αλλαγές της επιφανειακής θερμοκρασίας.

Ένα άλλο φαινόμενο που συνδέεται με την αστική θερμική νησίδα είναι η αναστροφή θερμοκρασίας, όπως ονομάζεται η κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά την οποία η θερμοκρασία του αέρα μέσα σε ένα στρώμα της τροπόσφαιρας αυξάνει με το ύψος, αντί να ελαττώνεται, όπως συμβαίνει συνήθως υπό κανονικές συνθήκες. Ζεστός αέρας ανεβαίνει πάνω από την πόλη, συναντά την αντιστροφή, και εξαπλώνεται προς τα πλάγια. Καθώς κινείται, ακτινοβολεί μερική από τη δική του θερμότητα. Αυτή η ακτινοβολία ψύχει τον αέρα, αυξάνοντας την πυκνότητά του, με αποτέλεσμα ο αέρας να υποχωρεί πάνω από την ύπαιθρο ακριβώς πέρα από τα όρια της πόλης. Από εκεί ρέει πίσω στην πόλη, προς την περιοχή χαμηλής πίεσης στο κέντρο. Υπάρχει έτσι η σύγκλιση στο εσωτερικό μέρος της πόλης και απόκλιση πάνω από την πόλη, και ο θερμός αέρας κάτω από την αναστροφή έχει κατά προσέγγιση θολωτό σχήμα (εικόνα 1.2). Η θερμική νησίδα είναι πιο έντονη τις ήρεμες βραδιές, όταν ο ουρανός είναι καθαρός.



Εικόνα 1.2: Επίδραση της θερμοκρασιακής αναστροφής (Allaby M, 2007).

Κάτω από τον αστικό θόλο, στο επίπεδο από τις στέγες, το κλίμα είναι έντονα τροποποιημένο από τα πολλά μικροκλίματα που παράγονται από τους δρόμους και τα κτίρια. Οι άνεμοι που πνέουν από τη γύρω περιοχή επιβραδύνονται και εκτρέπονται από τα κτίρια και άλλα εμπόδια που συναντούν. Η καύση των ορυκτών καυσίμων απελευθερώνει υδρατμούς στον αέρα, και τμήμα του νερού που διοχετεύεται μέσα στην πόλη από το εξωτερικό στρώμα εξατμίζεται. Ο «θόλος» των ρυπαντών πάνω από μία πόλη, συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, απορροφά ένα ποσοστό της εξερχόμενης θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Μέρος αυτής της ακτινοβολίας επανεκπέμπεται από τους ρυπαντές. Όλα αυτά τροποποιούν την υγρασία του αέρα στο θολωτό στρώμα. Το μέγεθος αυτών των επιδράσεων αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά το κάνει ως μια αντανάκλαση της ανθρώπινης

δραστηριότητας, αντί να οφείλεται εξ ολοκλήρου στον ημερήσιο κύκλο του ήλιου και του σκότους.

Ένας δρόμος της πόλης που έχει και στις δύο πλευρές ψηλά κτίρια μοιάζει με ένα φαράγγι. Αυτό ονομάζεται «αστικό φαράγγι». Ο άνεμος τείνει να διοχετεύεται κατά μήκος του δρόμου. Το αστικό φαράγγι επηρεάζει επίσης τον τρόπο που απορροφάται η ηλιακή ακτινοβολία. Ανάλογα με τον προσανατολισμό του φαραγγιού, οι όψεις των κτιρίων στη μία πλευρά μπορεί να λάβουν διαφορετικές ποσότητες ακτινοβολίας από εκείνες στην αντίθετη πλευρά, ή παρόμοιες ποσότητες αλλά σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Αν ο δρόμος έχει κατεύθυνση από βορρά προς νότο, για παράδειγμα, τα κτίρια στη δυτική πλευρά του δρόμου θα έχουν ήλιο το πρωί και ο ήλιος θα φτάσει στην ανατολική πλευρά το απόγευμα. Αν ο δρόμος οδηγεί από τα ανατολικά και δυτικά, οι δύο πλευρές θα λάβουν το ίδιο ποσό ηλιοφάνειας συνολικά στη διάρκεια της ημέρας, αλλά ετεροχρονικά αν και οι προεξοχές από τα κτίρια θα δημιουργήσουν σκιές.

1.3 Παρουσίαση προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν

1.3.1 Γλώσσα προγραμματισμού R

Η R είναι μια γλώσσα προγραμματισμού, ελεύθερα διαθέσιμη, για στατιστικούς υπολογισμούς και γραφήματα. Συνοδεύεται από ένα περιβάλλον για επεξεργασία δεδομένων, υπολογισμών και γραφημάτων. Η R χρησιμοποιείται ευρέως μεταξύ των στατιστικολόγων για την ανάλυση των δεδομένων. Δημοσκοπήσεις και έρευνες σε άτομα που ασχολούνται με ανάλυση δεδομένων έχουν δείξει ότι η δημοτικότητα της R έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Η R είναι μια υλοποίηση της γλώσσας προγραμματισμού. Η S δημιουργήθηκε από τον John Chambers, στα εργαστήρια της Bell. Η R δημιουργήθηκε από τον Ross Ihaka και Robert Gentleman στο Πανεπιστήμιο του Ωκλαντ της Νέας Ζηλανδίας. Πήρε το όνομά της από τα μικρά ονόματα των δύο πρώτων συγγραφέων της και με σκοπό να μοιάζει στο όνομα με την S. Υπάρχουν μερικές σημαντικές διαφορές, αλλά ο περισσότερος κώδικας που γράφεται για το S, τρέχει αμετάβλητος και στην R.

Ο κώδικας για το περιβάλλον λογισμικό R είναι γραμμένος κυρίως σε C, Fortran, και R. Η R είναι διαθέσιμη ελεύθερα υπό την GNU General Public License. Χρησιμοποιεί ένα περιβάλλον γραμμής εντολών προσφέροντας, ωστόσο, στο χρήστη τη δυνατότητα για εύκολα γραφήματα.

Η R παρέχει μια μεγάλη ποικιλία στατιστικών και γραφικών τεχνικών, συμπεριλαμβανομένων των γραμμικών και μη γραμμικών μοντέλων, κλασικούς στατιστικούς ελέγχους, ανάλυση χρονοσειρών, ταξινόμηση, ομαδοποίηση, και άλλα. Υπάρχουν μερικές σημαντικές διαφορές, αλλά μεγάλο τμήμα του κώδικα της S έχει προστεθεί αυτούσιο. Πολλές από τις τυπικές λειτουργίες της R είναι γραμμένες στην ίδια την R, έτσι ώστε εύκολα οι χρήστες να ακολουθούν τις αλγοριθμικές επιλογές.

Για υπολογιστικά εντατικές εργασίες, η R μπορεί να συνδεθεί κατά το χρόνο εκτέλεσης με C, C ++, και Fortran.

Στην εργασία αυτή έγινε χρήση της γλώσσας R στο κεφάλαιο 6, στο οποίο έγινε στατιστική ανάλυση στη θερμοκρασία της Ελλάδας από το 1950 σε πολλαπλούς σταθμούς.

1.3.2 Πλατφόρμα λογισμικού TIBCO Spotfire

Το TIBCO Spotfire είναι μια πλατφόρμα λογισμικού που επιτρέπει στους πελάτες να αναλύσουν δεδομένα με χρήση στατιστικής. Η νέα εφαρμογή TIBCO ® Enterprise χρόνου για την R εντός του TIBCO Spotfire 5.0 επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόσουν και να εφαρμόσουν μοντέλα πρόβλεψης μέσω της R. Είναι πολύ φιλικό στο χρήστη και προσφέρει τη δυνατότητα για γραφήματα και εξαγωγή των κύριων στατιστικών δεδομένων πολύ άμεσα, με πιθανή χρήση φίλτρων.

Το Spotfire είναι εξαιρετικό εργαλείο λογισμικού για οπτικοποίηση δεδομένων (data visualization tool) και ανταγωνίζεται με το λογισμικό Tableau και την QlikTech. Η ζήτηση και για τα τρία αυτά εργαλεία αυξάνεται γρήγορα λόγω της ανάγκης για γρήγορη ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων. Οι χρήστες επωφελούνται επειδή δεν χάνουν χρόνο για την εξόρυξη και μετακίνηση των δεδομένων, για χειρισμό αναλύσεων από servers που υπολειτουργούν, ενώ τελικά επιστρέφει το αποτέλεσμα πίσω στην πλατφόρμα της βάσης δεδομένων. Όλα αυτά συμβαίνουν στο εσωτερικό της βάσης δεδομένων. Οι χρήστες του Spotfire έχουν τη δυνατότητα για ανάλυση στη βάση δεδομένων, σε συνδυασμό με πλατφόρμες αποθήκευσης δεδομένων όπως Oracle, Microsoft SQL Server, και Teradata.

Το Spotfire 5.0 είναι σε θέση να αναλύει αποτελεσματικά και να απεικονίζει ακραίες ποσότητες δεδομένων εκτελώντας αναλύσεις απευθείας μέσα στη βάση δεδομένων. Στην εργασία αυτή έγινε χρήση του Spotfire στα κεφάλαια 4 και 5, τόσο για την εξαγωγή άμεσων συμπερασμάτων για τα στατιστικά μεγέθη των θερμοκρασιακών διαφορών όσο και για τα γραφήματα.

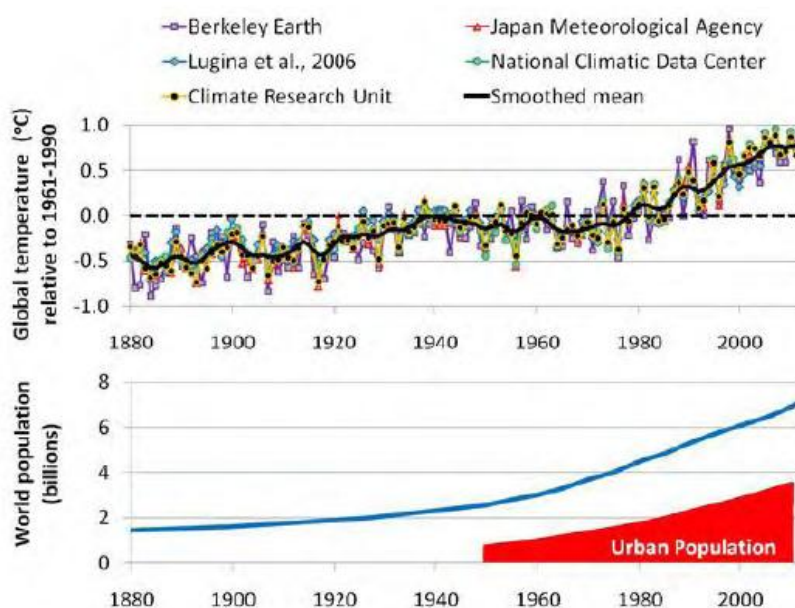
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (ΑΘΝ), η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλότερες θερμοκρασίες σε πυκνοδομημένες περιοχές από εκείνες της γύρω αγροτικής περιοχής, μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο αντιπροσωπευτική και τεκμηριωμένη εκδήλωση της τροποποίησης του κλίματος (Landsberg, 1981).

Η ραγδαία εσωτερική μετανάστευση στα αστικά κέντρα οδήγησε σε έντονη ανοικοδόμηση, με συνέπεια την μετατροπή του φυσικού περιβάλλοντος σε δομημένο, που σημαίνει αλλαγή των χρήσεων γης/ κάλυψης γης (Land-Use/Land-Cover, δηλαδή LU/LC), με αποτέλεσμα την αλλαγή της τιμής της ανακλαστικότητας των αδιαπέρατων επιφανειών, έναντι των φυσικών εδαφικών σχηματισμών (Gallo and Tarpley, 1996· Zhou et al, 2004· Li et al, 2012). Με άλλα λόγια, οι χερσαίες φυτοκαλυμμένες εκτάσεις αντικαταστάθηκαν από σκυρόδεμα και συναφή υλικά, κάτι που οδήγησε σε αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας (Land Surface Temperature, δηλαδή LST), ως αποτέλεσμα της μεταβολής του συντελεστή ανακλαστικότητας, δηλαδή του ποσοστού της προσπίπτουσας θερμικής ακτινοβολίας που ανακλάται.

Η εικόνα 2.1 δείχνει την εξέλιξη του παγκόσμιου πληθυσμού από το 1880 και του πληθυσμού στα αστικά κέντρα από το 1950. Προκύπτει ότι ακολουθούν την ίδια αύξηση με την παγκόσμια θερμοκρασία. Μάλιστα οι Gaffin et al. (2008) μελετώντας την περίπτωση της Νέας Υόρκης, κατέληξαν ότι η αστικοποίηση είναι υπεύθυνη για το 1/3 της ολικής θέρμανσης που έχει υποστεί η πόλη από το 1900.



Εικόνα 2.1: Σύγκριση ανάμεσα σε δεδομένα από πολλαπλούς μετεωρολογικούς σταθμούς (επάνω), σε σχέση με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού από το 1880

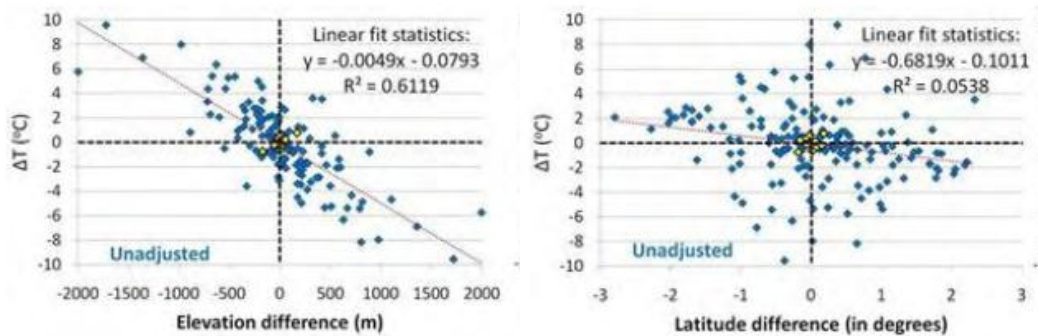
(κάτω) και την αύξηση του αστικού πληθυσμού από το 1950 (Connolly και Connolly, 2014)

Γενικά, όμως, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, οι πιο σημαντικοί εκ των οποίων είναι (Oke et al, 1987, 1991· Papanastasiou και Kittas, 2011· Rosenzweig et al, 2005):

1. Αύξηση πληθυσμού: Ο Oke (1892) ανέπτυξε ένα μοντέλο παλινδρόμησης το οποίο με επιτυχία εξηγεί πως το 97% της έντασης της αστικής θερμικής νησίδας (ΑΘΝ), οφείλεται σε ένα μόνο μεταβαλλόμενο μέγεθος- το μέγεθος του πληθυσμού (Oke, 1973).
2. Οι θερμικές ιδιότητες των υλικών, που αυξάνουν την αποθήκευση θερμότητας στον αστικό ιστό. Η διαφορετική θερμική συμπεριφορά των αστικών-αγροτικών περιοχών συνεπάγεται διαφορετική ταχύτητα ψύξης, με αποτέλεσμα η διαφορά θερμοκρασίας να φτάσει στο μέγιστο λίγες ώρες μετά το ηλιοβασίλεμα.
3. Το αστικό ανάγλυφο που είναι σα φαράγγια, με δρόμους ανάμεσα από ψηλά κτήρια (ονομάζεται αστικό φαράγγι), μειώνει τόσο το συντελεστή λευκαύγειας, λόγω των πολλαπλών αντανακλάσεων της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών όσο και τη τυρβώδη μεταφορά θερμότητας
4. Η ανθρωπογενής θερμότητα που εκλύεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, από τα οχήματα και τα κτίρια (κυρίως λόγω της λειτουργίας κεντρικής θέρμανση το χειμώνα και κλιματιστικών το καλοκαίρι). Είναι από τις κύριες αιτίες το βράδυ σε πυκνοδομημένες πόλεις, όταν ο ουρανός είναι συννεφιασμένος.
5. Το αστικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο συμβάλλει στην αύξηση της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από τη μολυσμένη και θερμότερη αστική ατμόσφαιρα.
6. Μειωμένες επιφάνειες εξάτμισης στην πόλη, με αποτέλεσμα μειωμένη λανθάνουσα απώλεια θερμότητας
7. Απόσταση από τη θάλασσα (Katsoulis και Theoharatos, 1985)
8. Το μέγεθος, τη βιομηχανική ανάπτυξη της πόλης, μαζί με την τοπογραφία, τη φυσική διάταξη, το περιφερειακό κλίμα και τις μετεωρολογικές συνθήκες
9. Περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως ταχύτητα του ανέμου, νεφοκάλυψη, ατμοσφαιρικό αεροζόλ και υδρατμοί, καθώς επίσης και χωρικές μεταβλητές, όπως υγρασία και νεφοκάλυψη εξηγούν σε μεγάλο μέρος τη μηνιαία μεταβολή αστικής- μη αστικής θερμοκρασίας. Αυτό είναι μια ένδειξη ότι η ΑΘΝ θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένα δυναμικό μετεωρολογικό φαινόμενο και όχι ως ένα σταθερό, ομοιόμορφο χαρακτηριστικό. (Streutker, 2003· Rosenzweig et al, 2005)
10. Κυκλωνικές ή αντικυκλωνικές συνθήκες. Οι Kassomenos και Katsoulis (2006) διαπίστωσαν ότι υψηλές εντάσεις ΑΘΝ στην Αθήνα σχετίζονται με αντικυκλωνικές συνθήκες, ενώ χαμηλές εντάσεις ΑΘΝ συνδέονται με ισχυρούς βορειοανατολικούς ανέμους. Οι αντικυκλωνικές συνθήκες

υπερισχύουν στην Αθήνας με μέγιστη εμφάνιση τον Ιανουάριο και τον Ιούνιο. Συνθήκες κυκλωνικού τύπου φαίνεται να κυριαρχούν το Φεβρουάριο και το Μάρτιο, ενώ μία νοτιοδυτική ροή επικρατεί το Νοέμβριο και τον Απρίλιο. (Mihalakakou et al, 2004)

11. Μέγιστη ωριαία ένταση ΑΘΝ της προηγούμενης ημέρας.
12. Υψόμετρο και γεωγραφικό πλάτος. Μάλιστα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2, η συσχέτιση των διαφορών με το υψόμετρο είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για το γεωγραφικό πλάτος (Peterson, 2003)



Εικόνα 2.2: Συσχέτιση των διαφορών θερμοκρασίας με το υψόμετρο, στα αριστερά, και με το γεωγραφικό πλάτος, στα δεξιά (Πηγή: Peterson, 2003)

Πιο συγκεκριμένα, η ένταση της θερμικής νησίδας συσχετίζεται θετικά με την ηλιακή ακτινοβολία και με τη μέγιστη ωριαία ένταση της προηγούμενης ημέρας και αρνητικά με την ταχύτητα του ανέμου (Papanastasiou και Kittas, 2011). Παρόμοια συμπεράσματα αναφέρονται επίσης από άλλες μελέτες (Gedzelman et al 2003· Kim και Baik 2002, 2005· Montávez et al 2000. Όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, αυξάνεται η μεταφορά ψυχρού αέρα από τα προάστια προς το κέντρο της πόλης και μεταφορά θερμότερου αέρα από το κέντρο της πόλης προς τα προάστια, με αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης ΑΘΝ. Επιπρόσθετα, ισχυροί άνεμοι αυξάνουν την ατμοσφαιρική ανάμειξη, χαμηλώνοντας τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο κέντρο της πόλης και τα προάστια (Papanastasiou και Kittas, 2011). Επιπλέον, αυξημένη ταχύτητα ανέμου συχνά συνδέεται με αυξημένη νεφοκάλυψη που επίσης σχετίζεται με μικρότερες τιμές ΑΘΝ (Gedzelman et al 2003· Kim και Baik 2002). Τα σύννεφα εμποδίζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας μειώνοντας τη θέρμανση της πόλης, καθώς και την ακτινοβολούμενη θερμότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας (Kim και Baik, 2002). Οι υψηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας σχετίζονται με χαμηλότερη ένταση ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του χειμώνα. (Kim and Baik, 2002· Liu et al, 2007), με μικρή όμως συσχέτιση (Oke, 1987). Ωστόσο, οι Papanastasiou και Kittas, (2011), μελετώντας το Βόλο διαπίστωσαν ότι η ένταση ΑΘΝ συσχετίζεται θετικά με τη σχετική υγρασία το καλοκαίρι. Τέλος, συσχετίζεται θετικά με τη μέγιστη ωριαία ένταση ΑΘΝ της προηγούμενης ημέρας.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες να ποσοτικοποιηθεί η ένταση της θερμικής νησίδας. Οι Jones et al., 1989, μελετώντας σταθμούς των ΗΠΑ για την περίοδο 1901-84

κατέληξαν ότι η επιρροή της αστικοποίησης ήταν 0.1°C . Για την ανατολική Κίνα, αντίστοιχα, κατασκεύασαν δύο σύνολα σταθμών- ένα πολύ αστικοποιημένο και ένα λιγότερο. Οι μετρήσεις κάλυπταν μόνο την περίοδο 1953-4. Για τους λιγότερο αστικούς σταθμούς, υπολόγισαν μία γραμμική αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.23°C , ενώ στους υψηλά αστικοποιημένους σταθμούς η τιμή αυτή ήταν 0.39°C . Ο Peterson (2003), ερευνώντας σταθμούς από όλο τον κόσμο, υπολόγισε διαφορά 0.31°C ανάμεσα σε αστικές και αγροτικές περιοχές.

Όσον αφορά στους ρύπους, αυτοί μετριάζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προκαλώντας μείωση στις αστικές θερμοκρασίες του αέρα, αλλά μπορούν επίσης να μετριάσουν την εξερχόμενη θερμική ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της νύχτας προκαλώντας μια καθυστέρηση στην ψύξη του αστικού ιστού. Ο πρώτος μηχανισμός βρέθηκε να είναι ισχυρότερος το καλοκαίρι, ενώ ο άλλος βρέθηκε να είναι πιο σημαντικός το χειμώνα (Papanastasiou και Kittas, 2011).

Η ύπαρξη αστικής νησίδας εμφανίζεται περισσότερο στις ελάχιστες θερμοκρασίες από ότι στις μέσες και μέγιστες, και αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τους φυσικούς μηχανισμούς που ορίζουν το φαινόμενο, π.χ. η παραγωγή θερμότητας από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και έκλυση θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας, λόγω της μεγαλύτερης απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας τη μέρα, το οποίο εξαρτάται από τα θερμικά χαρακτηριστικά των κτιρίων (Oke, 1979). Το ότι είναι πιο εμφανής στις ελάχιστες θερμοκρασίες από ότι στις μέγιστες συμβαίνει επειδή το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα (Oke, 1974· Landsberg, 1981).

Συγκεκριμένα, η αστική θερμική νησίδα αναπτύσσει μια μέγιστη τιμή λίγο μετά το ηλιοβασίλεμα (Oke 1978· Papanastasiou και Kittas, 2011· Klysik και Fortuniak, 1999· Gedzelman et al, 2003· Oke και Maxwell, 1975· Stathopoulou et al, 2004· Stathopoulou et al, 2009· Schwarz et al, 2012). Οι Gedzelman et al, 2003 και Montáñez et al, 2000, το επέκτειναν λέγοντας ότι είναι μεγαλύτερη σε νύχτες με καθαρό ουρανό, χαμηλή σχετική υγρασία κατά το μεγαλύτερο μέρος της τροπόσφαιρας, και αδύναμους βορειοδυτικούς ανέμους, που ορίζονται από τον Oke (1982) ως «ιδανικές» συνθήκες για την ανάπτυξη της νησίδας (Oke, 1981, 1987· Saaroni et al, 2000). Επίσης, ο Deosthali (2000) διαπίστωσε ότι το βράδυ ο πυρήνας της πόλης είναι θερμότερος και με μεγαλύτερη υγρασία. Από την άλλη πλευρά, οι Saaroni et al (2000) παρατήρησαν τις μέγιστες διαφορές θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού της νύκτας (00:00- 6:00 τοπική ώρα). Οι Kassomenos και Katsoulis (2006) και Bejaran και Camilloni (2003) κατέληξαν ότι η αστική θερμική νησίδα είναι πιο έντονη σε ήρεμο, στεγνό, καθαρό ουρανό κοντά στο κέντρο αντικυκλώνων. Αντιθέτως, μειώνεται όταν υπάρχουν κυκλώνες. Μόνο ο Santamouris (2001), μελετώντας τις θερμοκρασίες τον Αύγουστο του 1996 ισχυρίστηκε ότι η κεντρική Αθήνα αρχίζει να θερμαίνεται στις 10:00, αποκτά τη μεγαλύτερη διαφορά σε σχέση με τις γύρω περιοχές ανάμεσα στις 14:00 και τις 15:00, ενώ το φαινόμενο σχεδόν εκλείπει από τις 19:00.

Διαφωνίες υπάρχουν και σε ότι αφορά στην εποχή στην οποία η αστική νησίδα μεγιστοποιείται. Οι Klysik και Fortuniak (1999), ισχυρίστηκαν ότι οι μεγαλύτερες διαφορές συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών βραδιών, ενώ το χειμώνα, ευνοϊκές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ΑΘΝ συμβαίνουν λιγότερο συχνά, και η ένταση του ΑΘΝ είναι μικρότερη. Αντιθέτως οι Papanastasiou και Kittas, (2011), Montáñez et al (2000), Kim και Baik (2002) είπαν ότι το φαινόμενο είναι ισχυρότερο το χειμώνα. Τέλος, οι Rosenzweig et al (2005) απέδειξαν ότι οι τιμές της θερμοκρασίας χαρακτηρίζονται από ενδοετήσια και μηνιαία μεταβλητότητα. Ανάμεσα σε δύο πόλεις του Νιού Τζέρσεϊ, στο Camden η ένταση της ΑΘΝ ήταν μεγαλύτερη τον Αύγουστο, ενώ στο Newark, τον Οκτώβριο.

Για τη μελέτη της τροποποίησης του τοπικού κλίματος, 4 διαφορετικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί:

1. Η σύγκριση αγροτικών-αστικών σταθμών. Για να πραγματοποιηθεί μια τέτοια ανάλυση των αγροτικών σταθμών θα πρέπει να είναι σε άμεση γειτνίαση με την πόλη και να έχουν παρόμοια κλιματολογικά χαρακτηριστικά.
2. Η λήψη θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία στην πόλη μετακινούμενοι γύρω από την πόλη.
3. Η μελέτη της χρονοσειράς της θερμοκρασίας καθώς η πόλη αναπτύσσεται.
4. Δορυφορικές παρατηρήσεις.

Όλες αυτές οι μέθοδοι είναι χρήσιμες, αλλά μόνο όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό μπορούν να σχηματίσουν σαφή εικόνα σχετικά με το φαινόμενο ΑΘΝ.

Η επίδραση της νησίδας οδηγεί σε πολλά σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως:

1. Η τοπική κλιματική αλλαγή (Lin et al, 2008).
2. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, και η υποβάθμιση της ορατότητας (Lin et al, 2008).
3. Επίσης, έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων (Mihalakakou et al, 2004).

2.2 Υλικά κατασκευής

Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι τα κτήρια και οι τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν το 77% της συνολικής έκτασης της πόλης, ενώ το 19% αντιστοιχεί στο οδικό δίκτυο. Μόνο το 4% της έκτασης της πόλης είναι πράσινοι ανοιχτοί χώροι. (Stathoroulou et al, 2004). Η αφαίρεση της φυσικής κάλυψης γης και η αντικατάσταση από υλικά υψηλής θερμικής ικανότητας και χαμηλής ηλιακής ανακλαστικότητας σαν το σκυρόδεμα, την άσφαλτο, πέτρα, τούβλα, μέταλλο, επιδρούν στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της εξατμισοδιαπνοής, την αύξησης της επιφανειακής απορροής, αυξανόμενη αποθήκευση και μεταφορά της ανιχνεύσιμης θερμότητας και επιδείνωση (υποβάθμιση, ποιοτική) του ατμοσφαιρικού αέρα και της ποιότητας του νερού (Kardinal et al, 2007· Taha et al, 1991· Papanastasiou και Kittas, 2011· Mallick και Rahman, 2012).

Οι Stathopoulou και Cartalis (2007) απέδειξαν ότι τα αστικά υλικά μεταβάλλουν το ενεργειακό ισοζύγιο μιας αστικής επιφάνειας καθώς απορροφούν, αντί να αντανακλούν, την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προκαλώντας αύξηση στις θερμοκρασίες επιφάνειας και περιβάλλοντος. Η έλλειψη της βλάστησης στις αστικές περιοχές επηρεάζει επίσης το ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς η φυσική ψύξη της επιφάνειας μέσω εξατμισοδιαπνοής ελαχιστοποιείται (Taha, 1997). Επίσης, εξέτασαν τα πιο κοινά υλικά που χρησιμοποιούνται στον αστικό ιστό της Αθήνας. Υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε αστικές περιοχές, όπως είναι το σκυρόδεμα και η άσφαλτος, έχουν σημαντικά διαφορετικές θερμικές ιδιότητες (π.χ. θερμοχωρητικότητα) και ιδιότητες ακτινοβολίας (π.χ. ανακλαστικότητα) από τις γύρω αγροτικές περιοχές.

Ακόμα, 87 οικοδομικά υλικά συχνής χρήσης στον αστικό ιστό της Αθήνα επιλέχθηκαν και μελετήθηκαν. Σε παρόμοια μελέτη, οι Santamouris et al (2001), μελέτησαν την θερμική απόδοση των 93 πιο συχνά χρησιμοποιούμενων υλικών πεζοδρομίου. Διαπιστώθηκε ότι οι πλάκες που είναι κατασκευασμένες από μάρμαρο, ψηφιδωτά και πέτρα ήταν πιο δροσερές από τις πλάκες από σκυρόδεμα και άσφαλτο. Επίσης, η άσφαλτος έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας από το σκυρόδεμα.

Στη βιβλιογραφία, πολλές μελέτες αναφέρουν την ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (SR) και τη θερμική απόδοση των διαφόρων υλικών στέγης. Οι Simpson και McPherson (1997) διαπίστωσαν ότι οι λευκές στέγες (~0.75 albedo) ήταν μέχρι 20°C δροσερότερες από τις γκρι (~0.30 albedo) ή ασημί (~0.50 albedo) και έως 30°C δροσερότερες από καφέ στέγες (~0.10 albedo). Οι Giridharan et al, (2004) σε μελέτη τους για το Χονγκ Κονγκ διαπίστωσαν πως όταν το επίπεδο ανακλαστικότητας μειώνεται κατά 54% (αλλαγή από κεραμίδι σε πλάκα σκυροδέματος και τσιμέντου), η επιρροή του συντελεστή ανακλαστικότητας σχετικά στη μείωση ΑΘΝ μειώνεται κατά 87%. Ως εκ τούτου, όταν οι μεγάλες και ανοικτές περιοχές καλύπτονται με άσφαλτο και τσιμέντο, η προκύπτουσα επιφάνεια λειτουργεί ως θερμαντικό σώμα και αυξάνει τη θερμοκρασία της επιφάνειας εκθετικά. Αυτό με τη σειρά του θα αυξήσει την εξωτερική θερμική επιφάνεια αναλογικά σε ολόκληρο το περιβάλλον.

Πίνακας 2.1: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές του συντελεστή SR, διαπερατότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία και θερμοκρασίες της επιφάνειας για κάθε κατηγορία υλικού. (Πηγή: Stathopoulou et al, 2009)

Material	SR	Infrared emittance	T_s (°C)
Asphalt	0.06–0.15	0.9	77.6–81.8
Asphalt shingles	0.03–0.18	0.91	75.1–83.5
Concrete	0.13–0.58	0.9	56.2–78.6
Marble	0.37–0.73	0.9	48.6–67.3
Mosaic	0.18–0.65	0.9	52.5–76.1
Ceramic tiles	0.38–0.56	0.9	57.2–66.4
Stone	0.20–0.75	0.9	47.5–75.1
Rubber	0.07	–	69.7
Coatings	0.04–0.84	0.35–0.93	42.9–83.3
Membranes	0.06–0.69	0.86–0.87	50.1–82.8

Ερευνητές από το Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) έχουν δημιουργήσει μια βάση δεδομένων (<http://eetd.lbl.gov/coolroof/>) που αναφέρει την ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (SR) και την άνοδο της θερμοκρασίας των διαφόρων ευρέως χρησιμοποιούμενων υλικών για στέγες (Πίνακας 2.1), με στόχο να βοηθήσει με την επιλογή των πιο κατάλληλων υλικών κατασκευής σκεπής.

Η επίδραση επιφανειακής αστικής θερμικής νησίδας είναι σαφής σε δορυφορικές εικόνες και την ημέρα και τη νύχτα. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ημέρας, υπάρχει υστέρηση στην ηλιακή θέρμανση αστικών περιοχών, λόγω των θερμικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών. Οι μη αστικές επιφάνειες κρύνουν πιο γρήγορα από ό, τι οι αστικές επιφάνειες, καθώς τα οικοδομικά υλικά αποθηκεύουν θερμότητα (Kassomenos και Katsoulis, 2006). Διαπιστώθηκε ότι τα πιο δροσερά υλικά είναι ανοιχτόχρωμα επιχρίσματα, μάρμαρα, πέτρες και μεμβράνες (Stathopoulou et al, 2009). Επίσης, οι Saaroni et al, (2000), μελετώντας στο Τελ-Αβίβ, Ισραήλ, ανακάλυψαν ότι οι στέγες που καλύπτονται με βλάστηση ήταν θερμότερες κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις ήταν οι ανοιχτόχρωμες στέγες χωρίς βλάστηση.

2.3 Επίδραση στην καταναλισκόμενη ενέργεια

Η ύπαρξη αστικής θερμικής νησίδας σε ζεστά κλίματα μπορεί να αυξήσει σημαντικά το ψυκτικό φορτίο το καλοκαίρι στα κτίρια, ιδιαίτερα σε όσα είναι μικρά, γυμνά, και έχουν χαμηλά εσωτερικά φορτία. Έχει βρεθεί (Akbari *et al*, 1992), ότι για τις πόλεις των ΗΠΑ με πληθυσμό πάνω από 100.000 κατοίκους το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο αυξάνεται 1.5 ως 2% για κάθε 1 βαθμό αύξηση στη θερμοκρασία. Έχει υπολογιστεί ότι για τις ΗΠΑ, το ενεργειακό κόστος για τη θερμική νησίδα φτάνει το \$1 εκατομμύριο την ώρα και πάνω από \$1 δις το χρόνο. Οι Jones και Kandel (1992), έδειξαν ότι μια αύξηση κατά 1% του κατά κεφαλήν ΑΕΠ οδηγεί σε μία σχεδόν ίση (1.03), αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, οι Konopacki και Akbari (2002) ανέφεραν ότι η ανάπτυξη ΑΘΝ οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Ο Santamouris (2001) χρησιμοποίησε κλιματικές μετρήσεις από σχεδόν 30 σταθμούς για να αξιολογήσει τον αντίκτυπο του αστικού κλίματος στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων. Βρήκε ότι για την πόλη της Αθήνας, όπου η μέση ένταση ξεπερνά τους 10°C καθώς οι νέες αστικές κατασκευές αυξήθηκαν έως και 55% κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, το ψυκτικό φορτίο των αστικών κτιρίων μπορεί να διπλασιαστεί, το μέγιστο φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας για σκοπούς ψύξης μπορεί να τριπλασιαστεί κ.ά. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, το φορτίο θέρμανσης στα αστικά κτίρια μειώνεται έως και 30%. Ωστόσο, αυτή η κατάσταση αντιστρέφεται εντελώς το καλοκαίρι.

Οι Santamouris et al, (2007) προσπάθησαν να εκτιμήσουν τις άμεσες και έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επίδραση της θερμικής νησίδας στην Αθήνα. Η αστική θερμική νησίδα ερευνήθηκε σε 23 πειραματικούς σταθμούς που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας για περίοδο δύο ετών, 1997 και 1998. Η μελέτη

αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία επειδή το 1997 χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη αστική θερμική νησίδα, ενώ το 1998 από τη χαμηλότερη.

Η μελέτη αυτή αποκτά μεγάλη βαρύτητα, επειδή ο υπολογισμός βασίστηκε σε πραγματικά κλιματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν στην Αθήνα και στη συνέχεια εκτιμήθηκε το ενεργειακό κόστος της θερμικής νησίδας της Αθήνας, το οποίο επιτεύχθηκε με την προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων της Αθήνας, προκειμένου να υπολογιστεί το φορτίο ψύξης τους κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Τα αποτελέσματα (Πίνακας 2.2) δείχνουν ότι το ενεργειακό κόστος του φαινομένου της θερμικής νησίδας στην Αθήνα είναι σημαντικό.

Πίνακας 2.2: Το μέγιστο δυναμικό κόστος της θερμότητας, οι μέγιστες εκπομπές CO₂, και το μέγιστο οικολογικό αποτύπωμα της αστικής θερμικής νησίδας στην Αθήνα (Πηγή: Santamouris et al, 2007)

Year	1997	1998
Maximum potential Athens' heat island energy cost (kWh/m ²)	33.2	29.0
Maximum potential Total Athens' heat island energy cost (GWh)	1,540.5	1,345.6
Maximum potential CO ₂ emissions (Mtn)	4,621	4,036
Maximum potential ecological footprint of the Athens' heat island (ha)	901,180	787,176

2.4 Περιοχές μελέτης

Πολλοί μελετητές ερεύνησαν την επίδραση και την ένταση σε πόλεις σε όλες τις ηπείρους. Παρουσιάζουμε τις περισσότερες από αυτές:

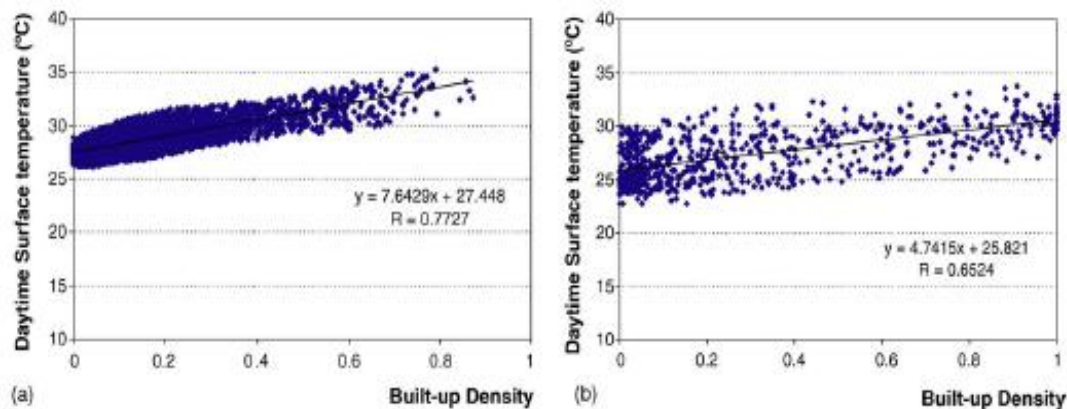
2.4.1 Ασία

Μεγάλες πόλεις της Ασίας (Tran et al, 2006 και Kataoka et al., 2009)

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη χρήση τηλεπισκόπησης για συγκριτική αξιολόγηση της επιφάνειας 18 μεγαλουπόλεων της Ασίας για την ύπαρξη αστικής θερμικής νησίδας, καθώς αυτές είναι οι πιο ραγδαία αναπτυσσόμενες περιοχές του κόσμου. Οκτώ από τις πόλεις βρίσκονται σε εύκρατο (Τόκιο, Πεκίνο, Σαγκάη, Σεούλ και την Πιονγιάνγκ) ή τροπικό κλίμα (Μπανγκόκ, Μανίλα και Ho Chi Minh). Οι πόλεις βρίσκονται κυρίως σε επίπεδες πεδιάδες κοντά στη θάλασσα, οι τροπικές πόλεις είναι αρκετά υγρές, ακόμη και σε εποχή της ξηρασίας, ενώ οι πόλεις στο εύκρατο κλίμα έχουν υψηλή σχετική υγρασία το καλοκαίρι. Οι εικόνες πάρθηκαν μεταξύ του 2001 και του 2003 για τη δημιουργία χαρτών εδάφους- επιφανειακής θερμοκρασίας.

Σημαντικές περιπτώσεις εμφάνισης θερμικής νησίδας έχουν μελετηθεί, όπως ένταση 8°C για το Τόκιο τα βράδια του Ιουλίου (Ichinose et al, 1999), 4.5°C για τη Σεούλ τα βράδια του Αυγούστου (Kim και Baik, 2002) και 5°C για την Μπανγκόκ τα βράδια του Φεβρουαρίου (Boonjawat et al, 2000).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλες οι επιλεγμένες πόλεις αντιμετώπιζαν σημαντική ύπαρξη αστικής νησίδας το καλοκαίρι του 2001 (ιδίως στο εύκρατο κλίμα) με το Τόκιο να έχει την υψηλότερη ένταση με 12°C, ακολουθούμενο από το Πεκίνο (10°C), τη Σεούλ (8°C), τη Σαγκάη (7°C) και την Πιονγιάνγκ (4°C).



Εικόνα 2.3: Διάγραμμα πυκνότητας κτισμάτων- επιφανειακής θερμοκρασίας τη μέρα για: (α) Μπανγκόκ και (β) Ho Chi Minh City. (Πηγή: Tran et al, 2006)

Ισχυρή επιρροή της αστικοποίησης στην αύξηση της θερμοκρασίας σε μεγάλες πόλεις της Ασίας βρήκαν και οι Kataoka et al., 2009.

Κίνα (Zhou et al, 2004)

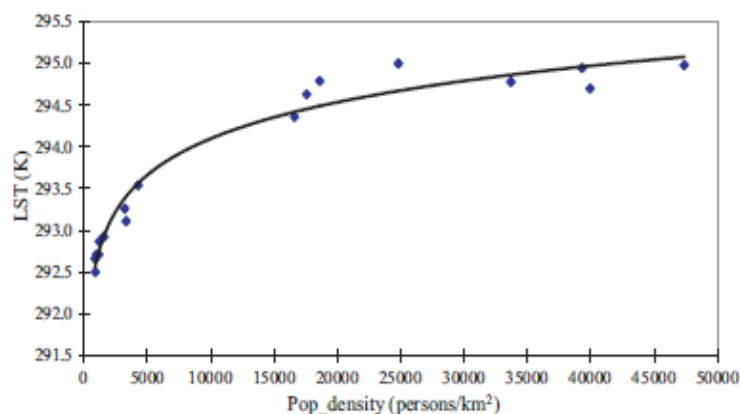
Η ένταση της ΑΘΝ εκτιμήθηκε συγκρίνοντας στις θερμοκρασίες από τους αστικούς μετεωρολογικούς σταθμούς της χώρας με αυτές των γύρω περιοχών. Για την εκτίμηση της επίδρασης της αστικοποίησης και της αλλαγής των χρήσεων γης στο μικροκλίμα χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της R-2 reanalysis (National Centers for Environmental Prediction/ Department of energy (NCEP/DOE)). Η ανάλυση αυτή χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικούς παράγοντες όπως δορυφορικά δεδομένα, ραδιοβολίσεις κλπ. για την εκτίμηση της επιφανειακής θερμοκρασίας.

Οι διαφορές στην επιφανειακή θερμοκρασία μεταξύ των παρατηρούμενων δεδομένων και αυτών της R-2 έχει τεκμηριωθεί ότι αντιπροσωπεύουν την επίδραση της αστικοποίησης και της αλλαγής των χρήσεων γης στο μικροκλίμα. Ακόμα, με βάση τα αποτελέσματα θεωρείται πως η ΑΘΝ θα έπρεπε να είναι πιο ορατή το χειμώνα από ότι το καλοκαίρι, όπου τόσο η νέφωση και η βροχόπτωση. Για τον λόγο αυτό η εξαγωγή των αποτελεσμάτων έγινε με βάση τα δεδομένα του χειμώνα. Η εκτιμώμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του εδάφους είναι 0.05°C ανά δεκαετία, μία τιμή η οποία υπερβαίνει κατά πολύ τις προηγούμενες εκτιμήσεις. Η σημαντική αυτή απόκλιση προκύπτει λόγω της μικρής περιόδου αναφοράς, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη αστικοποίηση και βιομηχανική ανάπτυξη και λόγω της ασύγκριτα μεγαλύτερης πυκνότητας πληθυσμού σε σχέση με τις υπόλοιπες δυτικές χώρες. Λόγω της πολυπλοκότητας των παραμέτρων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του ΑΘΝ όπως η ανομοιογένεια των δεδομένων, η νέφωση, τα αερολύματα, η διάρκεια ηλιακής ακτινοβολίας, τα αποτελέσματα της έρευνας είναι περισσότερο ενδεικτικά παρά καθοριστικά.

Σαγκάη, Κίνα (Li et al, 2012)

Για τη μελέτη του φαινομένου στη Σαγκάη, χρησιμοποιήθηκαν οι απεικονίσεις της πόλης Landsat Thematic Mapper (TM) and Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) από το 1997 μέχρι το 2008 και επιλέχθηκαν αυτές με την λιγότερη νέφωση.

Με βάση τις παραπάνω κατηγορίες και για την περίοδο 1997-2008, παρατηρείται αύξηση της ανοικοδομημένης ζώνης στο κέντρο της πόλης κατά 219.5% που αντιστοιχεί στην υψηλότερη καταγεγραμμένη μέση ετήσια θερμοκρασία (21.64°C). Αντιθέτως, έχουμε μείωση της γυμνής γης κατά 79.38%, μείωση της καλλιεργήσιμης γης (50.50%), των περιοχών υπό αγρανάπαυση κατά 43.35% και των δασών (20.90%). Επίσης, παρατηρείται μία βαθμιαία μείωση του LST από το κέντρο της πόλης μέχρι τις γύρω αγροτικές περιοχές. Στο κέντρο της πόλης όπου η περιοχή χαρακτηρίζεται έντονα αστική, στις βιομηχανικές περιοχές καθώς και στα παραθαλάσσια μέρη η διακύμανση του LST είναι έντονη σε αντίθεση με τις αγροτικές περιοχές. Ακόμα, υπολογίζεται η συσχέτιση των LST με την φυτοκάλυψη (fractional vegetation Fr) με $R^2 = 0.6521$, με την πυκνότητα του δικτύου μεταφορών όπου $R^2 = 0.6362$, και τέλος ισχυρή συσχέτιση με την πληθυσμιακή πυκνότητα ($R^2 = 0.9688$) όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Συσχέτιση μέσης ετήσιας LST και πληθυσμιακής πυκνότητας (Πηγή: Li et al, 2012)

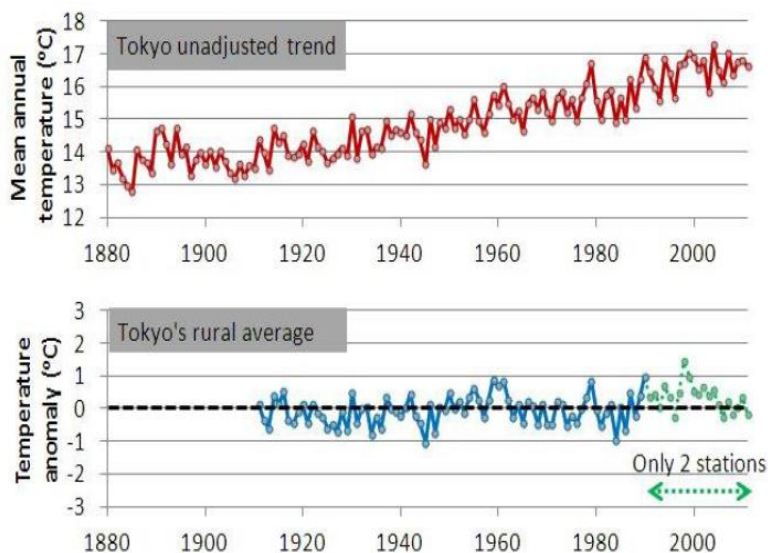
Ωστόσο, η μελέτη κατέληξε ότι το φαινόμενο είναι εύκολα αντιστρεπτό, καθώς στη Σαγκάη από το 1999 οι κυβερνήσεις αποφάσισαν τη δημιουργία νέων χώρων πρασίνου προκειμένου να μειωθεί η αρνητική επίδραση της ΑΘΝ ιδίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στην πυκνοκατοικημένη πόλη, και αυτό επιτεύχθηκε. Ακόμα και πρόσφατα αναδυόμενοι χώροι πρασίνου έχουν σημαντική επίδραση στη γύρω περιοχή, φαινόμενο γνωστό ως ‘cooling island’.

Ιαπωνία (Fujibe και Ishihara, 2010 και Yamashita, 1996)

Οι Fujibe και Ishihara (2010) βρήκαν πολύ ισχυρή επιρροή της αστικοποίησης στην αύξηση της θερμοκρασίας σε πολλούς σταθμούς στην Ιαπωνία. Η Ιαπωνία είναι μία πολύ πυκνοκατοικημένη χώρα, καθώς το 2010, η μέση πυκνότητα πληθυσμού στην

Ιαπωνία ήταν 334.9 km^2 , περίπου 7 φορές μεγαλύτερη από το μέση πυκνότητα πληθυσμού παγκοσμίως και 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή των ΗΠΑ.

Μάλιστα, ο Yamashita (1996) βρήκαν έντονη ύπαρξη αστικής θερμικής νησίδας στο Τόκυο, πρωτεύουσα της Ιαπωνίας, η οποία εκτείνεται σε απόσταση 30 km.



Εικόνα 2.5: Η μέση ετήσια θερμοκρασία στο Τόκυο σε αστικούς και αγροτικούς σταθμούς (Πηγή: Yamashita, 1996)

Χονγκ Κονγκ (Giridharan et al, 2004)

Διεξήχθησαν μετρήσεις στις 27, 28 και 29 Αυγούστου 2002 με ταχύτητα ανέμου μικρότερης από 5 m/s και σχετική υγρασία 66-86%. Στο Χονγκ Κονγκ, οι περισσότερες από τις γειτονιές βασίζονται στην εντατική χρήση γης, και ως εκ τούτου μη κατοικημένες περιοχές έχουν σημαντική συμβολή που ανέρχεται στο 35-60% της συνολικής επιφάνειας ανάπτυξης. Η κατοικημένη συνιστώσα είναι το 40-65%. Σχεδόν το 60% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε Χονγκ Κονγκ καταναλώνεται για τη ψύξη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Σιγκαπούρη

Οι Wong και Yu (2005) επιβεβαίωσαν από την δορυφορική εικόνα την εμφάνιση αστικής θερμικής νησίδας στη Σιγκαπούρη, αν και σε μικρότερο βαθμό από άλλες μεγαλουπόλεις στον κόσμο (μέγιστη τιμή 4°C). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν σε βιομηχανικές περιοχές. Αυτό μάλλον οφείλεται στη χρησιμοποίηση μεταλλικών στεγών για βιομηχανικά κτίρια και έλλειψη ψηλών δέντρων που μπορεί να ρίχνουν σκιά σε κτίρια.

Λίγα χρόνια μετά οι Kardinal et al (2007) προσπάθησαν να συνδέσουν τη θερμική νησίδα με τις χρήσεις γης. Τα βιομηχανικά κτίρια είναι κτισμένα μακριά το ένα από το άλλο χωρίς πράσινο ανάμεσά τους, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω της εκτεταμένης χρήσης σκυροδέματος και άλλων απορροφητικών επιφανειών,

τη μείωση της επιφανειακής υγρασίας για εξατμισοδιαπνοή. Όσον αφορά στον αερολιμένα και στο λιμάνι, παρατηρήθηκε χαμηλότερη θερμοκρασία από την κατοικημένη περιοχή, επειδή είναι μεγάλη ανοικτή επιφάνεια ασφάλτου, με αποτέλεσμα να απελευθερώνει θερμότητα ταχύτερα από τα κτίρια. Στις εμπορικές περιοχές με μεγάλη συμφόρηση και ψηλά κτίρια, η θερμότητα που απορροφάται στην διάρκεια της ημέρας απελευθερώνεται πολύ πιο αργά κατά τις νυκτερινές ώρες από ότι σε κατοικημένες περιοχές, όπου τα κτίρια συνήθως περιβάλλονται από πράσινο από ότι σε βιομηχανική περιοχή με μικρή δυναμικότητα και σε αεροδρόμιο, τα οποία έχουν περισσότερο ελεύθερο χώρο για την απελευθέρωση θερμότητας. Η βιομηχανική περιοχή, κατά τη διάρκεια της ημέρας, έχει πολύ υψηλή θερμοκρασία επιφάνειας εξαιτίας μεγάλης ανοικτής επιφάνειας σκυροδέματος και υψηλής πυκνότητας σε μέταλλα στις οροφές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η βιομηχανική περιοχή εμφανίζει υψηλότερη θερμοκρασία από τις εμπορικές και επιχειρηματικές περιοχές, ενώ τα πάρκα έχουν τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι εμπορικές και επιχειρηματικές περιοχές εμφανίζουν υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε σχέση με τις βιομηχανικές περιοχές και το αεροδρόμιο. Αυτό οφείλεται στην θερμότητα που παγιδεύεται μέσα στο αστικό φαράγγι και απελευθερώνεται σιγά- σιγά προς το περιβάλλον.

Ταϊπέι, Ταϊβάν (Lin et al, 2008)

Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της αστικοποίησης και της αστικής θερμικής νησίδας πάνω από τη βόρεια Ταϊβάν, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο μέσης κλίμακας επόμενης γενιάς, το μοντέλο έρευνας καιρού και Προβλέψεων (WRF) σε συνδυασμό με το μοντέλο επιφάνειας γης Noah.

Η Ταϊπέι βρίσκεται σε μια λεκάνη που περιβάλλεται από ψηλά βουνά στο βόρειο τμήμα της Ταϊβάν. Μια τέτοια σύνθετη γεωγραφική δομή καθιστά το επίδραση της θερμικής νησίδας στην Ταϊπέι πολύ πιο σοβαρή από ότι σε άλλες πόλεις παρόμοιας κλίμακας σε όλο τον κόσμο. Σε αυτή τη μελέτη, η κατανάλωση ενέργειας στην Ταϊπέι εκτιμήθηκε στα 200 W/m^2 .

Η αριθμητική μελέτη έδειξε ότι η θερμοκρασία του αέρα στο κέντρο της πόλης έχει υποτιμηθεί περίπου $1-2^\circ\text{C}$ γύρω στο μεσημέρι. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της νύχτας και νωρίς το πρωί, οι διαφορές στη θερμοκρασία του αέρα ήταν 1°C στους περισσότερους σταθμούς.

Επαρχία Γκουανγκντόνγκ, νότια Κίνα (Chen et al, 2006)

Η επαρχία Γκουανγκντόνγκ επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης, διότι από το 1978 μετετράπη από ένα άγνωστο παραχέρι σε μία πόλη πολλών και σε ένα σημαντικό βιομηχανικό κέντρο στη νότια Κίνα. Η αστική περιοχή διαχωρίστηκε σε οκτώ τύπους χρήσης γης/κάλυψης: δρόμο, βλάστηση (δασικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις), νερό, κατοικημένες περιοχές με χαμηλή και υψηλή πυκνότητα, χώρο αναψυχής, και βιομηχανικές περιοχές (High-tech περιοχή). Προέκυψε ότι περιοχές γυμνής, ημι-άγονης γης και γης υπό ανάπτυξη ήταν θερμότερες από ότι άλλες επιφάνειες.

Σεούλ, Κορέα (Kim και Baik, 2002)

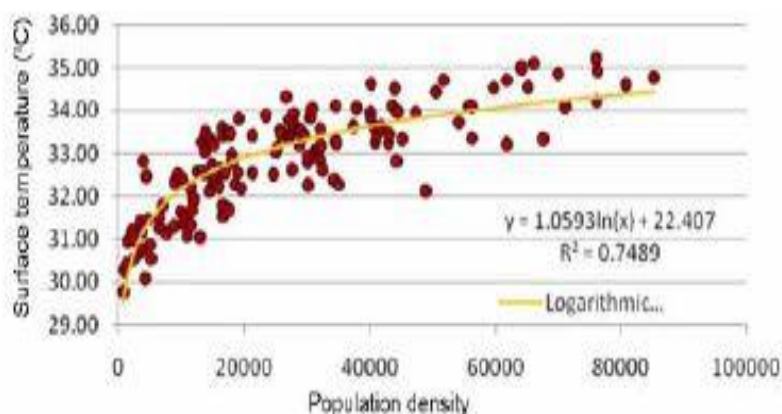
Η μελέτη έγινε κατά τη διάρκεια της περιόδου 1973- 1996 και βρέθηκε ότι η μέγιστη ένταση ΑΘΝ έχει αιχμή σε 4.5°C, όταν η θολότητα είναι 0 και σε 1.7°C, όταν η θολότητα είναι 10.

Δελχί, Ινδία (Mallick και Rahman, 2012)

Σύμφωνα με τις απογραφές, ο πληθυσμός του Δελχί το 1901 ήταν 0.4 εκατ., και αυξήθηκε σε 13.8 εκατ. το 2001 και σε 16,75 εκατ. το 2011 (δηλαδή 20.96% μόνο μεταξύ 2001- 2011). Οι Mallick, J., και A. Rahman, προκειμένου να μελετήσουν τη σχέση της ΑΘΝ με την αύξηση του πληθυσμού στην πόλη, προσδιόρισαν την LST με τη βοήθεια δορυφορικών δεδομένων ASTER, ενός χάρτη με τα όρια του Δελχί ως γεω-βάση και τα δημογραφικά στοιχεία από την απογραφή του 2001, όπου με κατάλληλη επεξεργασία στο λογισμικό πακέτο ArcGIS διακρίθηκαν 5 κλάσεις ανάλογα με τον αριθμό των κατοίκων ανά km²

Παρατήρησαν ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες (34- 40°C) καταγράφονται σε περιοχές με εμπορικές δραστηριότητες, χαμηλή βλάστηση και αδιαπέρατες επιφάνειες και υψηλή αστικοποίηση. Αντιθέτως στα προάστια καταγράφονται θερμοκρασίες της τάξης των 30- 34°C, και ακόμα χαμηλότερες (24- 30°C) κοντά στον ποταμό Yamuna, όπου επικρατεί πυκνή βλάστηση.

Η σχέση μεταξύ επιφανειακής θερμοκρασίας και πυκνότητας του πληθυσμού προέκυψε λογαριθμική (Εικόνα 2.6), με συντελεστή παλινδρόμηση (R^2) ίσο με 0.749.

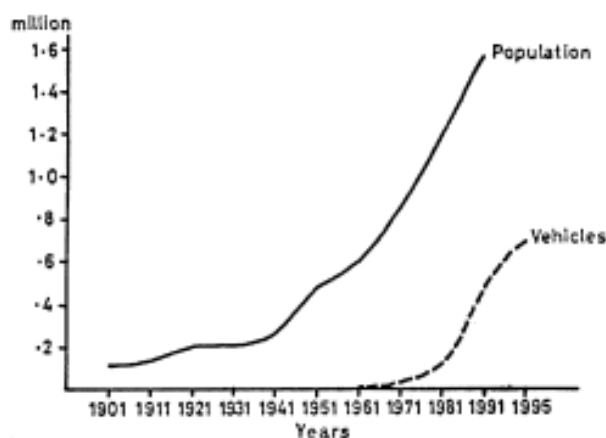


Εικόνα 2.6: Συσχέτιση της επιφανειακής θερμοκρασίας και της πυκνότητας του πληθυσμού (Πηγή: Mallick και Rahman, 2012).

Πούνε, Ινδία (Daniel και Krishnamurty, 1973)

Η έρευνα διενεργήθηκε το Φεβρουάριο 1973 και ανέφερε το σχηματισμό θερμικής νησίδας στο νότιο τμήμα της πόλης με ένταση από 4 έως 6°C. Είναι χαρακτηριστικό ότι τα οικοδομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις πόλεις της Ινδίας περιλαμβάνουν πέτρες, τούβλα, ξύλο, σίδηρο, αμίαντο και πολυαιθυλένιο. Στον αστικό ιστό, τα παλαιότερα κτίρια συνήθους ύψους 6 έως 8 μέτρα ήταν κατασκευασμένα από πέτρα

και τούβλα με επικλινείς στέγες και μια μικρή αυλή στο εσωτερικό τους και έχουν αντικατασταθεί από 13- 15 m ύψος.



Εικόνα 2.7: Η αύξηση του πληθυσμού και οχημάτων στην πόλη Pune. Ο πληθυσμός της πόλης έχει αυξηθεί 10 φορές κατά τον 20ο αιώνα (Πηγή: Daniel και Krishnamurty, 1973).

2.4.2 Αμερική

Μπουένος Άιρες, Αργεντινή (Bejaran και Camilloni, 2003)

Οι Bejaran και Camilloni (2003) βρήκαν ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεγιστοποιείται υπό αντικυκλωνικές συνθήκες. Επίσης, διαπίστωσαν ότι η αρνητικές διαφορές θερμοκρασίας αστικών-αγροτικών περιοχών στο Μπουένος Άιρες συνδέονται με τη ΒΑ ροή του αέρα, ωστόσο, οι αέριες μάζες (που προέρχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό), είναι υγρές σε αντίθεση με την Αθήνα, όπου αντίστοιχες μάζες αέρα είναι μάλλον ξηρές. Παρόμοιες με τις παραπάνω συνθήκες προκαλούνται από το συνδυασμό ενός αντικυκλώνα που βρίσκεται στη δυτική και κεντρική Ευρώπη και ενός με χαμηλή πίεση στην Κύπρο. Αυτή η κατάσταση συνοδεύεται από μια βόρεια ροή ψυχρών αερίων μαζών πάνω από την Αθήνα Kassomenos και Katsoulis (2006).

Οι Figuerola και Mazzeo (1998) ανέφεραν ότι κατά την ψυχρή περίοδο, το ανώτατο όριο θερμοκικής νησίδας 3.0°C παρατηρήθηκε νωρίς το πρωί στο Μπουένος Άιρες, ενώ τα Σαββατοκύριακα η τιμή αυτή μειώθηκε σε περίπου 2°C.

Φέρμπανκς, Αλάσκα (Magee et al, 1999)

Μελετήθηκε η χρονική περίοδος 1949- 1997, στην οποία ο πληθυσμός των Φέρμπανκς αυξήθηκε κατά περισσότερο από 500%, σε σχέση με αγροτικές περιοχές όπου ο πληθυσμός παρέμεινε σταθερός.

Η Φέρμπανκς παρουσίασε σημαντική ετήσια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 2.1 °C από το 1949 έως το 1997. Συγκρίνοντας με ένα κοντινό σταθμό, η περιοχή του οποίου δε μεγάλωσε σε μέγεθος, περίπου τα 4/5 της συνολικής αύξησης της

θερμοκρασίας μπορούν να αποδοθούν σε μια γενικότερη θέρμανση του πλανήτη, ενώ το 1/5 της αύξησης οφείλεται στην αυξανόμενη επίδραση της θερμικής νησίδας. Ο χειμώνας ήταν η εποχή που παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας (πάνω από 4.5°C). Η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε κατά το χρονικό διάστημα 1970- 1990, η οποία είναι και η στιγμή της μεγαλύτερης ανάπτυξης. Η ένταση της θερμικής νησίδας έχει επιβραδυνθεί τα τελευταία χρόνια, το οποίο θα μπορούσε να οφείλεται στην επέκταση της πόλης στους παρακείμενους λόφους, ή στη μετεγκατάσταση του μετεωρολογικού σταθμού το 1991.

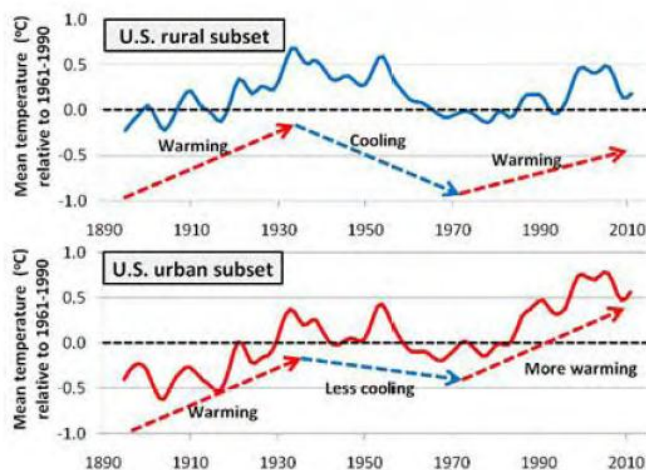
Μόντρεαλ και Βανκούβερ, Καναδάς, (Oke και Maxwell, 1975)

Αν και οι καμπύλες ψύξης τους για τις αγροτικές περιοχές είναι παρόμοιες, το Μόντρεαλ και το Βανκούβερ έχουν διαφορετικές καμπύλες ψύξης για τις αστικές περιοχές. Στο Μόντρεαλ ο συντελεστής είναι 0.65°C/hr, και στο Βανκούβερ 0.95°C/h. Οι λόγοι για αυτό σχετίζονται με το διαφορετικό μέγεθος, το βαθμό βιομηχανοποίησης, το ποσό βλάστησης και ούτω καθεξής.

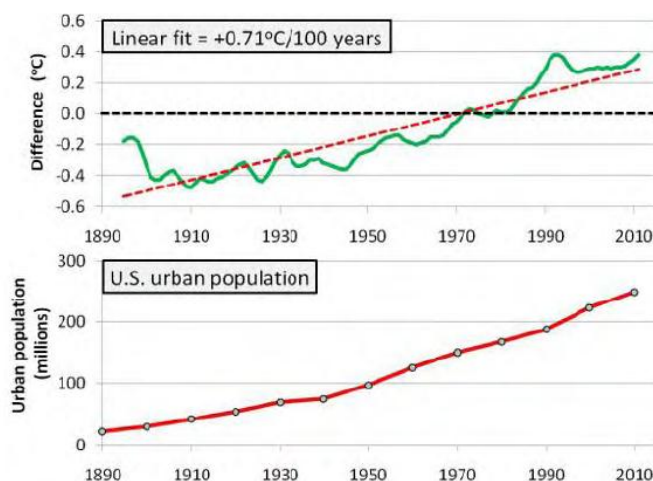
Η μελέτη έγινε με στόχο να εντοπίσει τη σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών σχεδιασμού και των επιφανειακών θερμικών εκπομπών εντός της πόλης του Βανκούβερ και εντόπισε ότι οι περιοχές με υψηλή πυκνότητα, έχουν υψηλότερη θερμοκρασία η οποία σχετίζεται με τις θερμικές ιδιότητες των υφιστάμενων δομών και τη γεωμετρία των δρόμων. Η σχετικά πιο ψυχρή διασταύρωση στην πόλη βρέθηκε να είναι πιο κοντά σε περιοχή με βλάστηση.

ΗΠΑ (Connolly και Connolly, 2014)

Στην εικόνα 2.8, συγκρίνεται η μέση θερμοκρασία και οι κλίσεις της, για τις αγροτικές και αστικές περιοχές του Δικτύου Ιστορικής Κλιματολογίας των ΗΠΑ. Και τα δύο σύνολα δείχνουν ότι υπήρξε μία αύξηση της θερμοκρασίας των ΗΠΑ από το 1970 ως το 2000. Ωστόσο, στο σύνολο των αστικών σταθμών, αυτή η αύξηση ήταν πολύ μεγαλύτερη. Και τα δύο σύνολο έδειξαν αρνητική κλίση στη θερμοκρασία από το 1930 ως το 1970, η οποία ήταν μικρότερη στα αστικά κέντρα. Από την εικόνα 2.9, αυτή η μεταβολή στη θερμοκρασία φαίνεται να σχετίζεται με την αύξηση του πληθυσμού των ΗΠΑ από το τέλος του 19^{ου} αιώνα. Ωστόσο, κατέληξαν ότι αν και η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας αυξάνει με την αύξηση της αστικοποίησης, η ακριβής σχέση φαίνεται πως εξαρτάται και από τον τύπο της αστικής ανάπτυξης, τις δραστηριότητες της περιοχής και το κλίμα. Συνεπώς είναι δύσκολο να εξάγουμε μία «σχέση αστικοποίησης».



Εικόνα 2.8: Η μέση θερμοκρασία για τα υποσύνολα των αγροτικών σταθμών (επάνω) και των αστικών (κάτω) στις ΗΠΑ (Πηγή: Connolly και Connolly, 2014).



Εικόνα 2.9: Σύγκριση των διαφορών ανάμεσα στις κλίσεις των αστικών και αγροτικών σταθμών της εικόνας 2.8 (πάνω) και της αύξησης του αστικού πληθυσμού (κάτω) για τις ΗΠΑ (Πηγή: Connolly και Connolly, 2014).

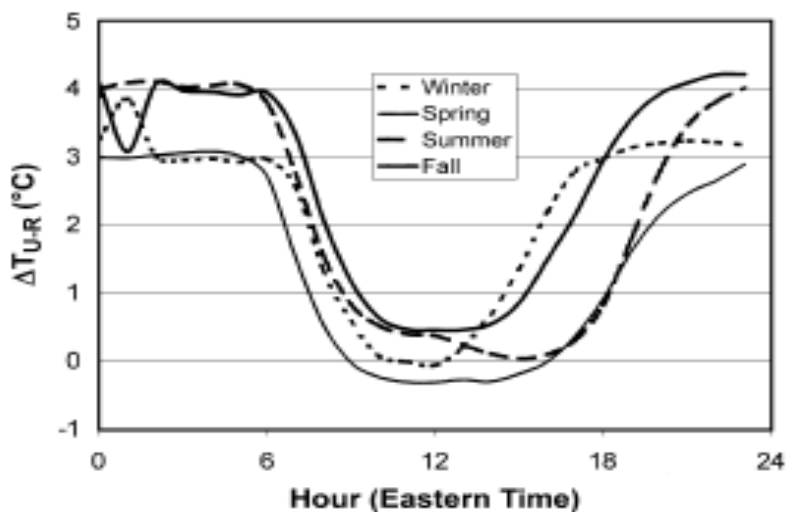
Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.

1) Gedzelman et al, 2003

Η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας (που προκύπτει ως η διαφορά θερμοκρασίας αστικών- αγροτικών περιοχών, δηλαδή $\Delta T_{U,R}$) προέκυψε στη Νέα Υόρκη κατά μέσο όρο περίπου $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι και το φθινόπωρο και $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ το χειμώνα και την άνοιξη (εικόνα 2.10).

Οι Gedzelman et al (2003) μελέτησαν την κατανομή της μέσα στη μέρα. Αυξάνει γρήγορα σχεδόν από το μηδέν το απόγευμα σε μια σχεδόν σταθερή τιμή όλο το βράδυ, το οποίο συμφωνεί με τους (Gedzelman et al, 2003· Oke και Maxwell, 1975). Το πρωί, το $\Delta T_{U,R}$ μειώνεται ακόμα πιο έντονα από ότι αυξάνει το βράδυ, ενώ συχνά εξαφανίζεται λίγο μετά τα μεσάνυχτα. Κατά μέσο όρο, η ΑΘΝ αυξάνεται ραγδαία αργά το απόγευμα, παραμένει σχεδόν σταθερή κατά τη διάρκεια της νύχτας και στη

συνέχεια μειώνεται γρήγορα μετά την αυγή. Αυτή η μεταβλητότητα είναι εξηγήσιμη, καθώς ο ήλιος ανατέλλει αρκετά νωρίς κατά τους μήνες κοντά στο θερινό ηλιοστάσιο με αποτέλεσμα να καταστρέφει τη νυχτερινή αναστροφή. Επίσης, επιφανειακές αναστροφές συμβαίνουν όταν υπάρχει αεράκι από τη θάλασσα, οπότε το ΔT_{U-R} τείνει να είναι μικρό ή αρνητικό.



Εικόνα 2.10: Ωριαίες τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας αστικών – αγροτικών περιοχών, για κάθε μία από τις τέσσερις εποχές (Πηγή: Gedzelman et al, 2003)

Συγκεκριμένα, τα μεσάνυχτα, το ΔT_{U-R} γίνεται 4.8°C όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από 2.5 m/s , αλλά μόνο 2.1°C όταν η ταχύτητα του αέρα είναι πάνω από 7.5 m/s (Πίνακας 2.3). Η ταχύτητα του ανέμου ποικίλλει και είναι συνήθως μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια κυκλωνικών καιρικών συνθηκών ή τις ώρες που ακολουθούν μετά από ένα κρύο πέρασμα.

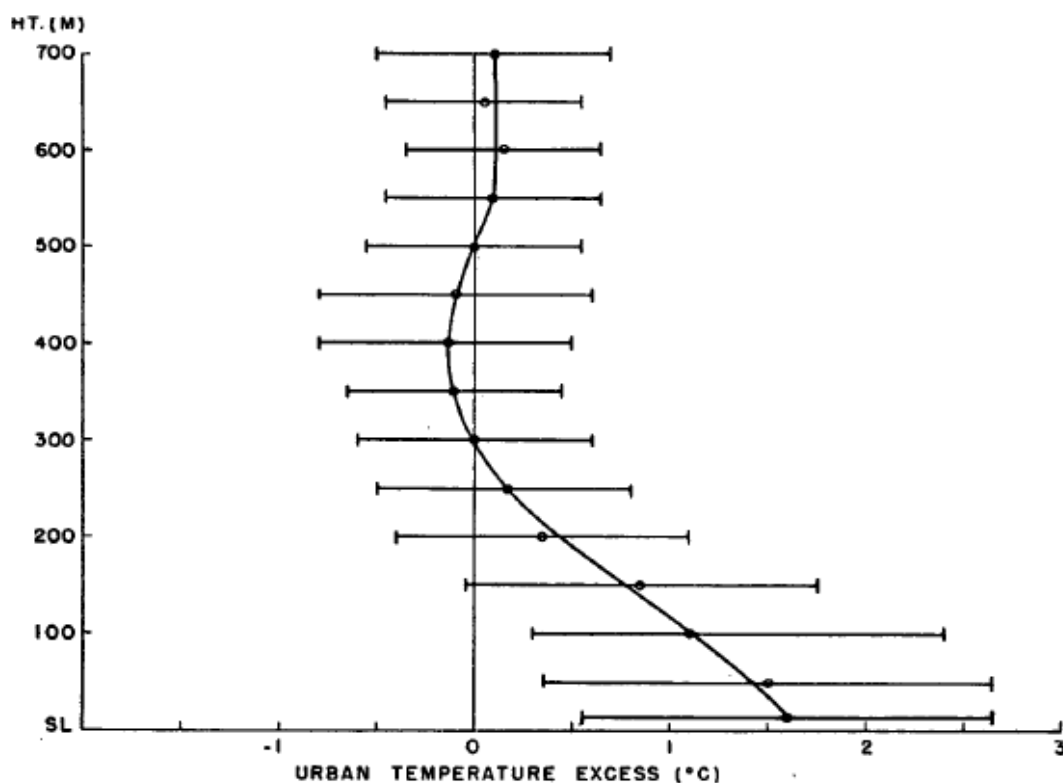
Πίνακας 2.3: Τιμή της ΑΘΝ ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου στο JFK (Πηγή: Gedzelman et al, 2003).

Wind speed (kt)	ΔT_{U-R} ($^{\circ}\text{C}$)
<5	4.9
> 10	2.8
> 15	2.3
> 20	2.1

2) Bornstein, 1968

Ο Bornstein ανέλυσε τις διαφορές στα πεδία θερμοκρασίας στα χαμηλότερα 700 m της ατμόσφαιρας μέσα και γύρω από τη Νέα Υόρκη κοντά στις ώρες της ανατολής του ήλιου τα πρωινά από Ιούλιο '64 έως Δεκέμβριο '66 και για δύο ώρες πριν ως δύο ώρες μετά το ηλιοβασίλεμα (Εικόνα 2.11). Η μέση ένταση της αστικής θερμικής νησίδας ήταν μέγιστη κοντά στην επιφάνεια και μηδενιζόταν στα 300m . Πιο συγκεκριμένα, κοντά στην επιφάνεια ήταν 4 βαθμοί και μειωνόταν με το ύψος. Στα 300 m μηδενιζόταν, στα επόμενα 100 ήταν ελαφρά αρνητική και πάνω από τα 500 m

οι ισόθερμες είναι σχεδόν οριζόντιες. Σε περισσότερα από 2/3 των πρωινών που εξετάστηκαν παρατηρήθηκε αντιστροφή στη θερμική νησίδα σε υψόμετρα μεγαλύτερα από 150 m.



Εικόνα 2.11: Η μεταβολή της έντασης της αστικής νησίδας με το ύψος στη Νέα Υόρκη (Πηγή: Bornstein, 1968).

Νιου Τζέρσεϊ, ΗΠΑ, (Rosenzweig et al, 2005)

Το Νιου Τζέρσεϊ είναι στο μέσο της ακτής του Ατλαντικού των ΗΠΑ και βρίσκεται σε μία εύκρατη ζώνη, όπου επικρατούν δυτικοί άνεμοι. Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή έχει αυξηθεί κατά 0.1°C ανά δεκαετία

Οι τιμές της θερμοκρασίας χαρακτηρίζονται από ενδοετήσια και μηνιαία μεταβλητότητα. Στο Camden π.χ. η ένταση της ΑΘΝ είναι μεγαλύτερη τον Αύγουστο, ενώ στο Newark, τον Οκτώβριο. Σε γενικές γραμμές, οι διαφορές στις ελάχιστες θερμοκρασίες αστικών- μη αστικών περιοχών έδειξαν ότι η επίδραση κυμάνθηκε σε ένταση μεταξύ 1.1 και 8.8°C, με τη διακύμανση να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου. Ως αστικούς σταθμούς ορίσαμε τους σταθμούς που βρίσκονται σε περιοχές με περισσότερους από 2000 άτομα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας υποδεικνύουν δυναμικό για αυξημένες νυκτερινές θερμοκρασίες σε αυτές τις δύο πόλεις, καθώς η ενέργεια που αποθηκεύεται από αστικές επιφάνειες ζεσταίνει τον αέρα μέσω αγωγής- μεταφοράς.

Χιούστον, Τέξας, ΗΠΑ (Streutker, 2003)

Το Χιούστον έχει παρουσιάσει 20% αύξηση των κατοίκων την τελευταία δεκαετία. Έτσι, κατά τη διάρκεια των 12 ετών, μεταξύ 1987 και 1999, η νυχτερινή θερμοκρασία του Χιούστον αυξήθηκε κατά σχεδόν 1 βαθμό, σε μικρή έκταση, μόνο γύρω από το κέντρο.

Καλιφόρνια, ΗΠΑ (Goodridge, 1996 και LaDochy et al., 2007)

Ο Goodridge το 1996 χώρισε τους σταθμούς της Καλιφόρνιας σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος του πληθυσμού. Κατέληξε ότι όσο περισσότερο αστικοποιημένο ήταν ένα προάστιο, τόσο μεγαλύτερη τάση για μεγαλύτερη θερμοκρασία είχε. Μία μεταγενέστερη μελέτη από τους LaDochy et al. (2007) βρήκε παρόμοια αποτελέσματα για την ίδια περιοχή.

2.4.3 Ευρώπη

Ένα μεγάλο μέρος των σύγχρονων μελετών για την ένταση της θερμικής νησίδας έχει γίνει στην Ευρώπη, αρχίζοντας από τη μελέτη του Howard τον 19^ο αιώνα στο Λονδίνο. Ο Bohm το 1998 ανακάλυψε ότι ακόμα στην περίπτωση της Βιέννης, μίας πόλης που σημείωσε μείωση του πληθυσμού στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, βρέθηκε επιρροή στις θερμοκρασίες από παράγοντες αστικοποίησης. Επίσης, οι Moberg και Bergstrom, 1997, ανακάλυψαν επίδραση παραγόντων αστικοποίησης στις πολυετείς καταγραφές για τις Σουηδικές πόλεις Ουψάλα και Στοκχόλμη.

Ρέγκιαβικ, Ισλανδία, (Steinecke, 1999)

Στο Ρέγκιαβικ, ο κυκλοφοριακός φόρτος υπολογίστηκε 500 οχήματα ανά 1000 κατοίκους και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας 417 GJ ανά κάτοικο. Οι συχνά θυελλώδεις καιρικές συνθήκες εμποδίζουν την ανάπτυξη αναστροφών που οδηγούν σε μεγάλη αστική νησίδα. Οι υψηλές ταχύτητες ανέμου, τυπικές για ανοικτό περιβάλλον κοντά στην ακτή (μέση ταχύτητα ανέμου 4.0 m/s) μειώνονται δραστικά μέσα στην πυκνοδομημένη πόλη (μέση ταχύτητα ανέμου 1.8 m/s).

Οι διαφορές στη θερμοκρασία του αέρα ανάμεσα στο κέντρο της πόλης και τα αραιά κατοικημένα προάστια κατά τη διάρκεια της νύχτας και τις πρώτες πρωινές ώρες έχει μέγιστη τιμή περίπου 1- 2°C, μερικές φορές μέχρι 5.6°C την άνοιξη (Μάρτιος- Απρίλιος) και το τέλος του καλοκαιριού (Αύγουστος).

Αντίθετα με κάποιες άλλες πόλεις στην Ευρώπη, δεν υπάρχουν προβλήματα με το αστικό νέφος. Ωστόσο, οι έντονες καταιγίδες, οι συνεχείς υψηλές ταχύτητες ανέμου και η συχνή εναλλαγή ψυχρών περιόδων και περιόδων παγετών θα μπορούσαν να κάνουν τη ζωή στο Ρέγκιαβικ πάρα πολύ δύσκολη, ακόμη και σε ήπιους χειμώνες. Ενώ σε πολλές πόλεις με πολικό ψύχος, συχνά παρατηρείται σοβαρή ατμοσφαιρική ρύπανση, στο Ρέγκιαβικ αυτά τα προβλήματα δεν έχουν εμφανιστεί μέχρι στιγμής.

Το κλίμα του Ρένκιαβικ καθορίζεται κυρίως από την εγγύτητα προς τη θάλασσα, και φυσικά από την υψηλού γεωγραφικού πλάτους ηλιακή ακτινοβολία.

Μάλμε, Σουηδία (Barring et al, 1985)

Το αποτέλεσμα της μελέτης, που έγινε στην πόλη του Μάλμε (πληθυσμός περίπου 230.000, Σεπτέμβριος του 1983), στη νότια Σουηδία, αναφέρει, μεταξύ άλλων, ότι η γεωμετρία των δρόμων της πόλης (αστικό φαράγγι) διαδραματίζει θεμελιώδη ρόλο στη δημιουργία της επιφάνειας διαφορετικής θερμοκρασίας στην πόλη.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας όμως είναι τα εμπόδια που δεν αφήνουν τις επιφάνειες να βλέπουν καθαρά τον ουρανό, κατά τη διάρκεια καθαρών, ήρεμων απογευμάτων. Η ακτινοβολία όταν παρεμποδίζεται από αντικείμενα, όπως κτίρια και δέντρα, είναι συνήθως πολύ μικρότερη από αντίστοιχες περιοχές με ανοικτό ουρανό, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που έχει ληφθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας να παραμένει αποθηκευμένο και, ως εκ τούτου, επηρεάζει τη θερμοκρασία του εδάφους.

Με την αύξηση του ύψους πάνω από την επιφάνεια του δρόμου παρατηρείται μία μειωμένη επίδραση του αστικού φαραγγιού και μια αυξανόμενη επίδραση των υπόλοιπων παραγόντων παραγωγής θερμικής νησίδας. Αυτό είναι λογικό, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η παρεμπόδιση του ουρανού και η επιρροή επιφανειών ανταλλαγής ενέργειας μειώνεται ανάλογα με το ύψος πάνω από την επιφάνεια του δρόμου, μαζί με μια αυξανόμενη επίδραση του ανέμου.

Γκέτεμποργκ, Σουηδία (Eliasson και Holmer, 1990)

Η εργασία παρουσιάζει μια μελέτη στο Γκέτεμποργκ με πληθυσμό 500.000 κατοίκους για την περίοδο 1981-1986 κατά τη διάρκεια χειμωνιάτικων βραδιών με αντικυκλωνικές καιρικές συνθήκες.

Η κυκλοφορία αστικής θερμικής νησίδας (ΚΑΘΝ) είναι μία ασθενής ροή κοντά στο έδαφος, που κατευθύνεται προς το κέντρο της πόλης και προκαλείται από την αστική θερμική νησίδα. Η ώρα έναρξης της ΚΑΘΝ ποικίλλει. Στις περισσότερες περιπτώσεις, άρχισε μερικές ώρες μετά τα μεσάνυχτα. Οι παρατηρήσεις έδειξαν ότι η ΚΑΘΝ ξεκινά αργά το βράδυ ή νωρίς το πρωί. Τα αποτελέσματα από Γκέτεμποργκ δείχνουν ότι χρειάζονται τουλάχιστον 4- 6 ώρες ευνοϊκές καιρικές συνθήκες μετά τα μεσάνυχτα πριν αρχίσει η ΚΑΘΝ. Τα ίδια αποτελέσματα παρουσιάζονται από Goldreich και SurrIDGE (1988) για μία φορά στο Γιοχάνεσμπουργκ. Η κυκλοφορία θερμικής νησίδας έχει μεγάλη σημασία για τις συγκεντρώσεις της ρύπανσης του αέρα στο Γκέτεμποργκ, καθώς μεταφέρει τόσο μολυσμένο όσο και καθαρό αέρα.

Η μελέτη βασίζεται σε διάφορες παρατηρήσεις νέφους καπνού κυρίως κατά τις πρωινές ώρες κατά τις εργάσιμες ημέρες με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες για την ανάπτυξη κυκλοφορίας θερμικής νησίδας. Επικρατούσαν αντικυκλωνικές καιρικές

συνθήκες με ασυννέφιαστο ουρανό, άνεμος 5-7 m/s στα παράλια και 1- 2 m/s στο κέντρο.

Διακρίνονται δύο κατηγορίες, για χαμηλότερες και υψηλότερες από 30 μέτρα πάνω από το έδαφος. Η ροή του αέρα στα χαμηλά στρώματα είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την κατεύθυνση του ανέμου σε υψηλότερα επίπεδα. Όσον αφορά στη ρύπανση, θα υπάρχουν κατά μέσο όρο περίπου 15 επεισόδια κάθε χρόνο, με μέγιστες τιμές NO₂ άνω των 150 gg/m³.

Λοτζ, Πολωνία (Klisyk και Fortuniak, 1999)

Στο Λοτζ, τεχνητές επιφάνειες (στέγες, πεζοδρόμια, οδοστρώματα με άσφαλτο) καλύπτουν πάνω από το 80% αυτής της περιοχής. Στο κλίμα της Πολωνίας η εμφάνιση αστικής θερμικής νησίδας είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των αστικών περιοχών. Πάνω από το 80% των βραδιών χαρακτηρίζονται από πλεονάζουσα θερμότητα στις πόλεις, που ανέρχεται σε 2- 4⁰C, και σποραδικά σε 8⁰C και περισσότερο. Το βράδυ, στις 19.00 ώρα τοπική ώρα, η πόλη είναι σχεδόν πάντα θερμότερη. Η αστική θερμική νησίδα, ωστόσο, αναπτύσσεται στο μέσον της νύχτας (01 τοπική ώρα). Το πιο βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται το καλοκαίρι (Ιούνιο- Αύγουστο) και φτάνουν 3- 4⁰C, και μερικές φορές ακόμη και 6⁰C. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της ημέρας συμβαίνει συχνά το κέντρο της πόλης να είναι πιο δροσερό από τη γύρω περιοχή.

Οι λόγοι που το κέντρο της πόλης είναι θερμότερο είναι προφανείς. Στις μέρες που υπάρχει έντονη ηλιακή ακτινοβολία, υπάρχουν μεγάλες θερμικές αντιθέσεις μέσα στην πόλη. Κοντά στην επιφάνεια του εδάφους σε περιοχές υψηλής πυκνότητας κτιρίων, ο αέρας μπορεί να είναι πιο ψυχρός από έξω από την πόλη, επειδή ένα μεγάλο μέρος του εδάφους βρίσκεται στη σκιά. Οι στέγες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο δεδομένου ότι αυτές αποτελούν ένα στρώμα θερμότερου αέρα 15- 30 m πάνω από το έδαφος επειδή απορροφούν ένα μεγάλο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέλος, προκύπτει από τη σύγκριση αυτή ότι για το μέγεθος του Λοτζ, η αστική θερμική νησίδα κατά κύριο λόγο προσδιορίζεται από τον τύπο των κοντινών κτιρίων (το είδος, το ύψος των κτιρίων και την πυκνότητα δόμησης) και μόνο δευτερευόντως από το μέγεθος της πόλης.

Λειψία, Γερμανία (Schwarz et al, 2012)

Αναλύθηκαν 15 μετεωρολογικοί σταθμοί. Μια γραμμική παλινδρόμηση των θερμοκρασιών του αέρα έδειξε ότι ο ρυθμός ψύξης εξαρτάται από την απόσταση από το κέντρο της πόλης. Μια εξαίρεση είναι οι άγονες ή οι ημι-άνυδρες περιοχές, στις οποίες η πόλη μπορεί να είναι προκύψει πιο ψυχρή, και το οποίο οφείλεται σε παράγοντες όπως οι αρδευόμενοι κήποι κ.ά.

Συμπερασματικά, προτείνεται ότι οι απόλυτες τιμές που προέρχονται από διαφορετικούς δείκτες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για τις συγκρίσεις μεταξύ πόλεων, διότι δεν είναι σε θέση να παρέχουν συγκρίσιμα αποτελέσματα, ακόμη και

στην ίδια πόλη. Η παράλληλη ποσοτικοποίηση πλήθους δεικτών για την ΑΘΝ χρησιμοποιώντας την ίδια μελέτη και δεδομένα προϋποθέτει ότι η πειραματικές και οι περιβαλλοντικές συνθήκες ήταν ίσες. Ωστόσο, το εύρος των απόλυτων τιμών ποικίλλει σημαντικά. Αυτό αμφισβητεί τη χρήση μεμονωμένων τιμών για το ΑΘΝ για μια ολόκληρη πόλη επειδή η επεξηγηματική ισχύς του εν λόγω δείκτη (δηλαδή, "Για την πόλη X, έχουμε ποσοτικά ένταση αστικής θερμικής νησίδας ως 3.7 °C ") είναι μάλλον περιορισμένη.

Τελ-Αβίβ, Ισραήλ (Saaroni et al, 2000)

Αυτή η μελέτη ερευνά την αστική θερμική νησίδα στο Τελ-Αβίβ, όπως αυτή εκφράζεται σε διαφορετικά επίπεδα (στέγη, οδός και επιφανειακά επίπεδα) και εξετάζει τις σχέσεις μεταξύ τους. Τα περισσότερα από τα κτίρια στο Τελ-Αβίβ είναι 3- 4 ορόφων, δηλαδή 10- 15 m ύψους. Βρέθηκαν διαφορές θερμοκρασίας αέρα έως και 6°C στο επίπεδο του δρόμου και των 2°C στο επίπεδο της στέγης ανάμεσα στο κέντρο της πόλης και τα νοτιοανατολικά προάστια του Τελ-Αβίβ. Ενώ η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας στην επιφάνεια έδειξε τιμές έως 10°C, στο επίπεδο του δρόμου παρατηρήθηκαν μεταβολές θερμοκρασίας κατά 3- 5°C ανάμεσα στο κέντρο της πόλης και τις γύρω περιοχές.

Η μεγάλη θερμική μεταβλητότητα φαίνεται σε ισόθερμους χάρτες που δείχνουν μια υψηλή συσχέτιση μεταξύ της χρήσης γης και της κατανομής της θερμοκρασίας. Η θερμική τηλεπισκόπηση από δορυφόρους είναι μια κοινή χρήσιμη τεχνική για τη μελέτη αστικής θερμικής νησίδας και τη χωρική πολυπλοκότητα της. Οι κυρίαρχες ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας στην πόλη είναι οι μεταφορές (57%) και η χρήση στο εσωτερικό των κτιρίων (34%), ενώ η βιομηχανία είναι μικρή πηγή θερμότητας.

Το μεσημέρι στις 14:00, η περιοχή κοντά στην παραλία, σε γενικές γραμμές, φαίνεται να είναι συγκριτικά ψυχρότερη από το υπόλοιπο της πόλης εξαιτίας της επίδρασης μετριασμού της θάλασσας. Αντιθέτως, το βράδυ στη 1:00, η περιοχή δίπλα στην παραλία παρατηρήθηκε να είναι το ίδιο ζεστή με το κέντρο της πόλης. Οι δρόμοι φαίνεται να είναι το θερμότερο στοιχείο στην εικόνα, ειδικά οι οδικοί κόμβοι, οι οποίοι είναι θερμότεροι και από τους δρόμους. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι δρόμοι στην αγροτική περιοχή είναι ψυχρότεροι κατά 0.58°C από τους δρόμους στην κατοικημένη περιοχή. Στο επίπεδο της στέγης, η παραλία ήταν ψυχρότερη από το κέντρο της πόλης. Το κέντρο της πόλης ήταν θερμότερο από τα περίχωρα, κατά 1.5- 2.5°C, το οποίο, υποδεικνύει το αποτέλεσμα θερμικής νησίδας.

Ενδιαφέρον εύρημα ήταν το γεγονός ότι οι κόμβοι βρέθηκαν θερμότεροι και από την ασφάλτο στους δρόμους τους, σε αντίθεση με ότι έχουν βρει οι Barring et al (1985) στο Μάλμε και ο Eliasson (1990/1991) στο Γκέτεμποργκ της Σουηδίας. Αυτή η ενδιαφέρουσα διαφορά μπορεί να εξηγηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως π.χ. διαφορές στη σύνθεση των υλικών των δρόμων: στο Τελ-Αβίβ οι δρόμοι είναι στρωμένοι με ασφάλτο, και οι κόμβοι με πιο τραχεία ασφάλτο.

Αβείρο, Πορτογαλία (Pinho και Manso Orgaz, 2000)

Οι Pinho και Manso Orgaz, 2000, μελέτησαν το φαινόμενο της θερμικής νησίδας στην παράκτια πόλη Aveiro της Πορτογαλίας. Διαπιστώθηκε ότι η ένταση της θερμικής νησίδας είναι σχεδόν 7.5°C.

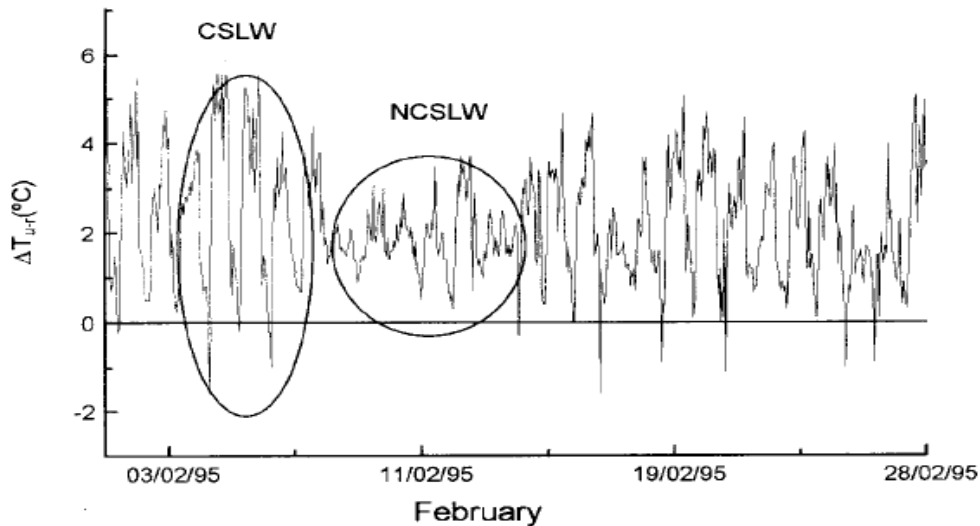
Γρανάδα, Νότια Ισπανία (Montávez et al, 2000)

Η Γρανάδα γνώρισε θεαματική ανάπτυξη κατά τον τελευταίο αιώνα. Στο πρώτο μέρος αυτής της μελέτης, εξετάζεται μια μακρά χρονοσειρά ωριαίων δεδομένων θερμοκρασίας ενός σταθμού στην πόλη που καταδεικνύει την επίδραση της αστικής ανάπτυξης. Συγκρίθηκαν τόσο οι αγροτικές όσο και οι αστικές θερμοκρασίες, για την εξαγωγή συμπερασμάτων διακυμάνσεων σε μικρή κλίμακα χρόνου. Δεύτερον, γίνεται μια στατιστική ανάλυση των διαφορών στη θερμοκρασία μεταξύ μίας από τις θερμότερες ζώνες της πόλης και ενός σταθμού στην ύπαιθρο, για την απόκτηση της έντασης της θερμικής νησίδας και τη χρονική κατανομή τους.

Προέκυψε ότι οι μέγιστες διαφορές συμβαίνουν κατά τους χειμερινούς μήνες. Είναι πάντα μεγαλύτερες από 3°C, και μερικές φορές φθάνουν σε τιμές μεγαλύτερες από 7°C. Από την άλλη πλευρά, οι ελάχιστες διαφορές είναι μεγαλύτερες το φθινόπωρο και χαμηλότερες το καλοκαίρι. Επίσης, σημαντικός παράγοντας που οδηγεί σε μεγάλη ένταση αστικής νησίδας είναι οι καθαροί ουρανοί και οι ασθενείς άνεμοι. Κανένα από τα ποτάμια που διασχίζουν την πόλη δεν είναι αρκετά μεγάλο για να έχει οποιαδήποτε επίδραση στη θερμοκρασία.

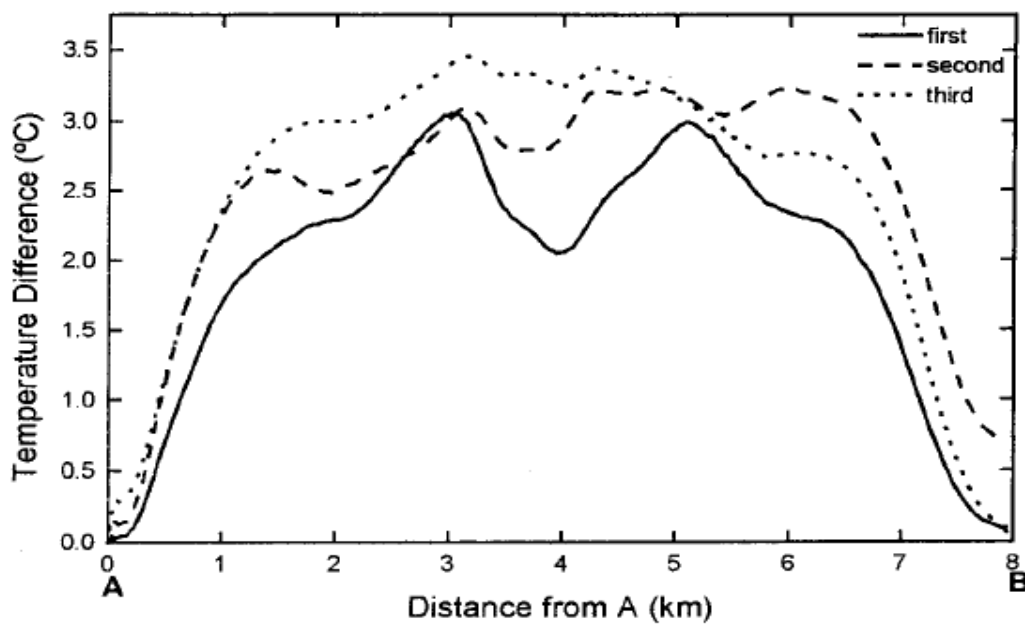
Η ανάπτυξη της πόλης έχει ως αποτέλεσμα μια μεγάλη αύξηση των ελάχιστων θερμοκρασιών. Η μέση θερμοκρασία της πόλης είναι πάντα μεγαλύτερη από τα προάστια. Αυτές οι διαφορές αυξάνονται κατά τη διάρκεια της νύχτας και συνθήκες καθαρού ουρανού και ασθενών ανέμων (CSLW), ενώ στις υπόλοιπες συνθήκες (NCSLW) μειώνονται οι διαφορές, όπως δείχνει η εικόνα 2.12. Κατά τη διάρκεια της ημέρας το αντίθετο φαινόμενο συμβαίνει μερικές φορές, δίνοντας αρνητικές διαφορές στις θερμοκρασίες.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα τους με εκείνα που λαμβάνονται από άλλους συγγραφείς, οι Montávez et al, (2000) κατέληξαν ότι είναι πιθανό τα διαφορετικά αποτελέσματα να προκύπτουν από τη διαφορετική τοποθέτηση των αστικών και αγροτικών σταθμών.



Εικόνα 2.12: Διαφορές θερμοκρασίας για CSLW και NCSLW καταστάσεις, για το Φεβρουάριο του 1995 (Πηγή: Montávez et al, 2000).

Επίσης, υψηλότερη ένταση ΑΘΝ εμφανίζεται σε περιοχές με μεγάλη τιμή του λόγου H/W όπου H είναι το ύψος των κτιρίων και το W είναι το πλάτος του δρόμου, για H μεγαλύτερο από περίπου δύο ορόφους.



Εικόνα 2.13: Διατομή αστικής θερμικής νησίδας της Γρανάδας σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές το ίδιο βράδυ. Τα A και B είναι το αρχικό και το τελικό σημείο σε οικόπεδα και οι τιμές στον οριζόντιο άξονα δείχνουν απόσταση σε km από το σημείο A. Η σχετική ελάχιστη θερμοκρασία, η οποία εξαφανίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας αντιστοιχεί σε ένα πάρκο που βρίσκεται μέσα στην πόλη (Πηγή: Montávez et al, 2000).

Μπολόνια, Ιταλία (Sajani et al, 2008)

Οι Sajani et al (2008) ανέλυσαν ωριαία καλοκαιρινά δεδομένα θερμοκρασίας για τη μελέτη της ΑΘΝ που αναπτύσσεται στη Μπολόνια της Ιταλίας και διαπίστωσε ότι οι νυκτερινές τιμές της έντασης ΑΘΝ ήταν περίπου 7°C.

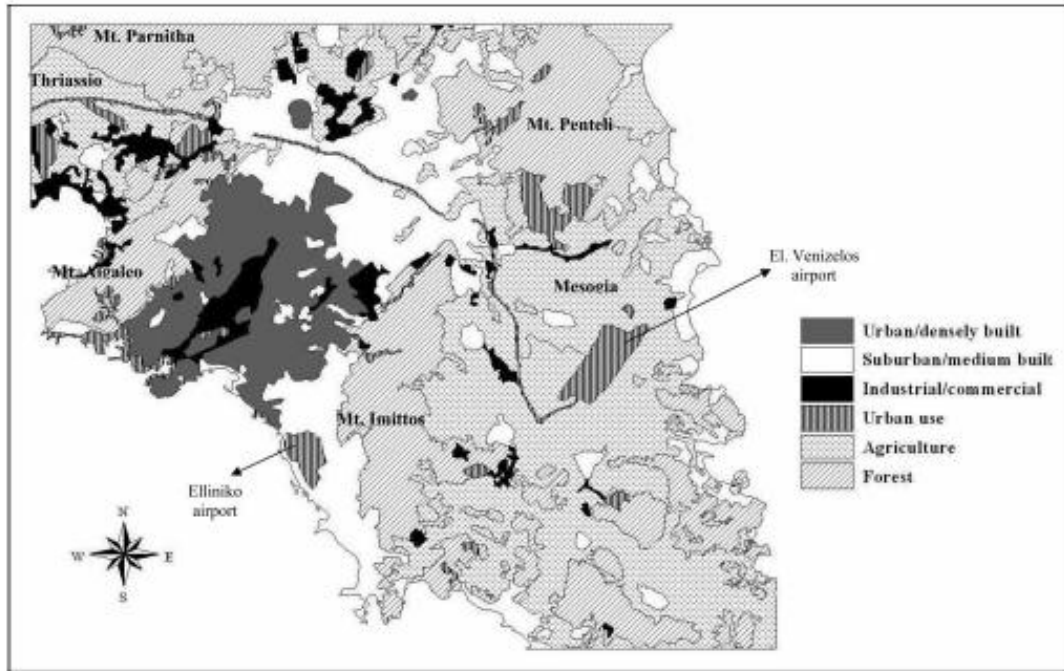
2.4.4 Ελλάδα

Οι Metaxas et al. (1991) βρήκαν ότι η ελάχιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας τη δεκαετία του 1970 στην Ανατολική Μεσόγειο ήταν χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα σε Μασσαλία, Περπινιάν, Κάιρο και Αθήνα, εξαιτίας παραγόντων αστικοποίησης. Ωστόσο, τα δεδομένα της Ιερουσαλήμ δείχνουν μείωση στη θερμοκρασία αέρα, παρά την αστικοποίηση της περιοχής. Αυτά τα αποτελέσματα φανερώνουν τη δυσκολία να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση των παραγόντων αστικοποίησης, ιδίως στις παράκτιες μεγαλουπόλεις, όπου η θαλάσσια αύρα (και άλλες τοπικές ροές) συμβάλλει σημαντικά στην παρατηρούμενη θερμοκρασία.

Συνδυαστικές μελέτες για όλη την Ελλάδα:

1) Stathoroulou και Cartalis (2007)

Σε αυτή τη μελέτη, το θερμικό περιβάλλον των μεγάλων πόλεων στην Ελλάδα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Βόλος και Ηράκλειο), εξετάζεται με τη χρήση δορυφορικών εικόνων που παρέχονται από τον Landsat Enhanced Thematic Mapper, σε σχέση με τη βάση δεδομένων για κάλυψη γης Corine (εικόνα 2.14), τα οποία συνδυάστηκαν σε ένα περιβάλλον GIS. Όλες αυτές οι πόλεις είναι περιφερειακές πρωτεύουσες και έχουν λιμάνια μεγάλου όγκου συναλλαγών. Προηγούμενες μελέτες με χρήση δορυφορικών (Stathoroulou et al, 2004) ή στοιχεία του εδάφους (Santamouris et al, 2001· Livada et al, 2002· Mihalakakou et al, 2004) έχουν δείξει ότι η αστική θερμική νησίδα των πόλεων είναι εμφανής και συγκρίσιμης έντασης. Η ένταση της νυκτερινής ΑΘΝ μπορεί να φτάσει μέχρι και 8°C για τις πόλεις της Θεσσαλονίκης και του Ηρακλείου και μέχρι 7°C για τις πόλεις της Πάτρας και του Βόλου, ενώ για την κεντρική περιοχή της Αθήνας μπορεί να αυξηθεί έως 5°C.

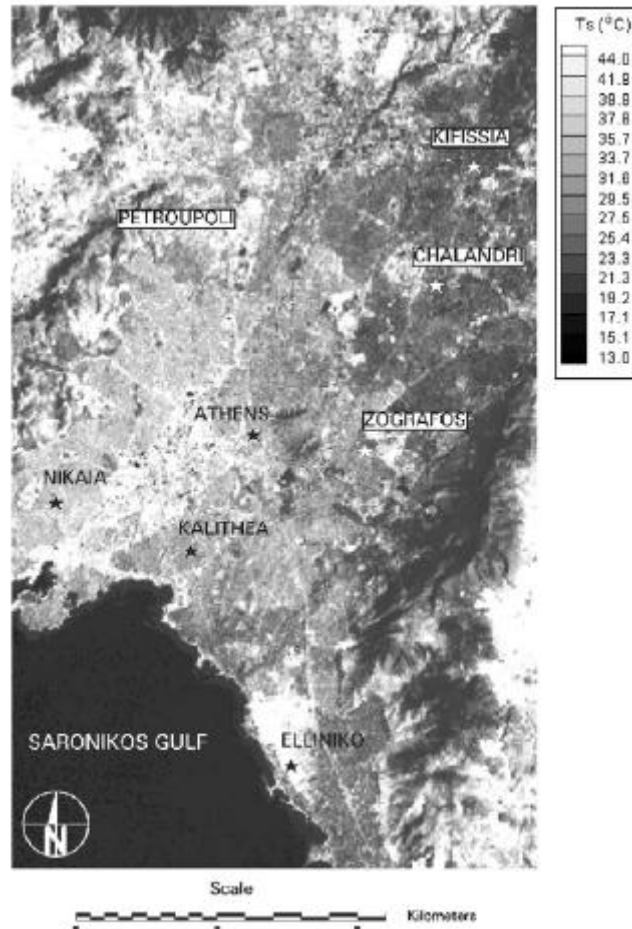


Εικόνα 2.14: Ο χάρτης Corine για την περίπτωση της Αθήνας (Πηγή: Stathoroulou και Cartalis, 2007).

Αποτελέσματα της εκτιμώμενης ημερήσιας έντασης ΑΘΝ για την πόλη της Αθήνα στις 20 Μαΐου 2000 δείχνουν ότι η κεντρική αστική περιοχή είναι 3.3 °C θερμότερη από τις αγροτικές περιοχές, ενώ οι προαστιακές περιοχές είναι περίπου 2.3°C θερμότερες. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι συγκεκριμένες αστικές περιοχές είναι ‘hot spots’ της πόλης, καθώς φαίνονται να είναι 1.9°C θερμότερες από τις αστικές περιοχές και 5.2°C θερμότερες από τις γύρω αγροτικές περιοχές. Αυτό μπορεί να αποδοθεί :

1. στην αυξημένη αναλογία των επιφανειών που καλύπτονται με άσφαλτο και σκυρόδεμα
2. στην ηλιακή θέρμανση των ανοιχτών χώρων και εδάφους που συνδέονται με ορυχεία, χωματερές, καθώς και με εργοτάξια για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004.

Η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας στην εικόνα 2.15 δείχνει ότι τα νοτιοδυτικά προάστια όπως Πετρούπολη, Νίκαια, Καλλιθέα κλπ. έχουν υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από τα βορειοανατολικά προάστια, όπως Κηφισιά, Χαλάνδρι, Ζωγράφου, κλπ. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στα πρώτα προάστια η βλάστηση και η πυκνότητα σπιτιών είναι πολύ χαμηλή. Τέλος, υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες ανιχνεύονται επίσης στο νότιο- ανατολικό άκρο της λεκάνης, όπου βρίσκεται το αεροδρόμιο του Ελληνικού, λόγω της ηλιακής θέρμανσης από τις εκτεταμένες τσιμεντένιες επιφάνειες που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου.



Εικόνα 2.15: Οπτική επιθεώρηση της χωρικής κατανομής της Ts για το λεκανοπέδιο (Πηγή: Stathoroulou και Cartalis, 2007).

Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, ένταση ΑΘΝ της τάξεως των 2.7°C εκτιμάται μεταξύ του κεντρικού τμήματος και των γύρω αγροτικών περιοχών για την ημέρα της μελέτης (30/5/2001). Προαστιακές περιοχές φαίνεται να έχουν 1.2°C χαμηλότερη θερμοκρασία από τις κεντρικές αστικές περιοχές και 1.5°C θερμότερη από τις γύρω αγροτικές περιοχές. Η Θεσσαλονίκη είναι ένα κεντρικό λιμάνι και η αστική δομή της έχει αναπτυχθεί έτσι ώστε να υποβοηθά τη λειτουργία του λιμανιού. Για το λόγο αυτό, το κύριο οδικό δίκτυο και το εμπορικό κέντρο βρίσκονται κατά μήκος της παραλιακής ζώνης της πόλης. Η θερμική εικόνα της φαίνεται να ακολουθεί τη φυσική διάταξη της πόλης. Θερμότερες περιοχές εντοπίζονται κοντά στην ακτή και σχετίζονται με αστικές, πυκνοδομημένες αστικές περιοχές, ενώ ψυχρότερες περιοχές που συσχετίζονται με τα πιο πράσινα προάστια της Σταυρούπολης, Τριανδρίας και Πυλαίας, στην περιφερική ζώνη της πόλης.

Στην Πάτρα, μια πρωινή ένταση ΑΘΝ της τάξης των 3°C υπολογίζεται μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών, ενώ λιγότερο δομημένες περιοχές είναι 1.7°C πιο ψυχρές από τις κεντρικές αστικές περιοχές.

Στην πόλη του Βόλου, η ένταση της ΑΘΝ μέσα στη μέρα είναι μικρότερη, καθώς οι αστικοποιημένες περιοχές είναι $0.4\text{--}0.8^{\circ}\text{C}$ θερμότερες από τις αγροτικές περιοχές.

Στο Ηράκλειο, τα αποτελέσματα της εκτιμώμενης ημερήσιας έντασης ΑΘΝ για τις 9 Ιουλίου 2000 δείχνουν ότι αστικές / πυκνοδομημένες περιοχές, που βρίσκονται στην περιοχή του λιμανιού, έχουν υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες, περίπου 40°C, που είναι 1.9°C θερμότερες από τις γύρω αγροτικές περιοχές.

2) *Stathopoulou et al, 2004*

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στη βάση δεδομένων της κάλυψης γης για την Ελλάδα (CORINE). Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται στη βραδινή χρονοσειρά από εικόνες NOAA/ AVHRR προκειμένου να παραχθούν χάρτες θερμοκρασίας για τις πόλεις της Θεσσαλονίκης, Πάτρας, Βόλου και Ηρακλείου, που αποτελούν τις σημαντικότερες πόλεις με λιμάνια στην Ελλάδα. Τα αποτελέσματα δείχνουν την παρουσία αστικής θερμικής νησίδας (ΑΘΝ) σε όλες τις περιπτώσεις, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να ανιχνεύονται κατά μήκος της παράκτιας ζώνης που προκύπτει από τον πυκνό αστικό ιστό και οδικό δίκτυο, καθώς και από την έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα. Η γνώση του τύπου κάλυψης γης είναι πολύ σημαντική για τον προσδιορισμό της επιφανειακής εκπομπής, η οποία έχει άμεση σχέση με την επιφανειακή θερμοκρασία. Ο συντελεστής συσχέτισης r μεταξύ δορυφορικών και επί τόπου μετρήσεων θερμοκρασίας εκτιμήθηκε σε 0.84.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται στις εξής πόλεις: Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Βόλο και Ηράκλειο, οι οποίες είναι όλες πυκνοκατοικημένες και έχουν βιώσει μια δραματική ανάπτυξη του αστικού ιστού και την επακόλουθη αύξηση των εμπορικών και μεταφορικών δραστηριοτήτων τις τελευταίες δεκαετίες. Ωστόσο, σχεδόν καμία πόλη δεν έχει επαρκή αριθμό μετεωρολογικών σταθμών εδάφους στον αστικό ιστό, ώστε να παραχθούν οι απαραίτητες μετρήσεις της κατανομής των θερμοκρασιών, ώστε να μελετηθεί η επίδραση θερμικής νησίδας.

Η ένταση του ΑΘΝ είναι διαφορετική για τις τέσσερις παράκτιες πόλεις, καθώς εξαρτάται από το μέγεθος, την πυκνότητα του πληθυσμού, καθώς και τις δραστηριότητες που είναι συγκεντρωμένες στην πόλη. Έτσι, η ένταση του ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να φτάσει μέχρι και 8°C για τις πόλεις της Θεσσαλονίκης και του Ηρακλείου και μέχρι 7°C για τις πόλεις της Πάτρας και του Βόλου. Επίσης, χαμηλές θερμοκρασίες ανιχνεύθηκαν σε περιοχές με βλάστηση, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές του δείκτη NDVI, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες σε αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές του δείκτη NDVI.

Στη Θεσσαλονίκη, αποδείχτηκε ότι οι θερμότερες περιοχές συσχετίζονται με πυκνοδομημένες περιοχές π.χ. Δήμος Αμπελοκήπων, Νεάπολης, Καλαμαριάς, Συκιές και Άγιος Παύλος, ενώ οι ψυχρότερες περιοχές συσχετίζονται με τους πιο απομακρυσμένους από τη θάλασσα δήμους του Πανοράματος, Νέας Ευκαρπίας, Πολίχνης και Εύοσμος, οι οποίοι βρίσκονται σε λοφώδη έκταση στην περιφερειακή ζώνη της πόλης.

Στην Πάτρα, το κέντρο της πόλης προέκυψε 2.5- 3°C θερμότερο από τα προάστια κατά την περίοδο μελέτης.

Η θερμότερη περιοχή στο Βόλο προέκυψε η παραλιακή ζώνη της πόλης κατά μήκος του λιμανιού και προς τα νοτιο-ανατολικά προς την κοινότητα της Αγριάς, που βρίσκεται στη νότια πλαγιά του Πηλίου. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι βιομηχανικές ζώνες της πόλης είναι 'hot spots' και είναι 1- 1.5⁰C θερμότερες από τη γύρω περιοχή.

Η παραλιακή ζώνη και το αεροδρόμιο είναι οι θερμότερες περιοχές στο Ηράκλειο.

Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα και λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση ένταση της θερμικής νησίδας για το κέντρο της Αθήνας είναι κοντά στους 10⁰C. (Santamouris et al, 2001), συνάγεται το συμπέρασμα ότι σε όλες τις μελέτες προκύπτει ξεκάθαρα το φαινόμενο ΑΘΝ.

Αθήνα

Η Αθήνα χαρακτηρίζεται από μια ισχυρή θερμική νησίδα. Αυτό υποστηρίζεται από αρκετές μελέτες που ερεύνησαν τη θερμική νησίδα της Αθήνας με βάση δεδομένα θερμοκρασίας αέρα από σταθερούς ή κινητούς μετεωρολογικούς σταθμούς (Cartalis et al 2001, Santamouris et al 2001, Livada et al 2002, Mihalakakou et al 2004). Για παράδειγμα, στη μελέτη των Santamouris et al (2001), διαπιστώθηκε ότι η θερμική νησίδα στην Αθήνα αναπτύσσεται τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα. Ειδικά το καλοκαίρι, η αστική θερμική νησίδα μπορεί να φθάσει έως και 10⁰C για τις κεντρικές αστικές περιοχές, ενώ το βράδυ έως και 5⁰C.

Πιο συγκεκριμένα:

- 1) Οι Mihalakakou et al (2004) χρησιμοποίησαν προσομοίωση με νευρωνικά δίκτυα για την ανάλυση και ποσοτικοποίηση της αστικής θερμικής νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, αναλύοντας ωριαία δεδομένα θερμοκρασίας σε είκοσι τρεις σταθμούς. Για την εκτίμηση της έντασης του ΑΘΝ στην ευρύτερη αστική περιοχή εισήχθησαν σημαντικοί κλιματολογικοί παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η ημερήσια και η νυχτερινή θερμοκρασία του αέρα. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι οι τιμές της έντασης της θερμικής νησίδας κατά την διάρκεια της ημέρας για τους 15 κεντρικούς σταθμούς ήταν: 5.4⁰C για το καλοκαίρι, 3.2⁰C για το φθινόπωρο, 2.1⁰C για το χειμώνα, και 3.1⁰C για την άνοιξη.
- 2) Οι Stathopoulou et al, 2009 χρησιμοποίησαν χάρτες ημερήσιας και νυχτερινής θερμοκρασία της επιφάνειας της γης (LST) που απεικονίζουν τις χωρικές μεταβολές της θερμοκρασίας σε όλη την πόλη. Από αυτούς, περιοχές ψύξης και θέρμανσης εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν. Χρησιμοποίησαν δύο θερμικές δορυφορικές εικόνες: 11 Οκτωβρίου 2003 τις νυκτερινές ώρες και 12 Οκτωβρίου 2003 τη διάρκεια της ημέρας. Οι δύο εικόνες επιλέχθηκαν για το έτος 2003 γιατί έχει χαρακτηριστεί από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών ως ένα από τα έξι θερμότερα έτη της Αθήνας και αντιστοιχούν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες χωρίς σύννεφα.

Στη διάρκεια της ημέρας, αποκαλύπτεται η ανάπτυξη «αρνητικής» αστικής θερμικής νησίδας, όπου αστικές επιφάνειες είναι σχετικά πιο δροσερές από τις γύρω αγροτικές επιφάνειες. Ως εκ τούτου, αστικές/πυκνοδομημένες και προαστιακές/λιγότερο πυκνοδομημένες επιφάνειες βρέθηκαν να είναι περίπου 1°C δροσερότερες από αγροτικές επιφάνειες, που οδηγεί σε μια αρνητική αστική νησίδα με μέση τιμή 1°C. Επιπλέον, βιομηχανικές/εμπορικές επιφάνειες, βρέθηκαν να είναι περίπου 2.7°C θερμότερες από τις κατοικημένες περιοχές.

Ωστόσο, κατά τις νυκτερινές ώρες, οι αστικές / πυκνά δομημένες επιφάνειες της Αθήνας ευρέθη να είναι 4.3°C θερμότερες από τις γύρω αγροτικές επιφάνειες, λόγω της υψηλότερης θερμικής ακτινοβολίας των επιφανειών με βλάστηση σε σύγκριση με επιφάνειες σκυροδέματος. Αξιοσημείωτες είναι οι πιο δροσερές θερμοκρασίες στην επιφάνεια του Ελληνικού στο παλαιό αεροδρόμιο σε σύγκριση με τις γύρω αστικές επιφάνειες. Δεδομένου ότι είναι μια ανοικτή επιφάνεια, καλυπτόμενη κυρίως από γυμνό έδαφος και σκυρόδεμα, χαρακτηρίζεται από θερμική αδράνεια. Έτσι, αυτή η επιφάνεια εμφανίζεται να είναι πιο ζεστή και πιο δροσερή από την επιφάνεια στις γύρω αστικές περιοχές στη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, αντίστοιχα.

- 3) Οι Kassomenos και Katsoulis (2006) ανέλυσαν στοιχεία που καλύπτουν την περίοδο 1990- 2001. Προέκυψε ότι ο σταθμός στη Ν. Φιλαδέλφεια είναι ο πιο αντιπροσωπευτικός για τις αστικές συνθήκες, ενώ στα Σπάτα ο πιο αντιπροσωπευτικός για αγροτικές συνθήκες. Εντύπωση προκαλεί ότι στο 70% των ημερών, οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες στην Ελευσίνα σε σύγκριση με τη Νέα Φιλαδέλφεια. Αυτό δείχνει ότι η περιοχή της Ελευσίνας είναι θερμότερη από το λεκανοπέδιο Αττικής, το οποίο εξηγείται καθώς η γύρω περιοχή συγκεντρώνει σχεδόν το 40% της βιομηχανικής δραστηριότητας της χώρας.

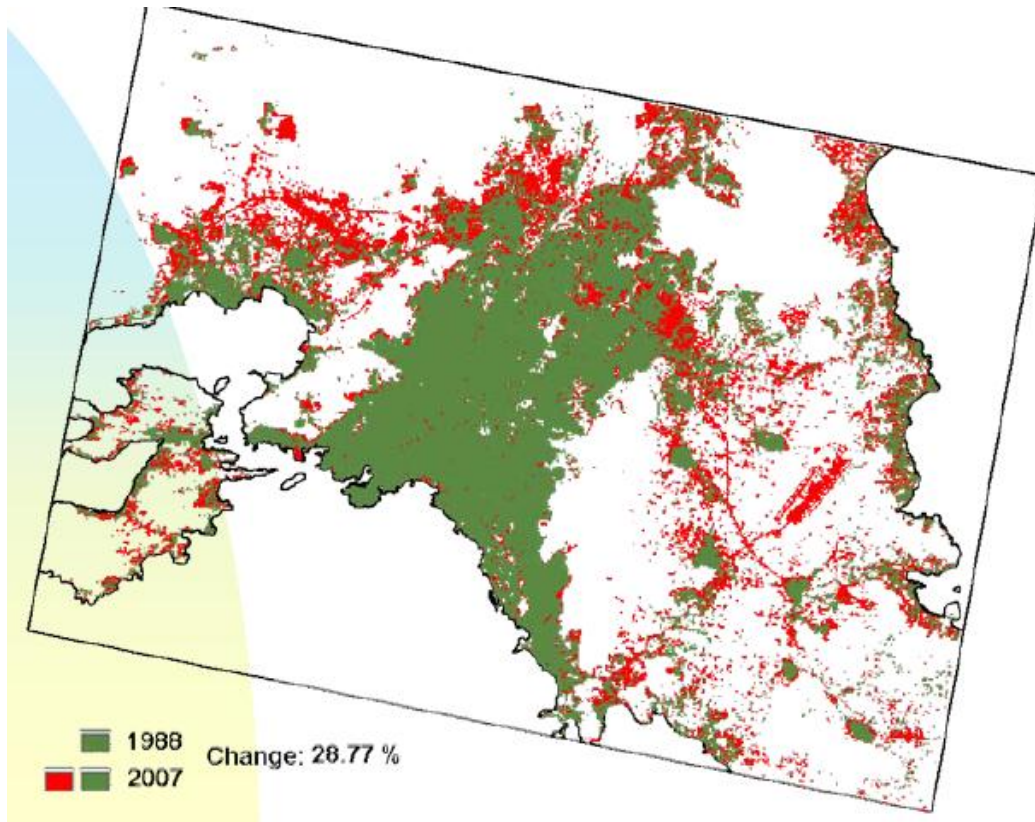
Πίνακας 2.4: Οι κλάσεις αστικής θερμικής νησίδας, με βάση τις διαφορές θερμοκρασίας και το ποσοστό εμφάνισης για κάθε κατηγορία (Πηγή: Kassomenos και Katsoulis, 2006).

UHI class	ΔT_{u-r}	Percentage of occurrence (%)
1	<-1	15.2
2	(-1,0]	17.4
3	(0,1]	11.2
4	(1,2]	11.5
5	(2,3]	13
6	(3,4]	12.7
7	>4	19

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.4, στα 2/3 των ημερών είναι εμφανής η ύπαρξη θερμικής νησίδας, ενώ σχεδόν στο 20% των ημερών, η ένταση της θερμικής νησίδας είναι μεγαλύτερη από 4°C, ενώ σχεδόν το 1/3 των ημερών, η ένταση της θερμικής νησίδας είναι μάλλον υψηλή (πάνω από 3°C). Επίσης, αξιοσημείωτο είναι πως όταν η ταχύτητα του ανέμου ήταν χαμηλότερη από 4m/s, η ΔT_{u-r} ήταν

θετική. Αντιθέτως, όταν η ταχύτητα του ανέμου ήταν μεγαλύτερη από 6m/s, η ΔT_{u-r} ήταν αρνητική. Οι άνεμοι, γενικά, είναι ασθενέστεροι στην πόλη από ότι στην αγροτική περιοχή σε συνθήκες έντονης αστικής θερμικής νησίδας, ενώ το αντίθετο εμφανίζεται σε αρνητικές συνθήκες ΑΘΝ.

Η μεγάλη ένταση θερμικής νησίδας, συνδέεται με χαμηλή πίεση πάνω από το Αιγαίο και αντικυκλωνικές συνθήκες στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.



Εικόνα 2.16: Εξάπλωση αστικού ιστού στην Αττική (Πηγή: Πετράκης, 2007)

- 4) Ο Santamouris (2001) υπολόγισε πολύ μεγαλύτερους βαθμούς ψύξης στη Δυτική Αθήνα από ότι στην κεντρική. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αυξημένη πυκνότητα πληθυσμού στη Δυτική Αθήνα, έλλειψη πρασίνου και άλλων χώρων ψύξης, υψηλή συγκέντρωση βιομηχανιών και κίνησης στους δρόμους. Σημαντικό, επίσης, είναι ότι η ταχύτητα του αέρα μέσα στον αστικό ιστό σπάνια υπερβαίνει το 1 m/s, ανεξάρτητα από την ταχύτητα του αέρα πάνω από τα κτήρια.

Βόλος (Papanastasiou και Kittas, 2011)

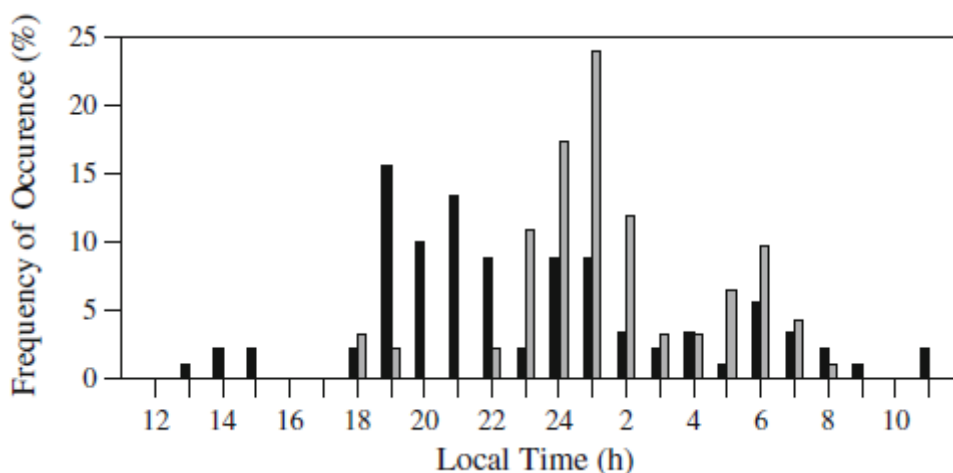
Ο Βόλος είναι μια μεσαίου μεγέθους πόλη που κατοικείται από 118.564 ανθρώπους. Τα δεδομένα ελήφθησαν Δεκέμβρη 2009- Φλεβάρη 2010 και το καλοκαίρι του 2010. Οι σταθμοί βρίσκονται στο κέντρο της πόλης και σε ένα προάστιο 3.1 km μακριά.

Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο κέντρο της πόλης και στα προάστια προέκυψε 3.4°C και 3.1°C κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού, αντίστοιχα, ενώ και τις δύο εποχές, η μέση μέγιστη ένταση ΑΘΝ είναι 2.0°C (πίνακας

2.5). Το χειμώνα στο Βόλο, η ΑΘΝ αρχίζει να αναπτύσσεται μετά το ηλιοβασίλεμα και φθάνει τη μέγιστη ένταση μέχρι τις 22:00. Ειδικά το καλοκαίρι, η ΑΘΝ αρχίζει να αναπτύσσεται περίπου 1 ώρα μετά το ηλιοβασίλεμα και φτάνει τη μέγιστη ένταση της μέχρι τις 02:00 στο 66% των ημερών που εξετάστηκαν (εικόνα 2.17).

Πίνακας 2.5: Περιγραφικά στατιστικά (Πηγή: Papanastasiou και Kittas, 2011)

	Maximum value		Minimum value		Average value	
	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer
UHI intensity (°C)	3.4	3.1	0.8	1.0	2.0	2.0



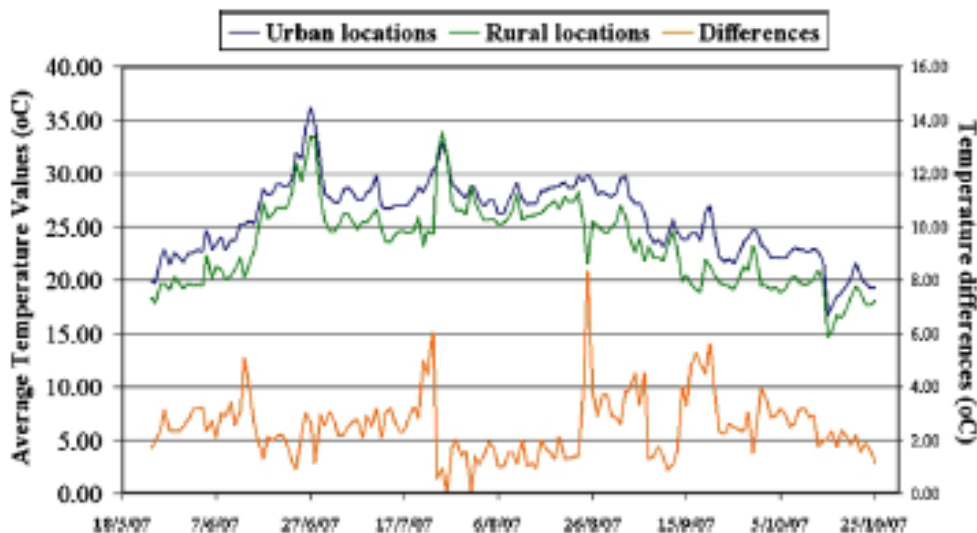
Εικόνα 2.17: Η ώρα που παρατηρήθηκε η μέγιστη ΑΘΝ μέσα στη μέρα, με μαύρο για το χειμώνα, και γκρι για το καλοκαίρι (Πηγή: Papanastasiou και Kittas, 2011)

Επιπλέον, αυτή η μελέτη έδειξε ότι η μέγιστη ένταση ΑΘΝ παρουσιάζει έναν εβδομαδιαίο κύκλο που θα μπορούσε να αποδοθεί στον εβδομαδιαίο κύκλο δραστηριοτήτων της πόλης. Έτσι, οι χαμηλότερες τιμές ΑΘΝ παρατηρήθηκαν τις Δευτέρες, Τετάρτες, και το Σάββατο, όταν τα καταστήματα είναι κλειστά το απόγευμα. Ωστόσο, τα επίπεδα έντασης κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων το καλοκαίρι δεν είναι σημαντικά μειωμένα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα καθημερινά επίπεδα, καθώς ο Βόλος είναι ένας δημοφιλής προορισμός για το καλοκαίρι.

Η μελέτη αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί ερευνήθηκε πιθανή ύπαρξη αστικής νησίδας στο Βόλο, που δεν είναι μεγαλούπολη, και επιβεβαιώθηκε ότι η ΑΘΝ αναπτύσσεται, και σε μεσαίου μεγέθους πόλεις.

Χανιά (Kolokotsa et al, 2009)

Τα Χανιά κατοικούνται από 53.000 κατοίκους, αλλά είναι η τρίτη πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή στην Ελλάδα μετά από Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Πάτρα. Εννέα αστικοί και τρεις αγροτικοί μετεωρολογικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται για τη μελέτη αυτή. Οι μέσες τιμές για κάθε κατηγορία σταθμού φαίνονται στην εικόνα 2.18. Οι μετρήσεις συλλέχθηκαν ανά 10 λεπτά από Μάιο έως Οκτώβριο 2007.



Εικόνα 2.18: Οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες όλων των αστικών και των αγροτικών τοποθεσιών (Πηγή: Kolokotsa et al, 2009).

Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, όπου η θερμοκρασία είναι υψηλή, η ΑΘΝ παίρνει τη μέγιστη τιμή της, περίπου 8°C. Η μέση διαφορά για το σύνολο της περιόδου είναι σχεδόν 2.6°C. Η ένταση ΑΘΝ αυξάνεται μετά τον Ιούνιο και μειώνεται μετά τον Σεπτέμβριο. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών είναι λιγότερη από 1°C τον Ιούνιο, περίπου 3 °C μέσα σε Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο, και 2°C τον Οκτώβριο

Και εδώ, παρά το γεγονός ότι τα Χανιά είναι μια παράκτια μεσαίου μεγέθους πόλη, η ένταση ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι εμφανής.

Γενικότερα, οι Kioutsioukis et al (2010) ανέλυσαν δεδομένα θερμοκρασίας που καταγράφηκαν από 23 επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς που καλύπτουν την Ελλάδα και διαπίστωσαν ότι μεταξύ του 1955 και του 2002, σχεδόν το 74% των σταθμών έδειξαν μια σημαντική αύξηση στην ετήσια εκδήλωση θερμών νυχτών.

2.4.5 Νότιο Ημισφαίριο

Δυστυχώς, οι μελέτες για την αστική θερμική νησίδα στο Νότιο Ημισφαίριο είναι μέχρι στιγμής πολύ περιορισμένες. Ωστόσο, και εκεί υπάρχουν μελέτες που καταδεικνύουν την επιρροή της αστικοποίησης. Για παράδειγμα, οι Coughlan et al., 1990, βρήκαν σημαντική επίδραση της αστικοποίησης στα δεδομένα θερμοκρασίας μεγάλων πόλεων της Αυστραλίας. Επίσης, οι Hughes και Balling (1996), κατέληξαν ότι ένα μεγάλο μέρος της αύξησης θερμοκρασίας στη Νότια Αφρική οφειλόταν σε αστικούς παράγοντες (τουλάχιστον για την περίοδο 1960- 1990).

2.5 Σύγκριση

Πίνακας 2.6: Συγκεντρωτικός πίνακας για την ένταση της θερμικής νησίδας που παρατηρήθηκε σε όσες πόλεις έχουν ερευνηθεί.

Πόλη	Χώρα	Πληθυσμός την εποχή μελέτης	Ένταση	Σχόλιο	Πηγή
Ασία					
Τόκιο	Ιαπωνία	12.017.000	8 °C	βράδια Ιουλίου	Ichinose et al., 1999
Σεούλ	Ν. Κορέα	9.888.000	4.5 °C	βράδια Αυγούστου	Kim και Baik , 2002
Μπανγκόκ	Ταϊλάνδη	6.100.000	5 °C	βράδια Φεβρουαρίου	Boonjawat et al., 2000
Πεκίνο	Κίνα	13.333.000	10 °C		Tran et al., 2006
Πιονγιάνγκ	Β. Κορέα	3.255.000	4 °C		Tran et al., 2006
Σαγκάη	Κίνα	23.710.000	7 °C		Li et al., 2012
Σιγκαπούρη		4.401.000	4 °C	μέγιστο σε βιομηχανικές περιοχές	Wong και Yu, 2005
Ταϊπέι	Ταϊβάν	2.352.000	1-2° C		Lin et al., 2008
Πούνε	Ινδία	1.099.000	4-6 °C	Φεβρουάριο	Daniel and Krishnamurty, 1973
Αμερική					
Μπουένος Άιρες	Αργεντινή	6.408.000	3.0 °C	2 °C για ΣΚ	Figuerola και Mazzeo, 1998
Νέα Υόρκη	ΗΠΑ	19.027.000	4 °C	1 °C λιγότερο χειμώνα-άνοιξη	Gedzelman et al., 2003
Νιου Τζέρσεϊ	ΗΠΑ	8.698.000	1.1-8.8 °C		Rosenzweig et al., 2005
Χιούστον, Τέξας	ΗΠΑ	2.009.000	1 °C		Streutker, 2003
Ευρώπη					
Ρέκυιαβικ	Ισλανδία	110.000	1-5.6 °C		Steinecke, 1999
Γκέτεμποργκ	Σουηδία	433.000	2.5 °C		Eliasson και Holmer, 1990
Λοτζ	Πολωνία	789.000	3-6 °C	Ιούνιο-Αύγουστο	Klysik και Fortuniak, 1999
Τελ- Αβίβ	Ισραήλ	1.208.000	6- 10 °C	3-5 °C στο επίπεδο στέγης	Saaroni et al., 2000
Αβέιρο	Πορτογαλία	78.000	7.5 °C		Pinho και Manso Orgaz, 2000
Γρανάδα	Ισπανία	89.000	3- 7 °C	το χειμώνα	Montávez et al ,2000
Μπολόνια	Ιταλία	374.000	7 °C	το καλοκαίρι	Sajani et al ,2008
Ελλάδα					
Θεσσαλονίκη		333.000	2.7 °C	πιο ζεστά κοντά στην ακτή (εμπορικό κέντρο)	Stathopoulou και Cartalis, 2007
		375.000	8 °C		Stathopoulou et al., 2004
Ηράκλειο		164.000	1.9 °C	Ιούλιο	Stathopoulou και Cartalis, 2007
		159.000	8 °C	παραλιακή ζώνη και αεροδρόμιο τα θερμότερα	Stathopoulou et al., 2004
Πάτρα		193.000	3 °C	Μάιο	Stathopoulou και Cartalis, 2007
		104.000	7 °C	εικόνες NOAA/ AVHRR	Stathopoulou et al., 2004
Βόλος		135.000	0.4- 0.8 °C	δουροφορικές εικόνες, Corine	Stathopoulou και Cartalis, 2007
		131.000	7 °C	θερμότερη η παραλιακή ζώνη κατά μήκος λιμανιού	Stathopoulou et al., 2004
		119.000	3.4/ 3.1 °C	χειμώνα- καλοκαίρι, εβδομαδιαίος κύκλος	Papanastasiou και Kittas, 2011
Αθήνα		3.527.000	3.3 °C	νοτιοδυτικά προάστια πιο ζεστά από βορειοανατολικά	Stathopoulou και Cartalis, 2007
		3.534.000	10 °C		Santamouris et al., 2001
		3.530.000	2.1-5.4 °C	χειμώνα-καλοκαίρι, νευρωνικά δίκτυα	Mihalakakou et al., 2004
		3.522.000	-1	διάρκεια της ημέρας	Stathopoulou et al., 2009
		3.521.000	4.3 °C	πιο δροσερό το Ελληνικό	Stathopoulou et al., 2010
		3.526.000	4 °C	Ελευσίνα θερμότερη από λεκανοπέδιο Αττικής	Kassomenos και Katsoulis, 2006
Χανιά		53.000	3 °C	αυξάνεται μετά τον Ιούνιο, μειώνεται από Σεπτέμβριο	Kolokotsa et al., 2009

2.6 Τρόποι Αντιμετώπισης

1) Αύξηση της ανακλαστικότητας

Ο Taha, 1997 μέσα από αριθμητικές προσομοιώσεις και μετρήσεις πεδίου δείχνουν ότι η αύξηση του συντελεστή albedo μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία κοντά στο έδαφος. Ο συντελεστής λευκαύγειας κυμαίνεται από 0.10 έως 0.20, αλλά σε ορισμένες πόλεις μπορεί να είναι και μεγαλύτερος. Οι πόλεις της Βόρειας Αφρικής αποτελούν καλά παραδείγματα υψηλής ανακλαστικότητας (λευκαύγειας από 0.30 έως 0.45), ενώ οι περισσότερες των ΗΠΑ και της Ευρώπης έχουν χαμηλότερη λευκαύγεια (0.15- 0.20). Για παράδειγμα, στο Λος Άντζελες η υψηλότερη τιμή ανακλαστικότητας στην εν λόγω περιοχή ήταν 0.20 (κοντά στο κέντρο του Λος Άντζελες). Επίσης, ένα μεγάλο μέρος της αστικοποιημένης λεκάνης είχε albedo μεταξύ 0.12 και 0.16 και ότι τα περίχωρα της πόλης είχαν μεγαλύτερη τιμή albedo λόγω της πιο εκτεταμένης βλάστησης.

Χρησιμοποιώντας υλικά υψηλής ανακλαστικότητας μειώνεται η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται μέσω των κτιρίων και κρατά δροσερές τις επιφάνειες τους. Μάλιστα, η θερμοκρασία του αέρα το απόγευμα του καλοκαιριού μπορεί να ελαττωθεί μέχρι 4°C με αλλαγή του albedo από 0.25 σε 0.40 (Taha, 1997).

Οι Saaroni et al, (2000) μελετώντας την περίπτωση του Τελ-Αβίβ έδειξαν μέσα από αποτελέσματα από μετεωρολογικές προσομοιώσεις ότι οι πόλεις μπορούν να μειώσουν την ένταση της θερμικής νησίδας απλά με την αύξηση της ανακλαστικότητας της στέγης και των δομικών υλικών και την αναδάσωση των αστικών περιοχών. Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι οι αυξήσεις στις αστικές τιμές albedo μπορεί να επιτύχουν μια μείωση έως και 2°C της θερμοκρασίας του αέρα. Με μεγάλες αυξήσεις albedo, η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να μειωθεί ως και 4 °C κάτω από ορισμένες συνθήκες. Αυξήσεις στη βλάστηση οδηγούν σε μείωση θερμοκρασίας κατά 2°C.

2) Αύξηση του πρασίνου

Είναι γνωστό ότι τροποποίηση της κάλυψης γης σε αστικές περιοχές μπορεί να προκαλέσει αύξηση στη θερμοκρασία κατά αρκετούς βαθμούς στο κέντρο από ότι στις γύρω αγροτικές περιοχές (Streutker, 2003). Οι πράσινες περιοχές στις πόλεις, έχουν θεωρηθεί ως πιθανό μέτρο για τον περιορισμό των αποτελεσμάτων της αστικής θερμικής νησίδας (ΑΘΝ). Τη νύχτα, η ενέργεια της εξερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας από μια πράσινη επιφάνεια τροφοδοτείται από τη θερμική ροή θερμότητας και τη λανθάνουσα ροή θερμότητας. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία γύρω από την πράσινη περιοχή είναι χαμηλότερη από ότι στο δομημένο περιβάλλον (Wong και Yu, 2005).

Οι Dimoudi και Nikolopoulou, (2003) μελέτησαν την επίδραση της βλάστησης στο μικροκλίμα όσον αφορά στη μείωση της θερμοκρασίας με σκοπό την άμβλυνση της αστικής θερμικής νησίδας που υφίστανται τα κέντρα των πόλεων. Το αποτέλεσμα ήταν εμφανές όχι μόνο στα όρια της πράσινης περιοχής, αλλά και πολύ μακριά από το

πάρκο, ειδικά επηρεάζοντας την υπήνεμη πλευρά του. Οπότε, η αύξηση της βλάστησης μπορεί να είναι αποτελεσματικός τρόπος για να αμβλυνηθεί η θερμική νησίδα και να επωφεληθούν τα αστικά κέντρα.

Ο Kawashima (1990/1991) εξέτασε τις επιπτώσεις της πυκνότητας βλάστησης στις θερμοκρασίες της επιφάνειας στις αστικές και ημιαστικές περιοχές του Τόκιο και παρατήρησε χαμηλότερη θερμοκρασία σε χώρους πρασίνου. Ο Gao (1993) διαπίστωσε ότι οι πράσινες περιοχές μειώνουν τη μέγιστη και μέση θερμοκρασία κατά 2°C. Επίσης, ο Gao (1993) διαπίστωσε ότι η βλάστηση μπορεί να μειώσει μέγιστες θερμοκρασίες στους δρόμους κατά 2°C, το οποίο συμφωνεί και με τα ευρήματα των Saaroni et al, 2000.

Οι Taha et al, (1991), ανέλυσαν και ποσοτικοποίησαν μικρομετεωρολογικές συνθήκες με και χωρίς αέρα κοντά σε ένα δένδρο στην Καλιφόρνια, για δύο εβδομάδες κατά την θερμή περίοδο τον Οκτώβριο του 1986. Κατέληξαν ότι η θερμοκρασία του αέρα κοντά στα δέντρα (όχι στη σκιά) ήταν 0.5- 1°C χαμηλότερη από ό, τι κοντά στα σπίτια. Στα πρώτα 5 m μετά από τα δένδρα, μειώθηκε η θερμοκρασία πάνω από 65%. Σε πρακτικό επίπεδο, αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να φυτευτεί εκτεταμένη βλάστηση για να επιτευχθεί σημαντική ψύξη: μία ή δύο σειρές δένδρων στην πλευρά των κτιρίων που χτυπάει ο αέρας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στην ψύξη. Η χαρακτηριστική απόσταση για τον άνεμο ήταν σχεδόν πάντα μεγαλύτερη από 5 φορές το ύψος των δέντρων. Αυτό λέει ότι είναι δεν είναι απαραίτητο να τοποθετηθούν τα δέντρα πολύ κοντά σε κτίρια προκειμένου να επωφεληθούν από το μικροκλίμα τους (Taha et al, 1991).

Τα δένδρα, επίσης, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το ενεργειακό ισοζύγιο, μέσω της εξατμισοδιαπνοής από τα φύλλα, της σκιάς από την ηλιακή ακτινοβολία και μπλοκάροντας τον αέρα. Αυτό αποδεικνύει ότι η επίδραση των δένδρων είναι εξίσου σημαντική με των κτιρίων στη μελέτη της θερμικής νησίδας. (Mirzaei και Haghighat, 2010).

Τέλος, οι Akbari et al (1986), διερευνώντας διάφορες στρατηγικές για να αμβλυνηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις των αστικών νησίδων, διαπίστωσαν ότι τέντες και ανεμοφράκτες, θα μπορούσαν να μειώσουν τις αστικές θερμοκρασίες του αέρα και να ελαττώσουν κατά 50% την ενέργεια για ψύξη των κτιρίων και κατά 30% τη ζήτηση αιχμής.

3 Εξέλιξη των παραγόντων που επιδρούν στη θερμική νησίδα

Για να εξηγήσουμε τις θερμοκρασιακές διαφορές, μαζέψαμε στοιχεία που επηρεάζουν την αστικοποίηση. Ειδικότερα, εξετάζουμε τους τρεις πιο χαρακτηριστικούς παράγοντες αστικοποίησης (πληθυσμός, οικοδομική δραστηριότητα, οχήματα), καθώς και την ενεργειακή κατανάλωση, οι οποίοι επιτείνουν την ύπαρξη αστικής θερμικής νησίδας.

3.1 Αύξηση Πληθυσμού

Σε όλο τον κόσμο, το ποσοστό των ανθρώπων που κατοικούν στα αστικά κέντρα έχει εκτιναχθεί. Πριν από 100 χρόνια, μόνο το 14% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικούσε στα αστικά κέντρα, και το 1950, ο αστικός πληθυσμός δεν ξεπερνούσε το 30%. Σήμερα, τουλάχιστον 170 πόλεις έχουν παραπάνω από 1 εκατομμύριο κατοίκους η καθεμία (Santamouris et al, 2001). Μάλιστα, το 2000, το 45% του παγκόσμιου πληθυσμού ήταν συγκεντρωμένο στα αστικά κέντρα, με το ποσοστό να είναι πολύ μεγαλύτερο (75%) στις πιο ανεπτυγμένες χώρες (Population Reference Bureau, 2001a).

Ο πληθυσμός της Ελλάδας αυξάνεται το δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα, αν και με σαφώς διαφοροποιημένους ρυθμούς (Εικόνα 3.1), οι οποίοι αποτυπώνουν τη διαφορετική «ισορροπία» ανάμεσα στο φυσικό και το μεταναστευτικό ισοζύγιο. Γενικά, διαμορφώνεται η ακόλουθη εικόνα:

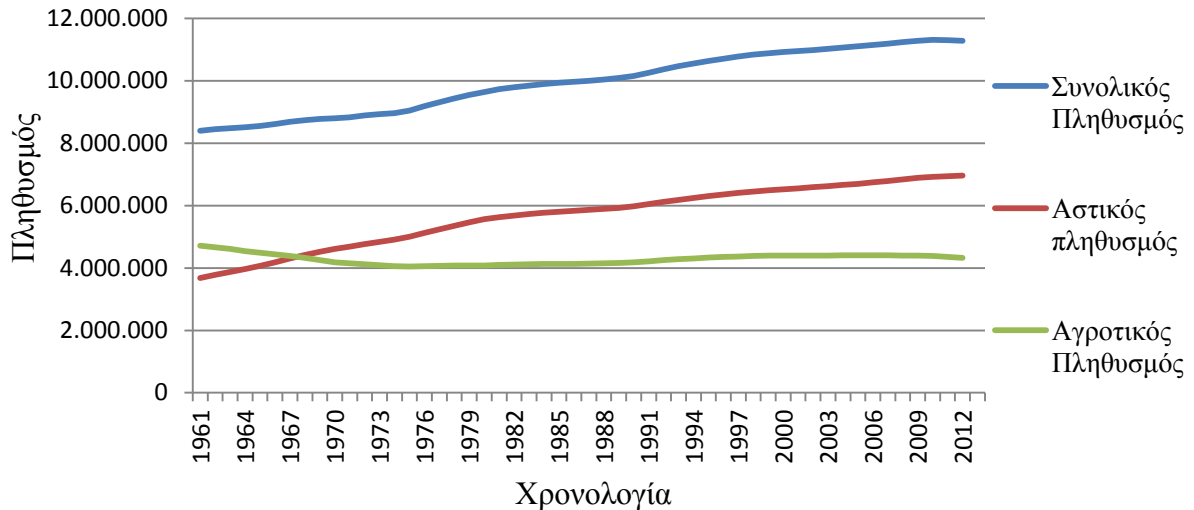
(α) στη δεκαετία 1961- 1971 η φυσική αύξηση (γεννήσεις μείον θάνατοι) είναι σχετικά υψηλή και η καθαρή μετανάστευση έντονα αρνητική, εξαιτίας της μαζικής αποδημίας προς τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης,

(β) στη δεκαετία 1971- 1981 η φυσική αύξηση αρχίζει να συμπιέζεται ενώ η καθαρή μετανάστευση είναι θετική, λόγω της μαζικής παλιννόστησης από τις χώρες υποδοχής της προηγούμενης περιόδου,

(γ) στη δεκαετία 1981- 1991 ενισχύεται η μείωση της φυσικής αύξησης και ταυτόχρονα παραμένει σε υψηλά επίπεδα η παλιννόστηση,

(δ) στη δεκαετία 1991- 2001 η φυσική αύξηση ελαχιστοποιείται και συγχρόνως διογκώνεται σε πρωτοφανή μεγέθη η καθαρή μετανάστευση, ως επακόλουθο της μαζικής εισροής οικονομικών μεταναστών στη χώρα, και

(ε) στη δεκαετία 2001- 2011 ο πληθυσμός αρχίζει να μειώνεται αν και η φυσική αύξηση παρουσιάζει ελαφρά αύξηση συγκριτικά με την προηγούμενη περίοδο, και τούτο ενδεχομένως οφείλεται στον συγκρατημένο επαναπατρισμό των οικονομικών μεταναστών και σε πολύ μικρότερο βαθμό στην διαφαινόμενη αποδημία ελλήνων (Παπαδάκης κ.ά., 2012).



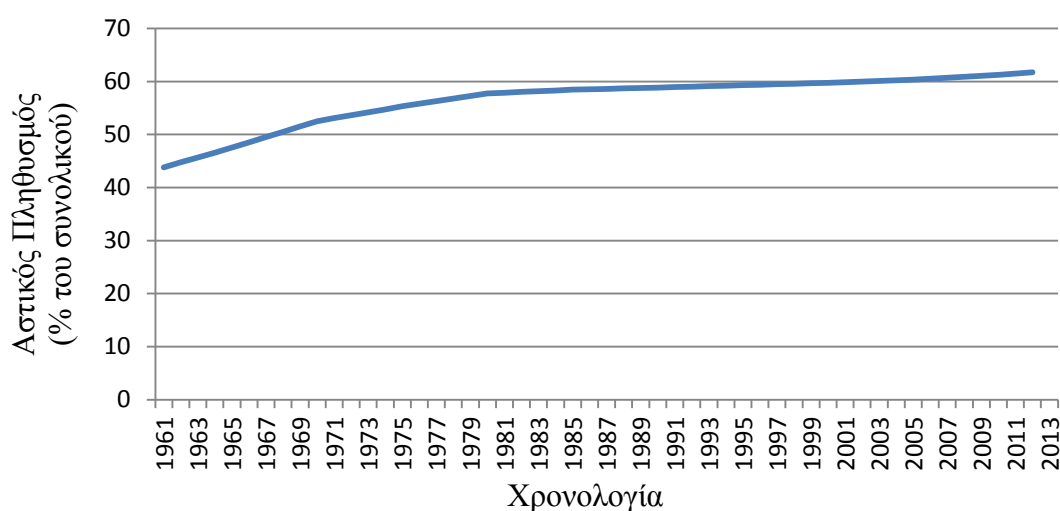
Εικόνα 3.1: Εξέλιξη πληθυσμού Ελλάδας συνολικά και του αστικού και αγροτικού ξεχωριστά, 1961- 2013 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, Στατιστικά Δελτία, σύνθεση πολλών τευχών)

Είναι χαρακτηριστικό ότι στην απογραφή του 2001, ο αριθμός των αλλοδαπών τετραπλασιάζεται, καθώς καταγράφονται πλέον 762.000 άτομα μη έχοντα την ελληνική υπηκοότητα (7% του πληθυσμού της χώρας μας που αγγίζει πλέον τα 11 εκ.). η αύξηση του πληθυσμού της χώρας μας αποδίδεται σχεδόν αποκλειστικά στην αύξηση του αριθμού των αλλοδαπών, ανάμεσα στο 1991 και το 2006. Το 2001 ο πληθυσμός της Ελλάδας, σύμφωνα με τα πρώτα αποτελέσματα της πρόσφατης απογραφής, ο αμιγώς ελληνικός πληθυσμός ελαττώνεται.

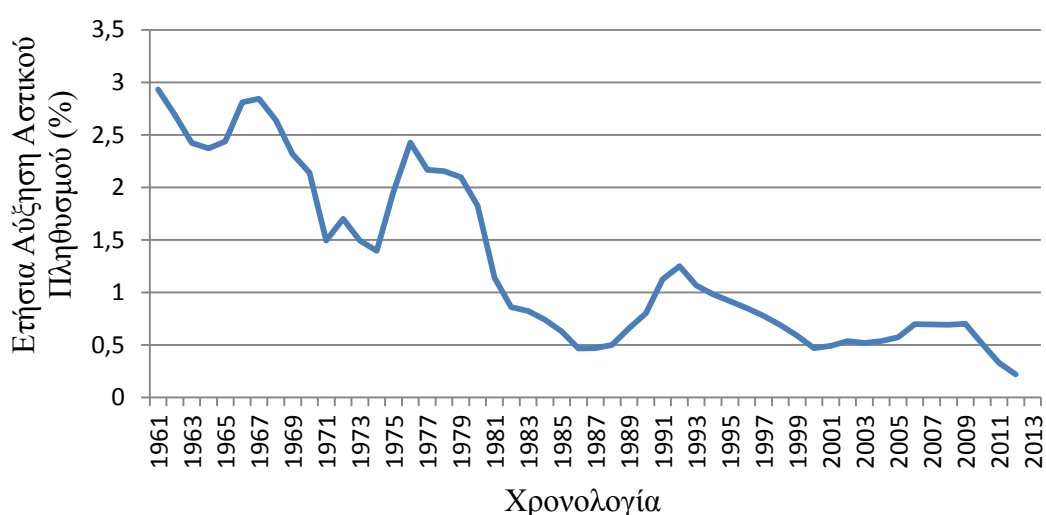
Η απογραφή του 2011 δείχνει πως βρίσκεται σε εξέλιξη μια «λευκή» γενοκτονία του ελληνικού λαού ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης. Πρόκειται για την πρώτη μείωση του πληθυσμού της χώρας που καταγράφεται από συστάσεως νεοελληνικού κράτους. Σε καμία απογραφή ως τώρα μετά το 1828 δεν είχαμε μείωση πληθυσμού, ούτε καν σ' αυτές που έγιναν το 1951 μετά την κατοχή και τον εμφύλιο πόλεμο, το 1961 και το 1981 μετά τα μεγάλα μεταναστευτικά κύματα τις δεκαετίες του '50 και του '70. Μείωση πληθυσμού της χώρας δεν καταγράφηκε ούτε στις απογραφές που έγιναν το 1961 και το 1981, μετά τα μεγάλα μεταναστευτικά κύματα Ελλήνων εργατών προς το εξωτερικό που προηγήθηκαν τις δεκαετίες του '50 και του '70 αντίστοιχα.

Η μετακίνηση από τις ορεινές προς τις πεδινές περιοχές- και ταυτόχρονα από τις αγροτικές στις αστικές- χαρακτηρίζει την σύγχρονη ιστορία της Ελλάδας (εικόνα 3.2). Οι εσωτερικές αυτές μεταναστεύσεις, ιδιαίτερα έντονες στην διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, επιβραδύνονται την τελευταία εικοσαετία. Γενικά, η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από την ιδιαίτερα άνιση γεωγραφική κατανομή του πληθυσμού της (στον νομό Αττικής π.χ. που καταλαμβάνει μόλις το 3% της επιφάνειας της χώρας συγκεντρώνονται το 2001 3.8 από τα 11 εκατομμύρια των κατοίκων της χώρας, ήτοι το 35% έναντι του 16% το 1940). Η αστικοποίηση του πληθυσμού μας παρουσιάζει αυξητική τάση και είναι άνισα κατανομημένη στην επικράτεια. Πράγματι, η

συμμετοχή των αστικών και ημιαστικών περιοχών στο συνολικό πληθυσμό από 52.5% το 1951 έφτασε στο 72.8% το 2001. Η απογραφή του 1971 ήταν η πρώτη κατά την οποία ο πληθυσμός σε αστικά κέντρα ξεπέρασε τον αγροτικό (φαίνεται στον πίνακα 3.1 ότι το 1970, ο αστικός πληθυσμός ως ποσοστό ξεπέρασε το 50% του συνολικού). Αντίστοιχα, η συμμετοχή της Αττικής στον αστικό και ημιαστικό πληθυσμό από 38.8% το 1951 ανήλθε σε 47.1% το 2001 και στο συνολικό πληθυσμό της χώρας από 20.4% το 1951 αυξήθηκε σε 34.3% το 2001. Ο ρυθμός εντούτοις αστικοποίησης παρουσιάζει αισθητή επιβράδυνση τα τελευταία χρόνια, ίσως διότι έχει ήδη προσεγγίσει υψηλές για την ελληνική πραγματικότητα τιμές (εικόνα 3.3). Η επιβράδυνση αντικατοπτρίζεται στη μικρή μείωση της συμμετοχής της Αττικής τόσο στον αστικό και ημιαστικό πληθυσμό όσο και στο συνολικό πληθυσμό μετά το 1981 (Παπαδάκης κ.ά., 2012).



Εικόνα 3.2: Ποσοστό του αστικού πληθυσμού επί του συνόλου, 1961- 2013 (ΕΛΣΤΑΤ: Στατιστικά Δελτία, σύνθεση πολλών τευχών)



Εικόνα 3.3: Ετήσια αύξηση αστικού πληθυσμού (%), 1961- 2013 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, Στατιστικά Δελτία, σύνθεση πολλών τευχών)

Έτσι, νομοί με ιδιαίτερα επιταχυνόμενη συρρίκνωση πληθυσμού στο διάστημα 1961-2001 (Ευρυτανία, Αρκαδία, Λακωνία, Θεσπρωτία, Καρδίτσα, Λέσβος, Σάμος, Χίος) εμφανίζουν μικρή αναλογία αστικού πληθυσμού και είναι αραιοκατοικημένοι. Αντίθετα, νομοί με αυξανόμενο πληθυσμό (Βοιωτία, Εύβοια, Αργολίδα, Κορινθία, Αχαΐα, Κέρκυρας Λάρισα, Μαγνησία, Ημαθία, Θεσσαλονίκη, Πιερία, Χαλκιδική, Δωδεκάνησος, Ηράκλειο) συνδυάζουν συνήθως μεγαλύτερη αναλογία αστικού πληθυσμού και είναι πυκνοκατοικημένοι (Παπαδάκης κ.ά., 2012), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Πληθυσμός και πυκνότητά του (ανά km²) ανά γεωγραφικό διαμέρισμα και νομό τα έτη 1961 και 2001(Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, Απογραφές πληθυσμού 1961 και 2011)

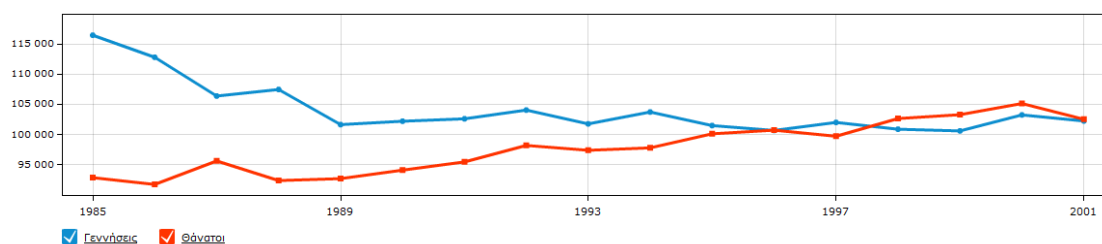
Γεωγραφικό διαμέρισμα και νομός	Πραγματικός πληθυσμός			Πυκνότητα πληθυσμού 2001	Αναλογία (%) αστών 2001
	1961	2001	Μεταβολή % 2001/1961		
ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΑΣ	8.388.553	10.964.020	30,70	83	75,1
ΑΤΤΙΚΗ	2.057.974	3.761.810	82,79	988	99,0
ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ-ΕΥΒΟΙΑ	763.840	829.758	8,63	40	56,3
Αιτωλίας και Ακαρνανίας	237.738	224.429	-5,60	41	53,3
Βοιωτίας	107.775	131.085	21,63	44	66,4
Ευβοίας	172.578	215.136	24,66	52	59,2
Ευρυτανίας	36.471	32.053	-12,11	17	37,7
Φθιώτιδας	161.436	178.771	10,74	40	57,1
Φωκίδας	47.842	48.284	0,92	23	31,3
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	1.096.390	1.155.019	5,35	54	54,9
Αργολίδας	90.145	105.770	17,33	49	51,4
Αρκαδίας	135.042	102.035	-24,44	23	44,9
Αχαΐας	240.354	322.789	34,30	99	70,7
Ηλείας	187.713	193.288	2,97	74	44,8
Κορινθίας	112.505	154.624	37,44	68	57,8
Λακωνίας	118.661	99.637	-16,03	27	35,2
Μεσσηνίας	211.970	176.876	-16,56	59	52,0
ΙΟΝΙΟΙ ΝΗΣΟΙ	212.573	212.984	0,19	92	36,5
Ζακύνθου	35.509	39.015	9,87	96	28,7
Κερκύρας	101.770	111.975	10,03	175	39,5
Κεφαλληνίας	45.033	39.488	-12,31	44	36,2
Λευκάδας	30.261	22.506	-25,63	63	35,7
ΗΠΕΙΡΟΣ	652.604	353.820	0,35	38	47,3
Αρτας	84.285	78.134	-7,30	47	39,5
Θεσπρωτίας	52.125	46.091	-11,58	30	34,4
Ιωαννίνων	155.326	170.239	9,60	34	53,1
Πρεβέζης	60.868	59.356	-2,48	57	50,8
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	691.771	753.888	8,98	54	64,8
Καρδίτσας	152.105	129.541	-14,83	49	43,9
Λάρισας	231.976	279.305	20,40	52	69,9
Μαγνησίας	163.834	206.995	26,34	78	76,6
Τρικάλων	143.856	138.047	-4,04	41	54,8
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	1.896.112	2.424.765	27,88	71	72,7
Γρεβενών	42.787	37.947	-11,31	17	49,6
Δράμας	121.006	103.975	-14,07	30	65,2
Ημαθίας	113.928	143.618	26,06	84	64,5
Θεσσαλονίκης	546.286	1.057.825	93,64	287	93,7
Καβάλας	140.751	145.054	3,06	69	64,4
Καστοριάς	48.497	53.483	10,28	31	51,4
Κιλκίς	101.506	89.056	-12,26	35	41,0
Κοζάνης	149.639	155.324	3,80	44	59,7
Πέλλας	133.224	145.797	9,44	58	51,2
Πιερίας	98.284	129.846	32,11	86	65,7
Σερρών	248.041	200.916	-19,00	51	48,1
Φλώρινας	70.213	54.768	-22,00	29	36,8
Χαλκιδικής	79.263	104.894	32,34	36	49,8
Άγιο Όρος	2.687	2.262	-15,82	7	0,0
ΘΡΑΚΗ	356.555	362.038	1,54	42	57,9
Εβρους	157.760	149.354	-5,33	35	61,5
Εσθής	89.594	101.856	13,69	57	58,8
Ροδόπης	109.201	110.828	1,49	44	52,2
ΝΗΣΟΙ ΑΙΓΑΙΟΥ	477.476	508.807	6,56	56	55,8
Δωδεκανήσου	123.021	190.071	54,50	70	77,3
Κυκλάδων	99.959	112.615	12,66	44	36,2
Λέσβου	140.251	109.118	-22,20	51	43,5
Σάμου	52.022	43.595	-16,20	56	41,1
Χίου	62.223	53.408	-14,17	59	57,7
ΚΡΗΤΗ	483.258	601.131	24,39	72	59,6
Ηρακλείου	208.374	292.489	40,37	111	66,4
Λασιθίου	73.880	76.319	3,30	42	51,5
Ρεθύμνης	69.943	81.936	17,15	55	40,8
Χανίων	131.061	150.387	14,75	63	60,3

Όπως και στις άλλες ανεπτυγμένες χώρες, έτσι και στην Ελλάδα η θνησιμότητα μειώνεται καθ' όλη τη διάρκεια του εικοστού αιώνα. Η δημιουργία των αποκαλούμενων πινάκων θνησιμότητας ή επιβίωσης, επιτρέπει τον υπολογισμό της προσδοκώμενης ζωής, αυτό που κοινά ονομάζουμε και «μέσο όρο ζωής», δείκτη που καθιστά δυνατή τη σύγκριση των επιπέδων θνησιμότητας (πίνακας 3.2). Είναι προφανές ότι οι ταχύτετοι αρχικά ρυθμοί μεταβολής οφείλονται κυρίως στη μείωση της βρεφικής θνησιμότητας (θάνατοι βρεφών επί 1000 γεννήσεων), ιδιαίτερα υψηλής παλιότερα. Στις δύο τελευταίες δεκαετίες, η αύξηση του μέσου όρου ζωής οφείλεται όλο και περισσότερο στη μείωση της θνησιμότητας (πτώση των πιθανοτήτων θανάτου) στις μεγάλες ηλικίες (Κοτζαμάνης, Ανδρουλάκη, 2007).

Πίνακας 3.2: Εξέλιξη προσδόκιμου ζωής στην Ελλάδα, 1950- 2007 (Κοτζαμάνης, Ανδρουλάκη, 2007)

Έτος	Μ.ό. Ζωής ανδρών	Μ.ό. Ζωής γυναικών
1951	63.44	66.65
1961	67.3	70.42
1971	70.13	73.64
1981	72.15	76.35
1991	74.6	79.4
2001	75.42	80.54

Όσον αφορά στη γονιμότητα, ο δείκτης ολικής γονιμότητας, ο οποίος είχε εμφανίσει μια σοβαρή πτωτική τάση από το 1980 (2.2) έως το 2005 (1.3), παρουσιάζει μικρή ανοδική τάση και ανήλθε το 2007 στο 1.4 και το 2009 στο 1.5, παραμένοντας ωστόσο κάτω από το όριο αντικατάστασης γενεών που είναι 2.1. Ειδικότερα, η γονιμότητα (εκφραζόμενη ως μέσος αριθμός παιδιών ανά γυναίκα ανά έτος ή ανά περίοδο), έχει πλέον περιορισθεί σε 1.3- 1.4 παιδιά/ γυναίκα, ενώ παρέμεινε για μια σχεδόν εικοσιπενταετία (1955- 1980) σε επίπεδα που άφηναν να φανεί η εξασφάλιση (2.2- 2.4 παιδιά) της ανανέωσης των γενεών (Κοτζαμάνης, Ανδρουλάκη, 2007).



Εικόνα 3.4: Φυσική μεταβολή του πληθυσμού της Ελλάδας, 1985- 2001 (ΕΛΣΤΑΤ, Φυσική Κίνηση Πληθυσμού Ελλάδος 2011).

3.2 Αύξηση Οικοδομικής Δραστηριότητας

Είναι πολύ ενδιαφέρον να δούμε την εξέλιξη της οικοδομικής δραστηριότητας τα τελευταία 60 χρόνια, μέσα από τους κοινωνικό-οικονομικούς παράγοντες που την επηρέασαν:

Την περίοδο 1950- 1960 πάνω από το 1/3 του ενεργού πληθυσμού ήταν άνεργοι και το 40% των κατοίκων των αγροτικών περιοχών υποαπασχολούμενοι. Τα παραπάνω ωθούν τον αγροτικό πληθυσμό της χώρας σε έξοδο από την ύπαιθρο και μετεγκατάστασή του στα αστικά κέντρα της χώρας και κυρίως στην Αθήνα. Οι μετακινήσεις αυτές του αγροτικού πληθυσμού προκαλούν ασύμμετρη αστικοποίηση και υδροκεφαλισμό της πρωτεύουσας (Ανδρέου, 2010).

Καθ' όλη τη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, ο πληθυσμός της ελληνικής πρωτεύουσας συνέχιζε να αυξάνει με συνεχείς αυξητικούς ρυθμούς. Με βάση τη Νικολαΐδου (1993), το 1951 η Αθήνα συγκέντρωνε το 8% του συνολικού πληθυσμού της Ελλάδας (1.378.586 κάτοικοι). Η υπερσυσσώρευση του πληθυσμού συνεχίστηκε ως τη δεκαετία του 1980. Αναλυτικότερα, η Αθήνα το 1961 συγκέντρωνε το 23% του συνολικού πληθυσμού της χώρας (1.852.078 κάτοικοι), το 1971 το 29% (2.540.241 κάτοικοι), το 1981 το 35% (3.409.145 κάτοικοι), ενώ το 1991 παρατηρείται σχετική κάμψη και ο πληθυσμός της πρωτεύουσας αποτελεί το 33.14% του συνολικού πληθυσμού της χώρας (3.096.775 κάτοικοι).

Αρκετοί ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στη θεαματική αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας στον Αθηναϊκό χώρο στα μέσα της δεκαετίας του '60 και στις αρχές της δεκαετίας του '70, σε συνδυασμό με την έξαρση της αυθαίρετης δόμηση. Σημαντικότεροι από τους λόγους αυτούς ήταν:

- Το μεγάλο έλλειμμα κατοικιών, καθώς μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και του Εμφυλίου, το 30% του στεγαστικού αποθέματος είχε καταστραφεί.
- Οι πληθυσμιακές τάσεις της εσωτερικής μετανάστευσης
- Οι προοπτικές άμεσης οικονομικής ανάπτυξης μέσω της αύξησης της οικοδομικής δραστηριότητας.

Σύμφωνα με τη Νικολαΐδου (1993), την περίοδο 1955- 1964, ο όγκος της οικοδομικής δραστηριότητας δεκαπλασιάστηκε σε σχέση με την προπολεμική περίοδο. Οι νεόδμητες οικοδομές που χτίστηκαν στην περιοχή της Αθήνας, την περίοδο αυτή αντιπροσώπευαν το 45.7% του συνόλου των νέων οικοδομών της χώρας, με κύρια πηγή χρηματοδότησης τα ιδιωτικά κεφάλαια.

Οι υψηλοί ρυθμοί ανοικοδόμησης της Αθήνας συνεχίστηκαν και τις επόμενες δεκαετίες του '60 και του '70. Συγκεκριμένα, οι νέες οικοδομές της πρωτεύουσας την περίοδο 1960- 1965 ξεπέρασαν το 50% του συνόλου των οικοδομών της χώρας, ενώ κατά την περίοδο 1965- 1972 υποχώρησαν στο 42% (Ανδρέου, 2010).

Συνολικά, για την περίοδο των δεκαετιών του 1960 και 1970 μπορεί να ειπωθεί πως η ανάπτυξη της οικοδομικής δραστηριότητας του κλάδου των κατασκευών ήταν αποτέλεσμα των μεγάλων αναγκών στέγασης αλλά και έμμεση συνάρτηση του χαμηλού κόστους παραγωγής των κατασκευών, λόγω χαμηλών τιμών των οικοπέδων, των οικοδομικών υλικών, χαμηλών ημερομισθίων και κακής ποιότητας κατασκευής. Η γενικότερη οικονομική κρίση του δεύτερου μισού της δεκαετίας του '70 και ο περιορισμός των ευνοϊκών θεσμικών ρυθμίσεων, όπως ήταν η διακοπή χορήγησης στεγαστικών δανείων και η αύξηση της φορολογίας, οδήγησε τον κλάδο των κατασκευών σε ύφεση. Οι ρυθμοί παραγωγής νέων κατοικιών και νέων οικοδομών μειώθηκαν και η τάση αυτή συνεχίστηκε και στη δεκαετία του 1980.

Η ιδιωτική και δημόσια οικοδομική δραστηριότητα, με την οποία ασχολούνταν η μεγάλη πλειοψηφία των κατασκευαστικών εταιρειών κατά το 1989- 1991, παρουσίασε κάμψη και στις αρχές του 1990, λόγω της διαρκούς αύξησης του μέσου κόστους κατοικίας, που επιβάρυνε το συνολικό κόστος κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, το εν λόγω μέσο κόστος κατοικίας επηρεάστηκε ιδιαίτερα από τα υψηλά επιτόκια των στεγαστικών δανείων, την αύξηση του κόστους κατασκευής, τον περιορισμό στις αυξήσεις των ενοικίων, τον περιορισμό στις μισθώσεις και την γενικότερη οικονομική ύφεση που έπληξε την ελληνική οικονομία την περίοδο των πρώτων χρόνων της δεκαετίας του 1990. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, στη διάρκεια της δεκαετίας αυτής, μετατοπίστηκε σε σημαντικό βαθμό το ενδιαφέρον των μεγάλων τεχνικών εταιριών του κατασκευαστικού κλάδου από την οικοδομική δραστηριότητα, στα έργα υποδομής του Δημοσίου Τομέα.

Από τα τέλη όμως του 1995, μια σειρά από ευνοϊκές εξελίξεις, όπως η μείωση των επιτοκίων των στεγαστικών δανείων, η απελευθέρωση των μισθώσεων, και η παράλληλη ένταξη πολλών νέων περιοχών στο σχέδιο πόλης με τη συνεπακόλουθη ανοικοδόμηση νέων, νόμιμων κατοικιών σε αυτές, βοήθησαν στην ανάκαμψη του κλάδου, έδωσαν ώθηση στην οικοδομική δραστηριότητα και επηρέασαν θετικά την εξέλιξή της. Ακόμα, στοιχεία όπως τα σημαντικά ευρωπαϊκά κονδύλια της περιόδου (πρόγραμμα σύγκλισης της Ελληνικής Οικονομίας με την Ευρωπαϊκή Ένωση, Ταμείο Συνοχής και Β' και Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης, ΚΠΣ), οι νέες μέθοδοι χρηματοδότησης των έργων, η ανάγκη πραγματοποίησης δημοσίων έργων υποδομής, η επέκταση του κλάδου σε νέες αγορές, η γενικότερη πορεία της ελληνικής οικονομίας αλλά και η ανάληψη της Ολυμπιάδας του 2004 συνέβαλαν στην αύξηση της κατασκευαστικής δραστηριότητας και την κερδοφορία του κλάδου. Από το 1995 και έως το 2004, χρονιά τέλεσης των Ολυμπιακών Αγώνων, υπάρχει σχεδόν μια διαρκής ήπια αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας. Τη χρονιά 2005 παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αύξηση που έλαβε χώρα ποτέ. Η παράλογη από πολλούς αύξηση της δραστηριότητας του 2005 έχει σαφώς τις ρίζες της στο γεγονός της εισαγωγής του ΦΠΑ στην οικοδομική δραστηριότητα για όσες άδειες και εργολαβικά θα εκδίδονταν μετά την 1^η Ιανουαρίου του 2006. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να σπεύσουν, κυρίως οι κατασκευαστές, σε μια αύξηση της

δραστηριότητάς τους τέτοια που η ετήσια μεταβολή της ανήλθε ποσοστιαία στο 37% (Νικολαΐδη, 1993).

Η χρηματοοικονομική κρίση που ξέσπασε το φθινόπωρο του 2008 επιδείνωσε την κατάσταση. Σύμφωνα με τις ανακοινώσεις της ΕΛΣΤΑΤ, το Α' τετράμηνο του 2009 καταγράφηκε μείωση κατά 13.5% στον αριθμό των οικοδομικών αδειών, κατά 22.3% στην επιφάνεια και κατά 22.8% στον όγκο, σε σύγκριση με το αντίστοιχο διάστημα του 2008 (Ανδρέου, 2010). Και τα επόμενα χρόνια η κατάσταση παρέμεινε παρόμοια. Ενδεικτικά, αναφέρεται πως στο πρώτο πεντάμηνο του 2010 (Ιανουάριος- Μάιος), η συνολική οικοδομική δραστηριότητα (ιδιωτική και δημόσια) σε όλη τη χώρα εμφάνισε μείωση κατά 7.5% στον αριθμό των εκδοθεισών οικοδομικών αδειών, κατά 17.1% στην επιφάνεια κι κατά 23.2 στον όγκο, σε σχέση με το αντίστοιχο πρώτο πεντάμηνο του 2005. Ως προς τον όγκο των κτηριακών έργων που αντιστοιχεί στις οικοδομικές άδειες που εκδόθηκαν το Α' τετράμηνο του 2010, η μείωση ήταν 23.5% σε σχέση με την αντίστοιχη περίοδο του 2009, η οποία με τη σειρά της ήταν επίσης μειωμένη κατά 22.% έναντι του πρώτου τετραμήνου του 2008. Η δραστική περικοπή των τραπεζικών δανείων και ταυτόχρονα η σημαντική αύξηση του κόστους δανεισμού των ελληνικών νοικοκυριών, η αβεβαιότητα για το μέλλον του οικογενειακού προϋπολογισμού καθώς και οι πρόσθετες σημαντικές φορολογικές επιβαρύνσεις, ήταν οι βασικές αιτίες της εντυπωσιακής μείωσης της ζήτησης για νέες κατοικίες. Ανατρέχοντας στον πίνακα 3.3 της εξέλιξης του οικοδομικού όγκου παρατηρούμε ότι τα επίπεδα του 2010 συγκρίνονται με εκείνα του 1967.

Πίνακας 3.3: Αριθμός νέων οικοδομών και όγκος οικοδομικής δραστηριότητας ανά έτος και ετήσια μεταβολή αυτών (Στοιχεία από δελτία ΕΛΣΤΑΤ)

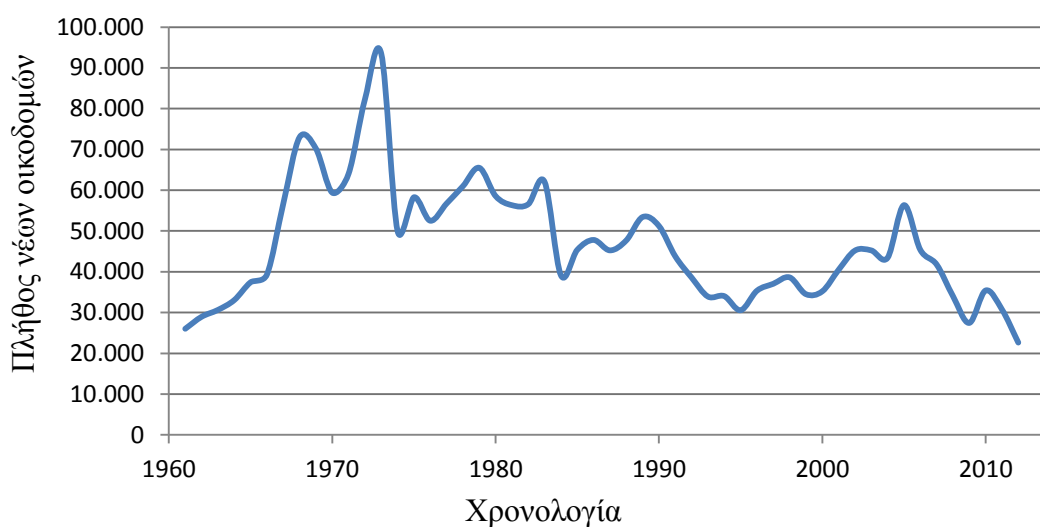
Έτος	Αριθμός αδειών	Μεταβολή (%)	Όγκος νέων οικοδομών σε χιλιάδες m ³ (χωρίς τις προσθήκες)	Μεταβολή (%)	Όγκος νέων οικοδομών σε m ³ (με τις προσθήκες)	Μεταβολή (%)
1952	14670					
1953	17745	0.21				
1954	14466	-0.18				
1955	15780	0.09				
1956	18754	0.19				
1957	16478	-0.12				
1961	26012					
1962	28951	0.11				
1963	30642	0.06	17416		22661	
1964	33049	0.08	21721	0.25	27613	0.22
1965	37414	0.13	24738	0.14	31298	0.13
1966	39311	0.05	27618	0.12	34264	0.09
1967	56646	0.44	26603	-0.04	33455	-0.02
1968	72997	0.29	35852	0.35	45277	0.35
1969	70207	-0.04	43318	0.21	54066	0.19

Έτος	Αριθμός	Μεταβολή	Όγκος νέων	Μεταβολή	Όγκος νέων	Μεταβολή
1970	59391	-0.15	40253	-0.07	50942	-0.06
1971	64033	0.08	45097	0.12	55494	0.09
1972	82279	0.28	64448	0.43	76911	0.39
1973	93483	0.14	72759	0.13	86828	0.13
1974	49975	-0.47	36546	-0.50	47218	-0.46
1975	58269	0.17	46134	0.26	58437	0.24
1976	52510	-0.10	52626	0.14	63488	0.09
1977	56732	0.08	65333	0.24	77227	0.22
1978	60977	0.07	75894	0.16	89956	0.16
1979	65498	0.07	78744	0.04	94816	0.05
1980	58563	-0.11	57581	-0.27	71379	-0.25
1981	56327	-0.04	48825	-0.15	58918	-0.17
1982	56564	0.00	42510	-0.13	52637	-0.11
1983	62024	0.10	50225	0.18	60711	0.15
1984	39121	-0,37	33981	-0,32	40469	-0,33
1985	45369	0,16	41247	0,21	49382	0,22
1986	47804	0,05	49325	0.20	58537	0.19
1987	45242	-0.05	86450	0.75	56107	-0.04
1988	47680	0.05	51042	-0.41	59932	0.07
1989	53418	0.12	56971	0.12	67349	0.12
1990	51236	-0.04	58970	0.04	70608	0.05
1991	43775	-0.15	47500	-0.19	57603	-0.18
1992	38578	-0.12	43080	-0.09	52432	-0.09
1993	33913	-0.12	41077	-0.05	51342	-0.02
1994	34014	0.00	39571	-0.04	48558	-0.05
1995	30563	-0.10	36398	-0.08	45727	-0.06
1996	35346	0.16	43903	0.21	55793	0.22
1997	37048	0.05	47464	0.08	58270	0.04
1998	38619	0.04	52554	0.11	63906	0.10
1999	34499	-0.11	48284	-0.08	59180	-0.07
2000	35198	0.02	50389	0.04	62825	0.06
2001	40477	0.15	57981	0.15	70878	0.13
2002	45194	0.12	64996	0.12	77180	0.09
2003	45233	0.00	65686	0.01	78008	0.01
2004	43431	-0.04	61967	-0.06	74688	-0.04
2005	56341	0.30	88776	0.43	102231	0.37
2006	45389	-0.19	67135	-0.24	82587	-0.19
2007	41779	-0.08	62833	-0.06	77841	-0.06
2008	34021	-0.19	51859	-0.17	64374	-0.17
2009	27447	-0.19	35823	-0.31	47319	-0.26
2010	35411	0.29	35800	0.00	35800	-0.24
2011	30746	-0.13	22638	-0.37	22638	-0.37
2012	22627	-0.26	16491	-0.27	16491	-0.27

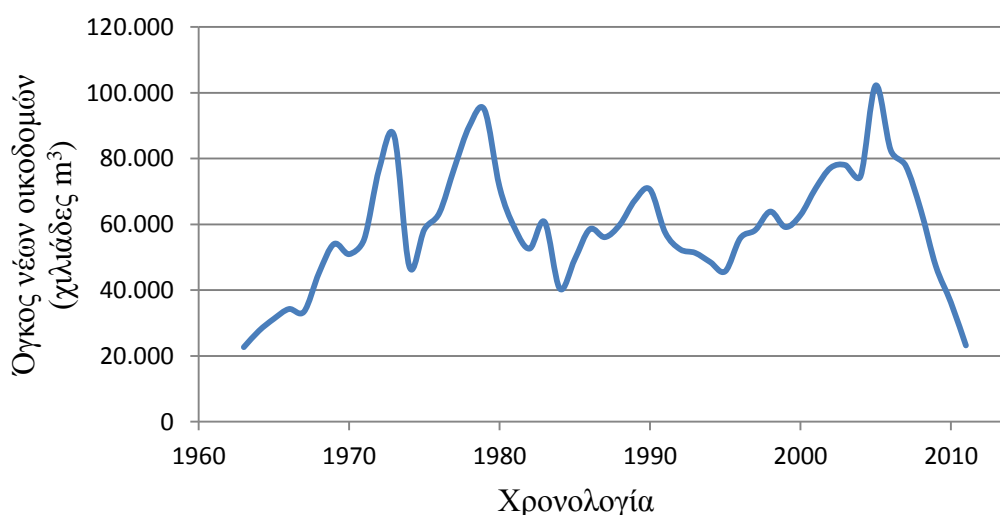
Για αποφυγή σύγχυσης, αναφέρονται οι ορισμοί νέας οικοδομής και προσθήκης οικοδομής

Νέα οικοδομή: Νέα οικοδομή είναι κάθε οικοδομή που κτίζεται από την αρχή σε ακάλυπτο έδαφος ή στη θέση παλιάς οικοδομής που κατεδαφίστηκε.

Προσθήκη οικοδομής: Προσθήκη οικοδομής είναι κάθε μόνιμη οικοδομική κατασκευή που προσθέτει οικοδομικό όγκο (χώρο) σε υπάρχουσα οικοδομή, είτε κατ' επέκταση, είτε καθ' ύψος, είτε και με τους δύο τρόπους συγχρόνως, και δημιουργεί ή κατοικία ή κατάστημα ή και τα δύο.

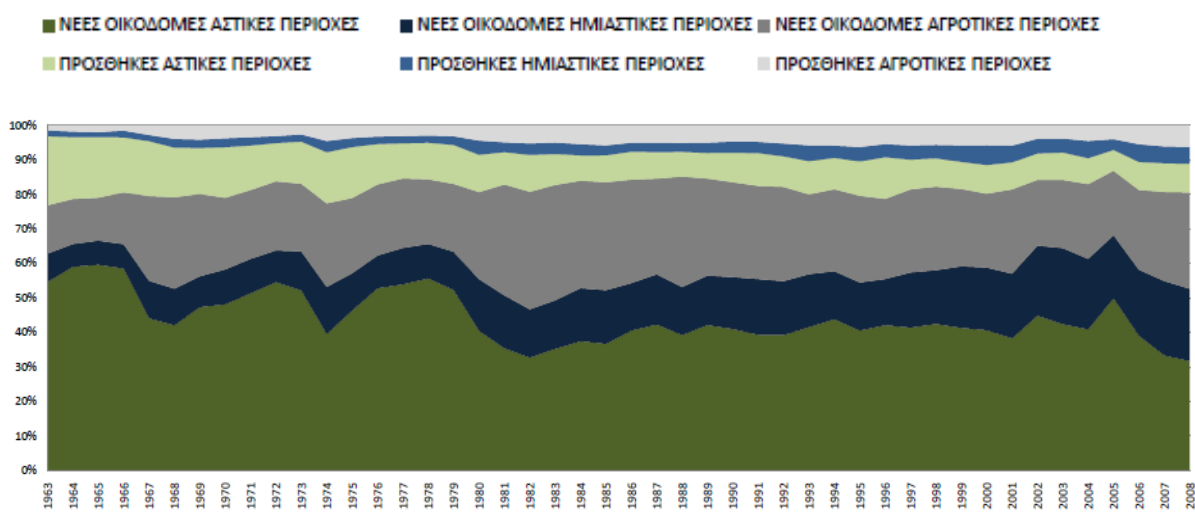


Εικόνα 3.5: Απεικόνιση του αριθμού των νέων οικοδομών της οικοδομικής δραστηριότητας ανά έτος (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομική Δραστηριότητα, σύνθεση πολλών τευχών)



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση του όγκου των νέων οικοδομών σε m^3 της οικοδομικής δραστηριότητας ανά έτος (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομική Δραστηριότητα, σύνθεση πολλών τευχών)

Αθροιστικό διάγραμμα οικοδομικής δραστηριότητας



Εικόνα 3.7: Ποσοστό συμμετοχής (%) κάθε κατηγορίας στην οικοδομική δραστηριότητα, ανά έτος (Πηγή: Φράγκος, 2011)

Κατάταξη με βάση το κύριο υλικό κατασκευής

Επιχειρώντας τη γεωγραφική κατανομή των κτιρίων με βάση το κύριο υλικό κατασκευής τους (πίνακες 3.4- 3.5), μπορεί να σημειωθεί ότι το μπετόν αποτελεί συντριπτικά το κύριο υλικό κατασκευής στη γεωγραφική περιφέρεια της Στερεάς Ελλάδας, γεγονός αναμενόμενο, λόγω της παρουσίας της πρωτεύουσας. Συγκεκριμένα, στο Νομό Αττικής, τα τρία τέταρτα των κτηρίων είναι κατασκευασμένα από μπετόν.

Η κατάσταση παρουσιάζεται διαφορετική σε άλλες γεωγραφικές περιφέρειες, όπως η Ήπειρος και τα νησιά του Αιγαίου, όπου φαίνεται να επικρατεί η πέτρα ως κύριο υλικό κατασκευής των κτιρίων. Αντίθετα, στη Θράκη η πλειοψηφία των κτηρίων, με ποσοστό 55%, έχει κατασκευαστεί από τούβλα και τσιμεντόλιθους.

Πίνακας 3.4: Κτίρια με βάση το κύριο υλικό κατασκευής (Πηγή: Πρόγραμμα LIFE-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, 2006)

<i>Κύρια υλικά κατασκευής</i>	<i>Αριθμός κτηρίων</i>	<i>Ποσοστό επί του συνόλου</i>
Μπετόν	1.909.312	47,84%
Μέταλλο	21.718	0,54%
Ξύλο	20.622	0,52%
Τούβλα - Τσιμεντόλιθοι	1.083.000	27,14%
Πέτρα	891.649	22,34%
Άλλα υλικά	56.852	1,42%
Δε δηλώθηκε	7.817	0,20%
<i>Σύνολο</i>	<i>3.990.970</i>	<i>100%</i>

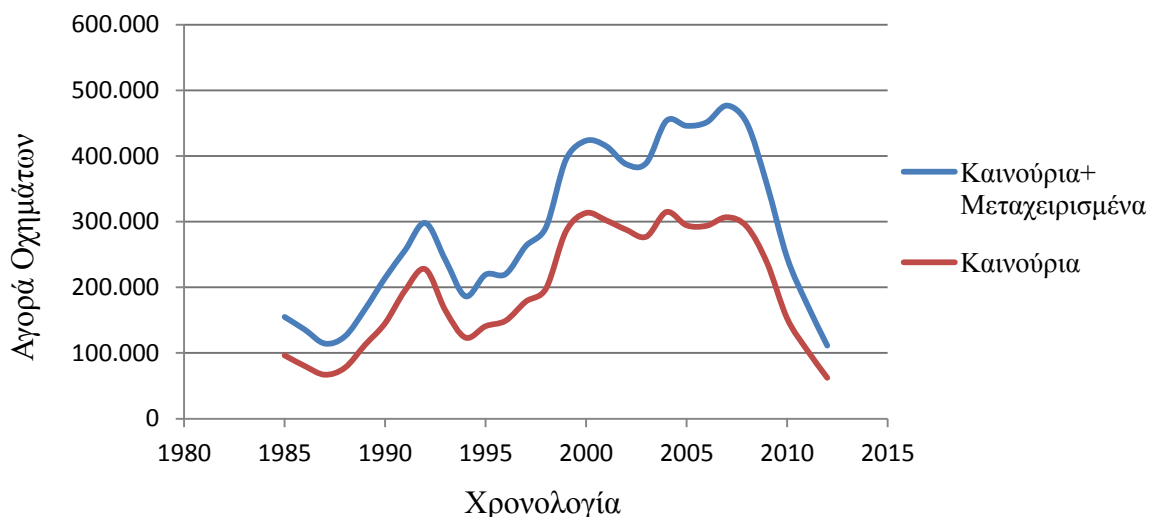
Πίνακας 3.5: Αριθμός κατασκευασθέντων κτιρίων βάσει του κύριου υλικού κατασκευής ανά χρονικές περιόδους

Χρονική περίοδος κατασκευής	Σύνολο κτιρίων	Κύρια υλικά κατασκευής του κτιρίου						
		Μπετόν	Μέταλλο	Ξύλο	Τούβλα - Τσιμεντοκίβρι	Πέτρα	Άλλα υλικά	Δε δηλώθηκε
Σύνολο Ελλάδος	3.990.970	1.909.312	21.718	20.622	1.083.000	891.649	56.852	7.817
Προ του 1919	199.510	471	17	318	12.025	184.161	2.518	0
1919 έως 1945	406.633	5.145	167	1.049	70.628	318.909	10.735	0
1946 έως 1960	665.315	178.444	804	3.582	208.979	259.702	13.804	0
1961 έως 1970	761.182	382.343	1.906	3.417	289.781	76.733	7.002	0
1971 έως 1980	737.575	465.720	4.181	4.455	233.221	21.986	8.012	0
1981 έως 1985	404.303	278.258	2.771	2.497	108.667	7.719	4.391	0
1986 έως 1990	297.348	216.184	2.431	1.916	67.640	6.193	2.984	0
1991 έως 1995	241.615	180.419	3.134	1.625	48.235	5.683	2.519	0
1996 και μετά	191.739	142.694	5.896	1.503	32.175	5.297	4.174	0
Υπό κατασκευή	57.430	50.957	156	56	5.137	1.058	66	0
Δε δηλώθηκε	28.320	8.677	255	204	6.512	4.208	647	7.817

3.3 Αύξηση Οχημάτων

Ως το 2008, ο αριθμός των οχημάτων αυξανόταν με πολύ μεγάλο ρυθμό.

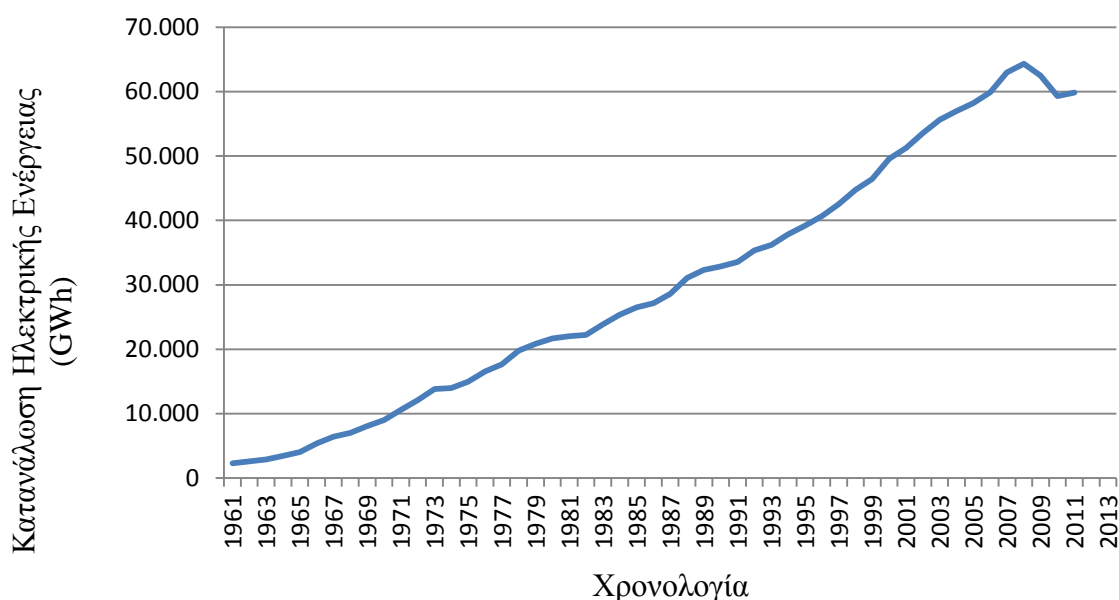
Στα δύο πρώτα γραφήματα βλέπουμε την εξέλιξη της αγοράς οχημάτων στην Ελλάδα τα τελευταία 30 χρόνια. Στην εικόνα 3.8 φαίνεται το άθροισμα καινούριων και μεταχειρισμένων αυτοκινήτων που αγοράστηκαν.



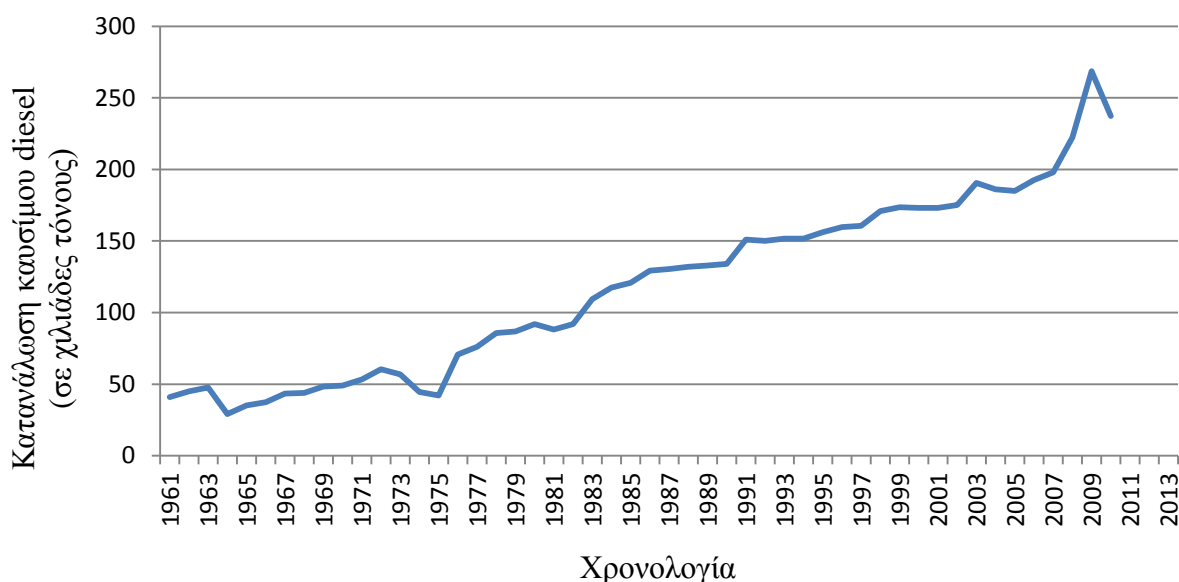
Εικόνα 3.8: Εξέλιξη αγοράς καινούριων και μεταχειρισμένων οχημάτων στην Ελλάδα (Πηγή: <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>)

3.4 Αύξηση Ενεργειακής Κατανάλωσης

Η ενεργειακή κατανάλωση, όπως φαίνεται και στα τρία επόμενα διαγράμματα, αυξανόταν διαρκώς μέχρι το 2008, όπου άρχισε να μειώνεται λόγω της οικονομικής κρίσης (εικόνα 3.9). Ίδια εξέλιξη και για την κατανάλωση καυσίμου diesel στον τομέα των οδικών μεταφορών (εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.9: Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh στην Ελλάδα για την περίοδο 1961- 2013 (Πηγή: <http://www.garpminder.org/data/>)



Εικόνα 3.10: Κατανάλωση καυσίμου diesel στον τομέα των οδικών μεταφορών κατά άτομο, σε kg ισοδύναμου πετρελαίου (Πηγή: <http://www.garpminder.org/data/>)

4 Σταθμοί

4.1 Παρουσίαση των σταθμών

Στην ανάλυση που ακολουθεί χρησιμοποιήθηκε πλήθος σταθμών σε διαφορετική κλίμακα.

Σε κλίμακα 10 λεπτών καθώς επίσης και σε κλίμακα έτους (κεφ. 5- 6) χρησιμοποιήθηκαν οι εξής σταθμοί από το δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (www.meteo.gr):

❖ Περιοχή Αττικής (Κεφ 5.2.1, 5.2.3):

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά των σταθμών που αναλύθηκαν σε κλίμακα 10' και έτους στην περιοχή της Αττικής

Περιοχή	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Θέση	σε τι χώρο· (χώμα/ταράτσα)
Κέντρο	Αθήνα- Γκάζι	50	Αθήνα 9.84	σε οροφή κτιρίου
	Αμπελόκηποι	150	6ο ΕΠΑΛ	σε οροφή κτιρίου
Προάστια υψηλής δόμησης	Ν. Κόσμος	50	Νέος Κόσμος	σε οροφή κτιρίου
	Νέα Σμύρνη	51	4ο Δημ. Σχολείο	σε οροφή κτιρίου
	Πατήσια	90	49ο ΓΕΛ Αθηνών	σε ταράτσα
	Περιστέρι	55	ΚΥΒΕ Περιστερίου	σε ταράτσα
Προάστια χαμηλής δόμησης- πράσινο	Άνω Λιόσια	182	1ο ΕΠΑΛ	σε οροφή κτιρίου
	Μαρούσι	255	εντός οικισμού	σε οροφή κτιρίου
	Ψυχικό	209	Γυμνάσιο Κολλεγίου Ψυχικού	σε οροφή κτιρίου
Εκτός λεκανοπεδίου	Κάντζα	221	Δημοτικό Σχολείο	σε γρασίδι
	Μαρκόπουλο	104		σε ταράτσα
	Σπάτα	144	Εκπαιδευτήρια Ζηρίδη	σε χώμα
Βουνά	Υμηττός- κορυφή	1011	Κεραίες	σε χώμα
	Πάρνηθα	1230	Βάση Ναυτικού (ΣΔΑΜ)	σε χώμα

Οι καταγραφές των θερμοκρασιών στην περιοχή της Αττικής έγιναν τα διήμερα:

- 14- 15 Νοεμβρίου 2013
- 11- 12 Δεκεμβρίου 2013
- 1- 2 Ιανουαρίου 2014
- 22- 23 Ιανουαρίου 2014
- 16- 17 Φεβρουαρίου 2014
- 5- 6 Μαρτίου 2014
- Συνολικά, ως μέσος όρος, για τις παραπάνω καταγραφές

Σε κλίμακα μήνα με ακρίβεια 10 λεπτών, για Ιανουάριο- Απρίλιο- Ιούλιο- Οκτώβριο (κεφ. 5.2.2) χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για ένα χαρακτηριστικό σταθμό από κάθε κατηγορία στην Αττική, κατόπιν επικοινωνίας με τους διαχειριστές τους (πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά των σταθμών που αναλύθηκαν σε κλίμακα 10' για τους τέσσερις χαρακτηριστικούς μήνες στην περιοχή της Αττικής

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Θέση	σε τι χώρο;;	Παραχώρηση δεδομένων από
Αθήνα, στο Γκάζι	50	Δημοτικό ραδιόφωνο Αθήνα 9.84	ταράτσα	κ. Βουγιούκα Στρατή
Νέος Κόσμος	50	Νέος Κόσμος Αττικής	ταράτσα	κ. Τσουράπα Αλέξανδρο
Μαρούσι	255	Εντός οικισμού	ταράτσα	κ. Βουγιούκα Στρατή
Κάντζα	221	Δημοτικό Σχολείο Κολλεγίου Κάντζας	έδαφος	κ. Αχλάδη Νίκο
Υμηττός- κορυφή	1011	Κεραίες	έδαφος	κ. Βουγιούκα Στρατή
Πάρνηθα	1230	Βάση Ναυτικού (ΣΔΑΜ)	έδαφος	κ. Βουγιούκα Στρατή

❖ Επιπλέον πόλεις (Κεφ 6):

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά των εκτός Αττικής σταθμών που αναλύθηκαν

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Θέση	σε τι χώρο;; (έδαφος/ταράτσα)
Θεσσαλονίκη (Καλαμαριά)	5	Ναυτικό Ομίλος Θεσσαλονίκης	έδαφος
Λαγκαδάς	87	Λουτρά Λαγκαδά	έδαφος
Πάτρα Λιμάνι	6	Φάρος Λιμένος Πατρών	έδαφος
Ρίο	2	Λιμενκό Τμήμα Ρίου	έδαφος
Πάτρα Ρωμανός	228	Ρωμανός Πατρών	ταράτσα
Ηράκλειο Δυτικά	85	Οικία Μιγάλη Δρετάκη	έδαφος
Κνωσσός	115	Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης	
Ηράκλειο Λιμάνι	10	Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης	ταράτσα
Λάρισα	82	6ο Γενικό Λύκειο Λάρισας	χώμα
Αγιά Λάρισας	167	ΕΠΑΛ Αγιάς	χώμα
Χανιά κέντρο	7	Κέντρο πόλης	ταράτσα
Βρύσες Χανίων	58	Δημαρχείο Κρυονερίδας	ταράτσα
Πύργος Ηλείας	22	Πύργος Ηλείας	ταράτσα
Κατάκολο	2	Λιμάνι	έδαφος
Αρχαία Ολυμπία	45	Δημαρχείο Αρχαίας Ολυμπίας	ταράτσα
Αμαλιάδα	26	Βιολογικός καθαρισμός Δήμου Αμαλιάδας	έδαφος
Ωλένη Ηλείας	61	Κέντρο Νεότητας Μαγούλας	έδαφος
Βόλος	52	Οικία Μ. Σπηλιωτόπουλου	ταράτσα
Πορταριά Πηλίου	600	Domotel Xenia Portaria	ταράτσα
Πρέβεζα	12	Κανάλι	ταράτσα
Λευκάδα	12	Μαρίνα Λευκάδας	ταράτσα
Αρτα (περιοχή Βλαχέρνας)	50	Βλαχέρνα, οικία Κ. Βίτσιου	ταράτσα
Κομπότι Αρτας	75	Δημαρχείο Κομποτίου	ταράτσα
Μεγαλόπολη	432	Γενικό Λύκειο Μεγαλόπολης	έδαφος
Λυκόχεια Αρκαδίας	870	Εντός οικισμού	έδαφος
Πτολεμαΐδα	600	Αναπτυξιακή Δημ. Επιχείρηση Πτολεμαΐδας	ταράτσα
Άρδασα Κοζάνης	625	Άρδασα Κοζάνης	έδαφος

Οι καταγραφές των θερμοκρασιών για τις εκτός Αττικής περιοχές έγιναν τα διήμερα:

- 27- 28 Ιανουαρίου 2014, όπου επικράτησαν χαμηλές θερμοκρασίες
- 29- 30 Ιανουαρίου 2014, όπου είχαμε αύξηση της θερμοκρασίας
- 5- 6 Μαρτίου 2014

Εκτός του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για τη σύγκριση θερμοκρασιών σε κλίμακα 10 λεπτών καθώς επίσης και σε κλίμακα έτους, χρησιμοποιήθηκαν οι σταθμοί που φαίνονται στον Πίνακα 4.4. Επίσης, στον Πίνακα 4.5 φαίνονται οι εξής σταθμοί από το δίκτυο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) που χρησιμοποιήθηκαν σε μηνιαία κλίμακα.

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά επιπλέον σταθμών για τη σύγκριση σε κλίμακα 10'

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Θέση	Πηγή
Θεσσαλονίκη- κέντρο	5	πλατεία Ναυαρίνου	κ. Τσιουκανάρας Αθανάσιος, www.meteothes.gr
Καλαμάτα – Νησάκι	27	κέντρο Καλαμάτας	http://system.deucalionproject.gr
Αρφαρά Μεσσηνίας	96	Αρφαρά Μεσσηνίας	http://system.deucalionproject.gr

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά σταθμών EMY

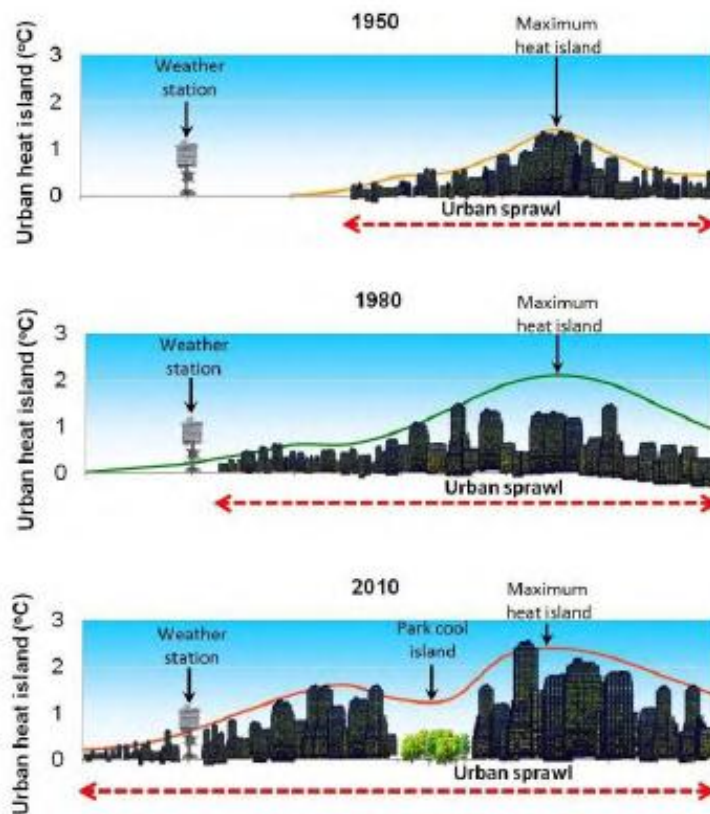
Σταθμός	Υψόμετρο (m)	σε τι χώρο· (έδαφος/ταράτσα)
Αγρίνιο	24	αεροδρόμιο
Αλεξανδρούπολη	2,5	αεροδρόμιο
Αργοστόλι	25	αεροδρόμιο
Άρτα	50	ταράτσα
Αστεροσκοπείο		
Βόλος	14	ταράτσα
Ελληνικό		αεροδρόμιο
Ζάκυνθος	4	αεροδρόμιο
Ηράκλειο	39	αεροδρόμιο
Θεσσαλονίκη	4	
Θήρα	37	
Ιεράπετρα	5	
Ιωάννινα	483	αεροδρόμιο
Καβάλα	5	
Καλαμάτα	8	αεροδρόμιο
Κέρκυρα	1	
Κοζάνη	625	αεροδρόμιο
Κόρινθος		
Κύθηρα	316	
Κύμη	242	
Λάρισα	72	αεροδρόμιο
Λήμνος	3	αεροδρόμιο

Μεθώνη	51	
Μήλος	162	
Μυτιλήνη	4	αεροδρόμιο
Νάξος	7	
Ορεστιάδα	22	
Πάτρα	6	αεροδρόμιο
Ρόδος	11	
Σάμος	6	αεροδρόμιο
Σέρρες	34	
Σητεία	114	αεροδρόμιο
Σκύρος	22	αεροδρόμιο
Τρίκαλα	163	
Τρίπολη	651	αεροδρόμιο
Φιλαδέλφεια	141	
Φλώρινα	617	
Χαλκίδα	200	
Χανιά	150	
Χίος	5	

4.2 Αξιολόγηση των σταθμών

Η τοποθεσία των σταθμών και τα χαρακτηριστικά της γύρω περιοχής επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις θερμοκρασίες που καταγράφονται. Στους σταθμούς που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία, αναφέρουμε πάντα σε τι σημείο βρίσκεται ο κάθε σταθμός που χρησιμοποιήθηκε από το δίκτυο της Αττικής. Παρατηρούμε ότι στην ανάλυσή μας υπάρχουν σταθμοί σε οροφές κτιρίων, άλλοι σε χώμα και άλλοι σε γρασίδι. Είναι λογικό ότι ένας σταθμός στην οροφή ενός κτιρίου στο κέντρο μίας πόλης θα δείξει διαφορετική θερμοκρασία από ότι αν ήταν σε μικρή απόσταση, αλλά σε γρασίδι και λίγο έξω από το κέντρο της πόλης.

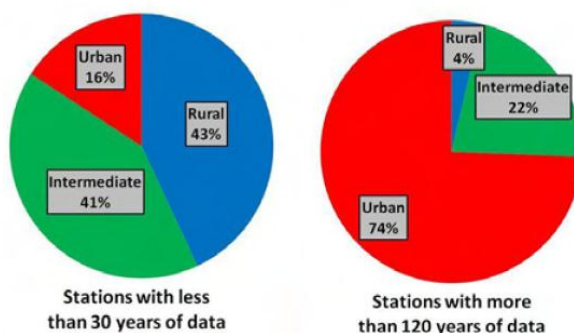
Επίσης, οι σταθμοί μπορούν να επηρεαστούν ακόμα και αν βρίσκονται σε πάρκο σε ένα αστικό κέντρο, όπως δείχνει η εικόνα 4.1. Οι καμπύλες γραμμές δείχνουν την επιρροή της θερμικής νησίδας σε κάθε περιοχή. Αν ένας σταθμός ήταν σε αγροτική περιοχή, η οποία με τα χρόνια εξελίχθηκε σε αστική, τότε ο σταθμός θα αρχίσει να επηρεάζεται από τη θερμική νησίδα.



Εικόνα 4.1: Σχηματικό διάγραμμα της ανάπτυξης της αστικής θερμικής νησίδας σε έναν υποθετικό σταθμό, ο οποίος ενώ ήταν αγροτικός, με την πάροδο των ετών περικυκλώθηκε από ένα αστικό περιβάλλον (Connolly και Connolly, 2014).

Οι αστικές περιοχές καλύπτουν μόλις το 1% της επιφάνειας της Γης, οπότε η αστικοποίηση δε φαίνεται να έχει επίδραση στην παγκόσμια θερμοκρασία. Ωστόσο, οι περισσότεροι από τους καλύτερα συντηρημένους σταθμούς και με πολλά χρόνια καταγραφών βρίσκονται μέσα ή στο άκρο αστικών κέντρων. Αυτό συμβαίνει επειδή, πριν από το σύγχρονο αυτοματοποιημένο τρόπο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, οι μετεωρολογικοί σταθμοί απαιτούσαν προσωπικό για να παίρνει τις μετρήσεις και να συντηρεί τον εξοπλισμό. Ως εκ τούτου, υπήρχε η τάση να τοποθετούνται σε περιοχές εύκολα προσβάσιμες, όπως είναι οι κατοικήσιμες περιοχές (Connolly και Connolly, 2014). Μάλιστα, στο παρελθόν, μερικές εταιρείες πλήρωναν προσωπικό επιπλέον χρήματα για να συντηρεί σταθμούς σε απομακρυσμένες περιοχές. Για παράδειγμα, στο μετεωρολογικό σταθμό στο βουνό Santis στην Ελβετία καταγράφονταν καθημερινές παρατηρήσεις με το χέρι από τη στιγμή που ιδρύθηκε το 1882, μέχρι την εγκατάσταση ενός αυτοματοποιημένου μετεωρολογικού σταθμού στα τέλη του 1970 (Begert et al., 2005). Ωστόσο, είναι δύσκολο να βρεθούν σταθμοί με συνεχείς πολυετείς μετρήσεις που να είναι καλοσυντηρημένοι και να μην έχουν επηρεαστεί από καμία μορφή αστικοποίησης σε όλα τα έτη των καταγραφών. Πράγματι, τα τελευταία χρόνια, η τοποθεσία του σταθμού στο όρος Santis, έχει μετατραπεί σε δημοφιλή ορεινό προορισμό.

Το ποσοστό των σταθμών σε αγροτικές περιοχές με συνεχή, πολυετή δεδομένα θερμοκρασίας είναι πολύ χαμηλό σε περιοχές εκτός των ΗΠΑ. Για παράδειγμα, μόνο 6 από τους 225 σταθμούς του Δικτύου Παγκόσμιας Ιστορικής Κλιματολογίας (ποσοστό 2,7%), οι οποίοι ταξινομούνται ως αγροτικοί και έχουν δεδομένα για τουλάχιστον 95 από τα 100 χρόνια, βρίσκονται εκτός των ΗΠΑ (Connolly και Connolly, 2014). Επιπλέον πρόβλημα είναι ότι τα δεδομένα θερμοκρασιών από αγροτικούς σταθμούς είναι χαμηλότερης ποιότητας από αυτά των κοντινών αστικών και έχουν λιγότερα δεδομένα. Για παράδειγμα, μόλις 4% των σταθμών του Δικτύου Παγκόσμιας Ιστορικής Κλιματολογίας με περισσότερα από 120 χρόνια δεδομένων ορίζονται ως αγροτικοί. Αντιστοίχως, μόνο το 16% των σταθμών που με λιγότερα από 30 έτη μετρήσεων ορίζονται ως αστικοί (εικόνα 4.2). Επίσης, οι αγροτικοί σταθμοί είναι πιο πιθανό να έχουν μεγάλα κενά. Τέλος, πρέπει να προσεχθεί ότι ένας σταθμός που είναι τώρα σε αγροτική περιοχή, μπορεί να έχει μεταφερθεί από κάποια αστική περιοχή.

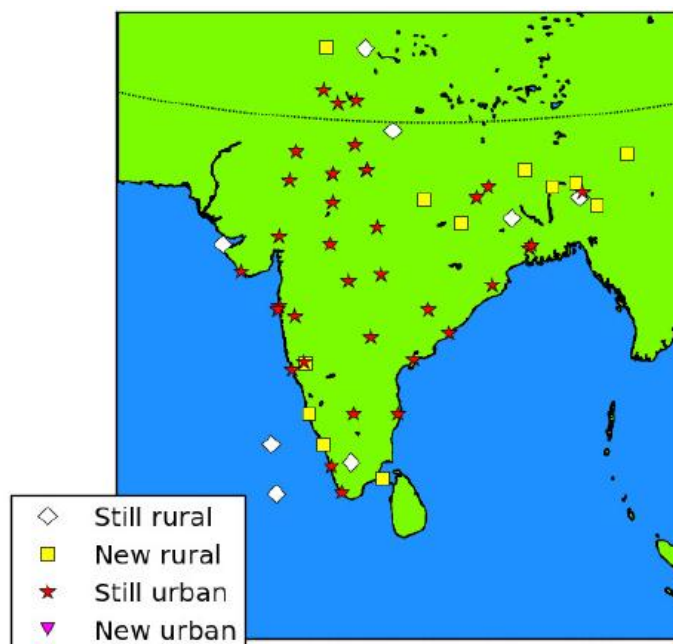


Εικόνα 4.2: Ποσοστά του βαθμού αστικοποίησης για τους σταθμούς του Δικτύου Παγκόσμιας Ιστορικής Κλιματολογίας με τα λιγότερα (αριστερά) και περισσότερα (δεξιά) έτη δεδομένων (Πηγή: Connolly και Connolly, 2014).

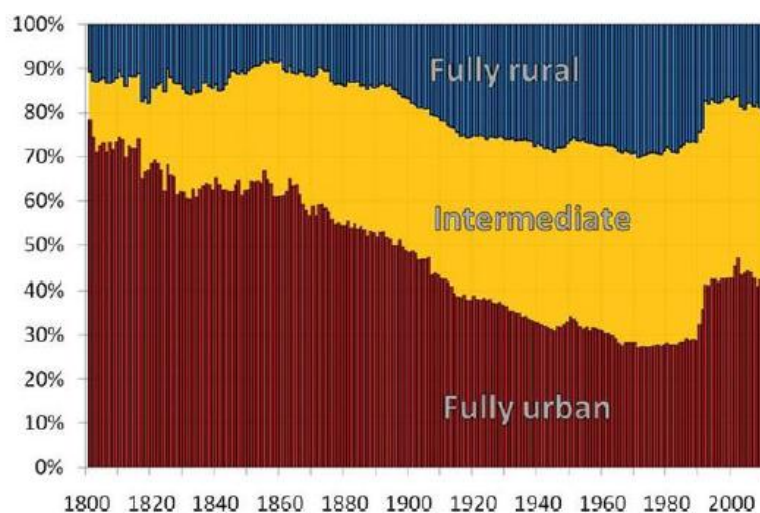
Επιπλέον πρόβλημα όταν προσπαθούμε να ποσοτικοποιήσουμε την ένταση της αστικής θερμικής νησίδας είναι ότι υπάρχουν ελάχιστοι αστικοί σταθμοί που έχουν σε κοντινή απόσταση κάποιον αγροτικό με συνεχείς καταγραφές, ώστε να μπορούν να συγκριθούν. Αυτό συμβαίνει επειδή πόλεις με μεγάλη βαθμό αστικοποίησης συνήθως περιβάλλονται από ημι-αστικοποιημένες περιοχές. Αυτό σημαίνει ότι στις περιοχές που είναι πιο πιθανό να υπάρχει μεγαλύτερη ένταση της θερμικής νησίδας, οι πλησιέστεροι αγροτικοί σταθμοί πιθανώς να είναι σε μεγάλη απόσταση.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται για σταθμούς που εγκαταστάθηκαν σε αγροτική περιοχή, η οποία μετά αναπτύχθηκε πολύ και μετατράπηκε σε ημι-αστική ή αστική. Στην εικόνα 4.3 φαίνεται η αλλαγή της κατηγοριοποίησης των σταθμών της NASA το 2011, σε σχέση με το πώς είχαν κατηγοριοποιηθεί οι ίδιοι σταθμοί το 2001. Με λευκό χρώμα είναι οι σταθμοί που παρέμειναν αγροτικοί, ενώ με κόκκινο αυτοί που παρέμειναν σε αστική περιοχή. Με κίτρινα τετράγωνα σημειώνονται οι σταθμοί που ενώ το 2001 χαρακτηρίστηκαν αστικοί, τώρα χαρακτηρίζονται ως αγροτικοί, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τους μωβ σταθμούς. Στην εικόνα 4.4 φαίνεται το ποσοστό των

σταθμών του Παγκόσμιου Δικτύου που έχουν χαρακτηριστεί ως αστικοί, ημιαστικοί και αγροτικοί για κάθε έτος στο διάστημα 1800- 2010.



Εικόνα 4.3: Χάρτης με τις θέσεις όλων των σταθμών της NASA για την Ινδία και κατά πόσο άλλαξε η κατηγοριοποίησή τους τα τελευταία 10 χρόνια (Πηγή: Connolly και Connolly, 2014).



Εικόνα 4.4: Το ποσοστό των σταθμών του Παγκόσμιου Δικτύου που έχουν χαρακτηριστεί ως αστικοί, ημιαστικοί και αγροτικοί για κάθε έτος (Πηγή: Connolly και Connolly, 2014).

Οι περισσότερες μελέτες καταλήγουν ότι τουλάχιστον το τρίτο έως και οι μισοί μετεωρολογικοί σταθμοί παγκοσμίως έχουν υποστεί κάποιο βαθμό αστικοποίησης (Connolly και Connolly, 2014). Ο Fujibe (2009) είπε ότι παγκοσμίως, οι σταθμοί ανεξάρτητα από την πυκνότητα πληθυσμού έδειξαν αύξηση της θερμοκρασίας την περίοδο 1979- 2006. Ωστόσο, οι σταθμοί σε περιοχές με πυκνότητα πληθυσμού

μεγαλύτερη από $1,000 \text{ km}^{-2}$ είχαν περισσότερη από 50% παραπάνω θέρμανση από ότι αυτοί με πυκνότητα πληθυσμού μικρότερη από 30 km^{-2} , ενώ ακόμα και οι σταθμοί με χαμηλό ποσοστό αστικοποίησης (πυκνότητα 30- 100 κάτοικοι ανά km^{-2}) έδειξαν περισσότερη από 10% επιπλέον άνοδο της θερμοκρασίας.

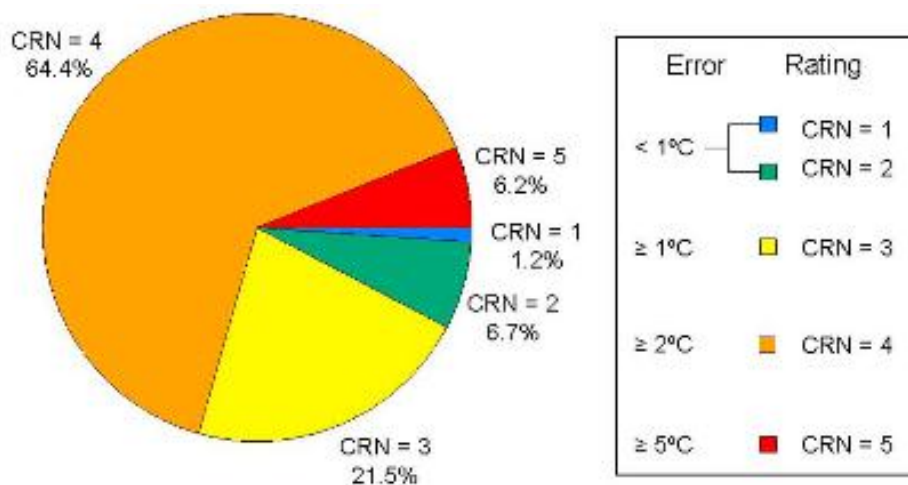
Την επίδραση αυτού του τύπου των χαρακτηριστικών στις μετρήσεις των σταθμών προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει ο καθηγητής Pielke από το Πανεπιστήμιο του Κολοράντο μαζί με τον Antony Watts και άλλους, δημιουργώντας το Surface Stations Project (<http://www.surfacestations.org/>). Η ιδέα ήταν μέσα από πολύ απλές οδηγίες, όποιος θέλει εθελοντικά να ανεβάσει φωτογραφίες από οποιοδήποτε σταθμό στην Αμερική, έτσι ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί η ορθή λειτουργία του σε σχέση με τις δραστηριότητες και τις επιφάνειες που βρίσκονται κοντά του (Pielke et al, 2007).

Για να αξιολογήσουν την ποιότητα των χαρακτηριστικών του σταθμού, χρησιμοποίησαν τον κανονισμό που χρησιμοποιεί το ίδιο το NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Σύμφωνα με το άρθρο 2.2 του Kim Reference Network (CRN), "*η καταλληλότερη θέση για ένα σταθμό είναι μία σχετικά μεγάλη και επίπεδη περιοχή με χαμηλή τοπική βλάστηση, έτσι ώστε η ορατότητα του ουρανού να μην εμποδίζεται σε καμία διεύθυνση*". Με αυτόν τον τρόπο ορίζονται πέντε επίπεδα αξιοπιστίας των σταθμών, που κυμαίνονται από τον περισσότερο στο λιγότερο αξιόπιστο (Watts, 2009):

- 1) Επίπεδο 1 (CRN1) - Επίπεδη και οριζόντια περιοχή που περιβάλλεται από μία καθαρή επιφάνεια με κλίση μικρότερη από 19 βαθμούς και βλάστηση χαμηλή, ύψους λιγότερου από 10 εκατοστά. Αισθητήρες σε απόσταση τουλάχιστον 100 μέτρων από οποιαδήποτε τεχνητή πηγή θέρμανσης ή επιφάνειες με υψηλή αντανακλαστικότητα, όπως κτίρια, επιφάνειες από μπετόν, και χώρους στάθμευσης. Μακριά από τα μεγάλα υδατικά συστήματα, εκτός εάν είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής, και τότε σε απόσταση τουλάχιστον 100 μέτρων. Καμία σκιά, όταν ο ήλιος είναι σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 3 βαθμούς.
- 2) Επίπεδο 2 (CRN2) - Ίδια χαρακτηριστικά με το επίπεδο 1 με τις ακόλουθες διαφορές: Ύψος βλάστησης μικρότερο από 25 εκατοστά. Καμία τεχνητή πηγή θέρμανσης σε απόσταση 30 m. Καμία σκιά, όταν το υψόμετρο του ήλιου είναι μεγαλύτερο από 5 βαθμούς.
- 3) Επίπεδο 3 (CRN3) (σφάλμα $\geq 1^\circ\text{C}$) - Το ίδιο με το επίπεδο 2, με την απαγόρευση τεχνητών πηγών θέρμανσης σε απόσταση 10 μέτρων.
- 4) Επίπεδο 4 (CRN4) (σφάλμα $\geq 2^\circ\text{C}$) - Τεχνητές πηγές θέρμανσης σε λιγότερο από 10 μέτρα.
- 5) Επίπεδο 5 (CRN5) (σφάλμα $\geq 2^\circ\text{C}$) - Αισθητήρας θερμοκρασίας δίπλα ή πάνω από μια τεχνητή πηγή θέρμανσης, όπως κτίριο, ταράτσα, πάρκινγκ, ή επιφάνεια του σκυροδέματος.

Με αυτόν τον τρόπο έχουν αξιολογηθεί οι 1007 από τους 1221 μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου των ΗΠΑ και η κατάταξη φαίνεται στην εικόνα 4.5. Το αποτέλεσμα ήταν ότι το 89% των σταθμών (σχεδόν 9 στους 10) δεν καλύπτουν τη

προδιαγραφή της Αμερικάνικης Μετεωρολογικής Υπηρεσίας ότι οι σταθμοί πρέπει να είναι τουλάχιστον 30 μέτρα μακριά από οποιαδήποτε πηγή θερμότητας ή ακτινοβολίας- αντανάκλασης. Έτσι, οι συντριπτική πλειοψηφία τους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες αστικοποίησης, όπως σκυρόδεμα, άσφαλτος, κλιματιστικά, δρόμοι, αεροδιάδρομοι κ.ά.



Εικόνα 4.5: Τα αποτελέσματα της κατάταξης των 1007 από τους 1221 μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου των ΗΠΑ (ποσοστό 82.5% του συνόλου) σε επίπεδα αξιοπιστίας (Fall et al, 2011).

Με αυτή τη λογική αξιολογήσαμε ενδεικτικά κάποιους από τους μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ελλάδα. Πρέπει να τονιστεί, βέβαια, ότι όταν εγκαταστάθηκε ο κάθε σταθμός πιθανόν η γύρω περιοχή να μην είχε επηρεαστεί από ανθρωπογενείς παράγοντες, και όπως επεκτάθηκαν οι πόλεις τελικά να περικύκλωσαν και την τοποθεσία του κάθε σταθμού.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι αυτά που ακολουθούν:

1) Σταθμός στα Πατήσια



Εικόνα 4.6: Ο μετεωρολογικός σταθμός στα Πατήσια, Αθήνα.

Ο σταθμός στα Πατήσια βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου του 49^{ου} Γενικού Λυκαίου Αθηνών, δίπλα στην οδό Αχαρνών που έχει υψηλή κυκλοφορία αυτοκινήτων. Άρα ο σταθμός ανήκει στο επίπεδο 5 (CRN5).

2) Σταθμός Αθήνας στο Γκάζι



Εικόνα 4.7: Ο μετεωρολογικός σταθμός στο Γκάζι.

Ο σταθμός στο Γκάζι βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου του 9.84, δίπλα στην οδό Πειραιώς που έχει υψηλή κυκλοφορία αυτοκινήτων. Άρα ο σταθμός ανήκει στο επίπεδο 5 (CRN5).

3) Σταθμός Ζωγράφου



Εικόνα 4.8: Η τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή Ζωγράφου.

Μετεωρολογικός Σταθμός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου βρίσκεται στη νοτιανατολική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης, στους πρόποδες του Υμηττού, σε απόσταση μεγαλύτερη από 100 m από το πλησιέστερο κτίριο. Ωστόσο, επειδή υπάρχει βλάστηση μεγαλύτερη από 10 cm στην περιοχή, ο σταθμός τοποθετείται στο επίπεδο 2 (CRN2).



Εικόνα 4.9: Η ομάδα του έργου.

4) Σταθμός Αμπελοκήπων



Εικόνα 4.10: Ο μετεωρολογικός σταθμός στους Αμπελόκηπους, Αθήνα.

Ο σταθμός στους Αμπελόκηπους βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου του 6^{ου} ΕΠΑΛ, δίπλα στην οδό Μιχαλακοπούλου που έχει υψηλή κυκλοφορία αυτοκινήτων. Άρα ο σταθμός ανήκει στο επίπεδο 5 (CRN5).

5) Σταθμός στα Άνω Λιόσια



Εικόνα 4.11: Ο μετεωρολογικός σταθμός στα Άνω Λιόσια

Ο σταθμός στα Άνω Λιόσια βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου του 1^{ου} ΕΠΑΑ, με αποτέλεσμα να ανήκει στο επίπεδο 5 (CRN5).

6) Σταθμός Σερρών



Εικόνα 4.12: Ο μετεωρολογικός σταθμός στις Σέρρες.

Ο νέος σταθμός του δήμου Σερρών βρίσκεται εννέα χιλιόμετρα από την πόλη των Σερρών, στην ορεινή Χρυσοπηγή. Καμία πηγή θέρμανσης δε βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων, οπότε ο σταθμός ανήκει στο επίπεδο 1 (CRN1).

7) Σταθμός Κάντζας



Εικόνα 4.13: Ο μετεωρολογικός σταθμός στην Κάντζα.

Ο σταθμός στην Κάντζα βρίσκεται στο Δημοτικό Σχολείο Κολλεγίου Ψυχικού, σε γρασίδι. Η απόστασή του από το πλησιέστερο κτίριο καλύπτει το όριο των 30 m, με αποτέλεσμα να ανήκει στο επίπεδο 2 (CRN2).

8) Σταθμός Νάξου



Εικόνα 4.14: Ο μετεωρολογικός σταθμός στη Νάξο.

Ο σταθμός στη Νάξο βρίσκεται μέσα στην πόλη της Νάξου, πολύ κοντά στο λιμάνι, και μάλιστα δίπλα από σύστημα φωτοβολταϊκών. Άρα ο σταθμός βρίσκεται σε σημείο υψηλής κυκλοφορίας, άρα ανήκει στο επίπεδο 5 (CRN5).

9) Σταθμός Μεθώνης



Εικόνα 4.15: Ο μετεωρολογικός σταθμός στη Μεθώνη Μεσσηνίας.

Ο σταθμός στη Μεθώνη βρίσκεται 300 m μακριά από το πλησιέστερο κτήριο, με αποτέλεσμα να ανήκει στο επίπεδο 1 (CRN 1). Η βλάστηση είναι χαμηλή και απέχει 700 m από τη θάλασσα, η οποία όμως είναι χαρακτηριστική για την περιοχή της Μεθώνης.

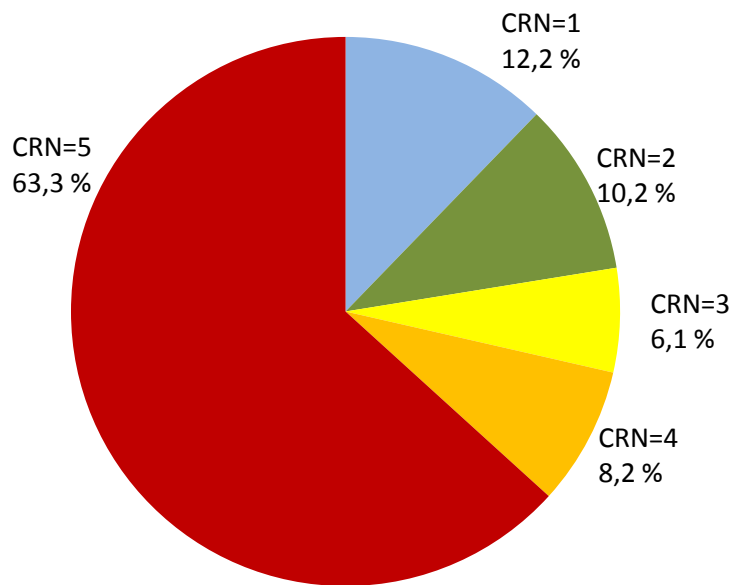
Εκτός από τους σταθμούς για τους οποίους είχαμε φωτογραφίες, έγινε εκτίμηση και για υπόλοιπους σταθμούς προσεγγιστικά με τη χρήση google maps. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.6

Πίνακας 4.6: Προσεγγιστική κατάταξη των σταθμών σε επίπεδα CRN

Σταθμός	Επίπεδο CRN	Αιτιολογία
Αγρίνιο	5	στο στρατιωτικό αεροδρόμιο
Αλεξανδρούπολη	5	στο αεροδρόμιο
Αργοστόλι	5	στο αεροδρόμιο
Άρτα	2	σε απόσταση 60m από τα σπίτια
Βόλος	5	στο αεροδρόμιο
Ζάκυνθος	5	στο αεροδρόμιο
Ηράκλειο	5	στο αεροδρόμιο
Θεσσαλονίκη (EMY)	5	στο αεροδρόμιο
Θήρα	5	στο κέντρο της πόλης
Ιεράπετρα	3	σε απόσταση 20m από το πλησιέστερο σπίτι
Ιωάννινα	5	στο αεροδρόμιο
Καβάλα	5	στο αεροδρόμιο της Χρυσούπολης
Κέρκυρα	4	σε απόσταση 10 m από πηγή θέρμανσης
Κοζάνη	2	σε απόσταση 50 m από πηγή θέρμανσης
Κόρινθος	4	σε απόσταση 10 m από πηγή θέρμανσης
Κύθηρα	1	σε απόσταση 1 km από πηγή θέρμανσης
Κύμη	1	δεν εμποδίζεται από καμία πηγή θέρμανσης
Λάρισα	5	στο αεροδρόμιο
Λήμνος	5	στο αεροδρόμιο
Μαρκόπουλο	5	σε οροφή κτηρίου
Μαρούσι	5	σε οροφή κτηρίου
Μήλος	3	σε απόσταση 20m από το πλησιέστερο σπίτι
Μυτιλήνη	5	στο αεροδρόμιο
Νέα Σμύρνη	5	σε οροφή κτηρίου
Νέος Κόσμος	5	σε οροφή κτηρίου
Ορεσιτιάδα	4	σε απόσταση 10 m από πηγή θέρμανσης
Πάρνηθα	1	δεν εμποδίζεται από καμία πηγή θερμότητας
Πάτρα	5	στο αεροδρόμιο
Περιστέρι	5	σε οροφή κτηρίου
Ρόδος	5	στο αεροδρόμιο
Σητεία	5	στο αεροδρόμιο
Σπάτα	3	σε χώμα, απόσταση 10 m από κτίριο
Τρίκαλα	2	σε απόσταση 50m από πηγή θέρμανσης
Τρίπολη	4	σε απόσταση 10 m από πηγή θέρμανσης

Σταθμός	Επίπεδο CRN	Αιτιολογία
Υμηττός- κορυφή	1	δεν εμποδίζεται από καμία πηγή θερμότητας
Φιλαδέλφεια	5	στο αστικό κέντρο, δίπλα από μεγάλη λεωφόρο
Φλώρινα	5	στο κέντρο της πόλης
Χαλκίδα	5	στην οροφή κτηρίου στο κέντρο της πόλη
Χανιά	5	στο αεροδρόμιο της Σούδας
Ψυχικό	5	σε οροφή κτηρίου

Εκτός αυτών υπήρξαν και 32 σταθμοί ακόμα, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, αλλά δεν μπόρεσαν να κατηγοριοποιηθούν. Στην εικόνα 4.16 φαίνονται η κατανομή των σταθμών μας σε επίπεδα αξιοπιστίας. Παρατηρούμε ότι περίπου δύο στους τρεις σταθμούς ανήκουν στην κατηγορία CRN5, το οποίο οφείλεται στο ότι οι περισσότεροι σταθμοί έχουν τοποθετηθεί σε οροφή κτιρίου. Ωστόσο, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των Fall et al (2011) για το δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών των ΗΠΑ (εικόνα 4.5), έχουμε περισσότερους σταθμούς στις κατηγορίες CRN1 και CRN2.



Εικόνα 4.16: Τα αποτελέσματα της κατάταξης των 49 σταθμών μας

5. Μελέτη της θερμικής αστικής νησίδας στην περιοχή της Αττικής

5.1 Σταθμοί

Μελετήσαμε τις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των προαστίων της Αθήνας. Ως σταθμό αναφοράς χρησιμοποιήσαμε το σταθμό στο Γκάζι (στην Πειραιώς, στην οροφή του Αθήνα 9.84) και όλες οι υπόλοιπες περιοχές μελετήθηκαν ως προς τη διαφορά θερμοκρασίας από αυτόν. Επίσης, συγκρίναμε τις διαφορές θερμοκρασίας σε δύο βουνά: τον Υμηττό, ο οποίος βρίσκεται πιο κοντά στο πυκνοκατοικημένο λεκανοπέδιο, και την Πάρνηθα. Λάβαμε υπόψη μας τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 5.1) και τη θερμοβαθμίδα για κάθε μήνα (Πίνακας 5.2) σε όλες τις καταγραφές θερμοκρασίας. Έτσι, σε αυτό το κεφάλαιο όποτε μιλάμε για θερμοκρασία και διαφορές θερμοκρασιών, εννοούμε ότι έχουν προηγουμένως προσαρμοστεί οι τιμές βάσει του υψομέτρου και της θερμοβαθμίδας.

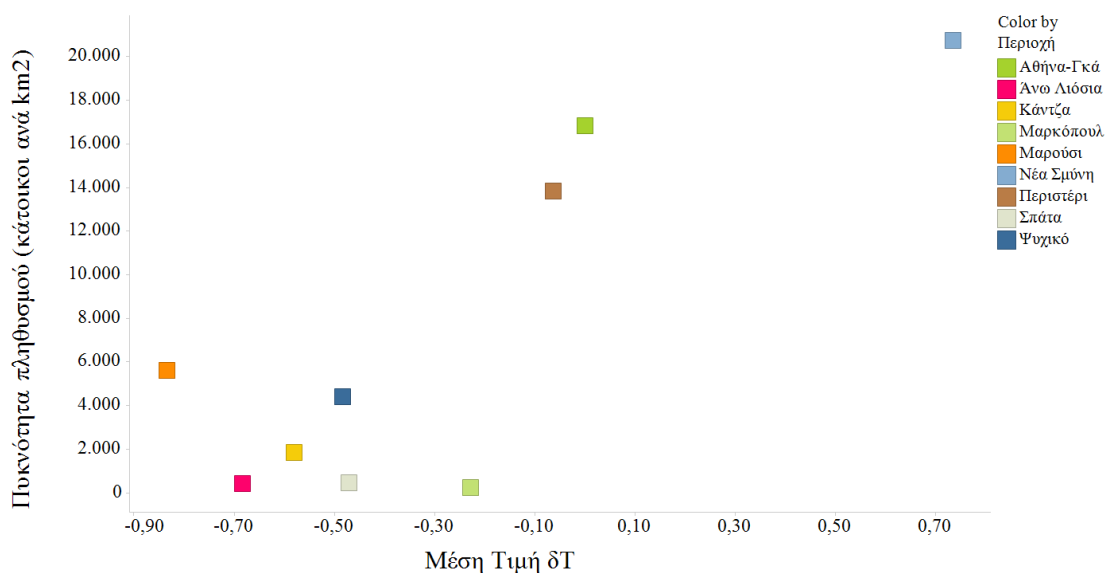
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά σταθμών

Περιοχή	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Θέση	σε τι χώρο· (χώμα/ταράτσα)
Κέντρο	Αθήνα - Γκάζι	50	Αθήνα 9.84	σε οροφή κτιρίου
	Αμπελόκηποι	150	6ο ΕΠΑΛ	σε οροφή κτιρίου
Προάστια υψηλής δόμησης	Ν. Κόσμος	50	Νέος Κόσμος	σε οροφή κτιρίου
	Νέα Σμύρνη	51	4ο Δημ. Σχολείο	σε οροφή κτιρίου
	Πατήσια	90	49ο ΓΕΛ Αθηνών	σε ταράτσα
	Περιστέρι	55	ΚΥΒΕ Περιστερίου	σε ταράτσα
Προάστια χαμηλής δόμησης -πράσινο	Άνω Λιόσια	182	1ο ΕΠΑΛ	σε οροφή κτιρίου
	Μαρούσι	255	εντός οικισμού	σε οροφή κτιρίου
	Ψυχικό	209	Γυμνάσιο Κολλεγίου Ψυχικού	σε οροφή κτιρίου
Εκτός λεκανοπεδίου	Κάντζα	221	Δημοτικό Σχολείο	σε γρασίδι
	Μαρκόπουλο	104		σε ταράτσα
	Σπάτα	144	Εκπαιδευτήρια Ζηρίδη	σε χώμα

Πίνακας 5.2: Τιμές της θερμοβαθμίδας για κάθε μήνα

Ιανουάριος	0.31
Φεβρουάριος	0.38
Μάρτιος	0.56
Απρίλιος	0.63
Μάιος	0.63
Ιούνιος	0.63
Ιούλιος	0.61
Αύγουστος	0.59
Σεπτέμβριος	0.59
Οκτώβριος	0.53
Νοέμβριος	0.43
Δεκέμβριος	0.34

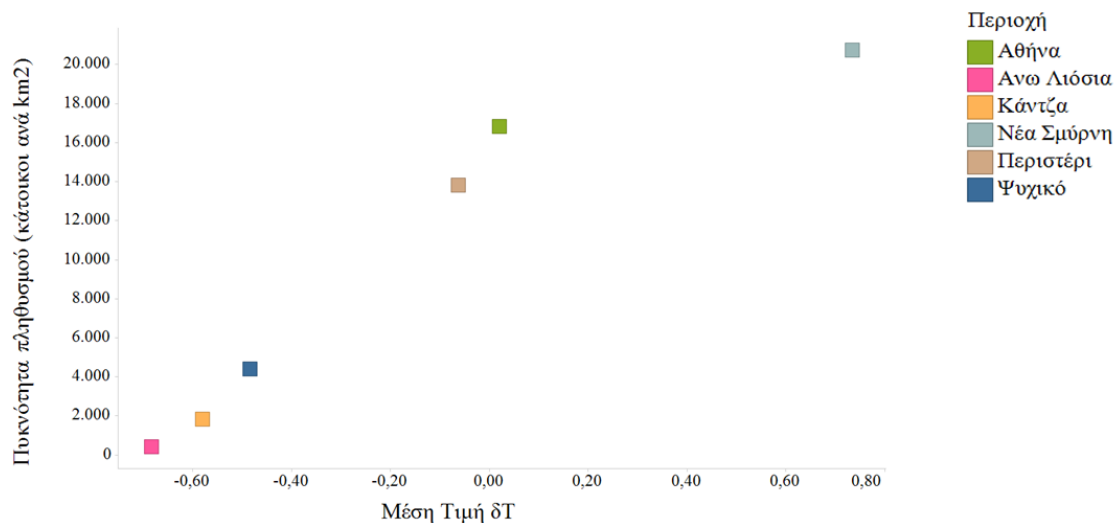
Ακολουθώντας, προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε πιθανή συσχέτιση της πυκνότητας του πληθυσμού κάθε περιοχής με τη διαφορά θερμοκρασίας που έχει από το Γκάζι. Σε γενικές γραμμές, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.1, μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού οδηγεί σε μεγαλύτερη θερμοκρασία, το οποίο έχει αναφερθεί από όσους έχουν ερευνήσει το φαινόμενο, και κυρίως από τον Oke (1973) και για την περίπτωση της Αθήνας από τον Santamouris (2001).



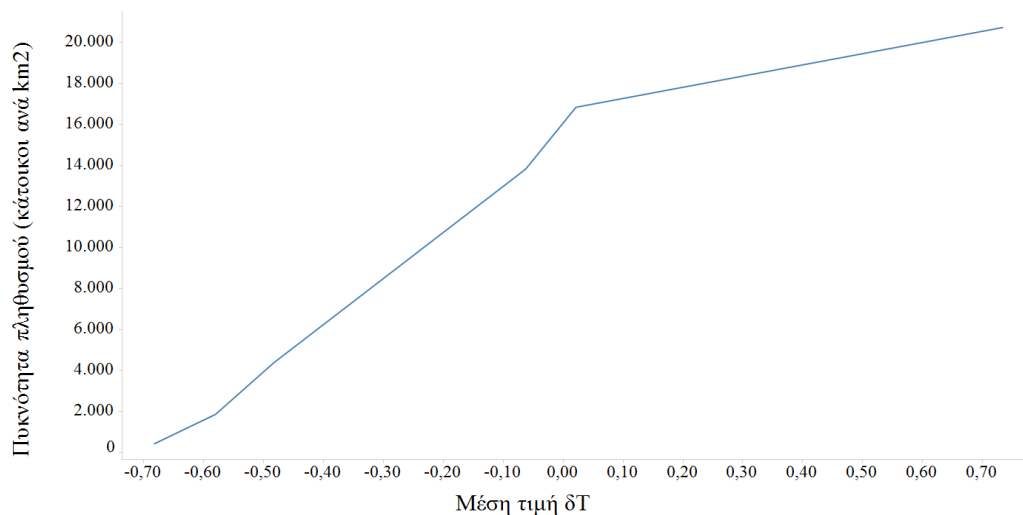
Εικόνα 5.1: Συσχέτιση πυκνότητας πληθυσμού για διάφορα προάστια της Αττικής με τη μέση διαφορά θερμοκρασίας από το σταθμό στο Γκάζι.

Σε δεύτερο βαθμό, προσπαθήσαμε να κρατήσουμε μόνο σταθμούς με συγκρίσιμα χαρακτηριστικά. Έτσι, αφαιρέσαμε το Μαρούσι λόγω των υψηλών επιπέδων φυτικής κάλυψης, η οποία δε συναντάται σε κανένα από τα υπόλοιπα προάστια. Επίσης, πρέπει να προσέξουμε ότι η πυκνότητα πληθυσμού υπολογίζεται ως το πηλίκο του πληθυσμού μίας περιοχής διά τη συνολική έκτασή της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, περιοχές όπως το Μαρκόπουλο και τα Σπάτα να μην έχουν αντιπροσωπευτική τιμή πυκνότητας πληθυσμού, καθώς αποτελούνται από ένα κέντρο εμπορικό το οποίο είναι σχετικά πυκνοκατοικημένο και μία πολύ μεγάλη έκταση υπερβολικά αραιοκατοικημένη. Ουσιαστικά, στο ίδιο προάστιο υπάρχουν μεγάλες αυξομειώσεις στην πυκνότητα πληθυσμού από περιοχή σε περιοχή. Ως εκ τούτου, αφαιρέσαμε και το Μαρκόπουλο και τα Σπάτα λόγω της μη αντιπροσωπευτικής πυκνότητας πληθυσμού.

Το νέο διάγραμμα (εικόνα 5.2) φανερώνει μία πολύ υψηλή συσχέτιση απόκλισης θερμοκρασίας με την πυκνότητα πληθυσμού. Μάλιστα, όπως φαίνεται και από την εικόνα 5.3, η συσχέτιση αυτή είναι σχεδόν γραμμική και η μέση διαφορά θερμοκρασίας αυξάνει όσο μεγαλώνει η πυκνότητα πληθυσμού. Το γεγονός πως οι περιοχές με υψηλή πυκνότητα, έχουν υψηλότερη θερμοκρασία έχουν αναφέρει οι Oke και Maxwell (1975), Connolly και Connolly (2014), καθώς και οι και οι Stathoroulou και Cartalis (2007) μελετώντας την περίπτωση της Αθήνας.

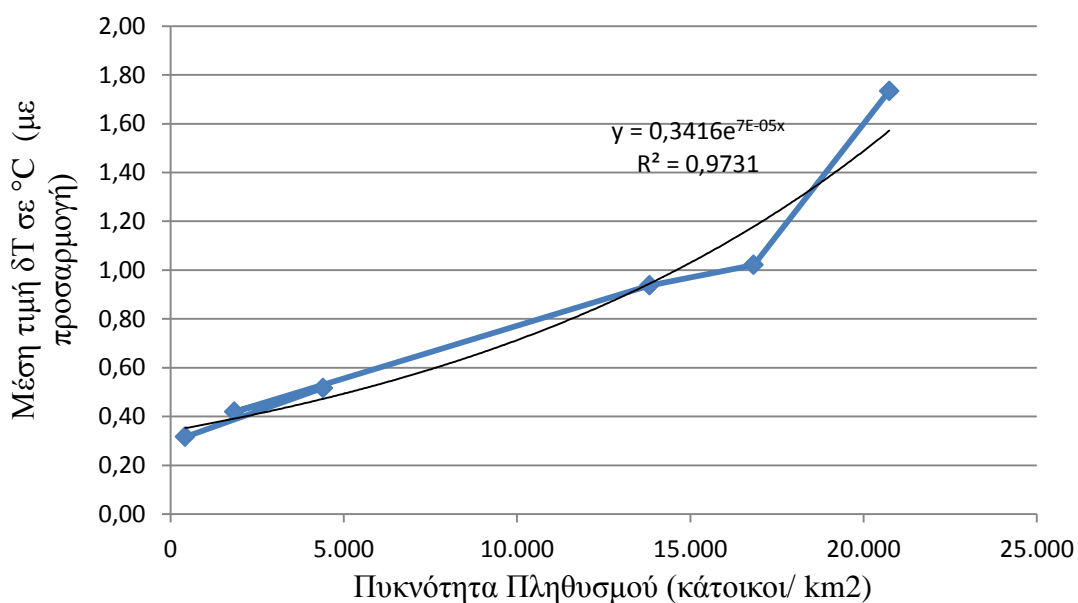


Εικόνα 5.2: Συσχέτιση πυκνότητας πληθυσμού με τη μέση διαφορά θερμοκρασίας μόνο για τους σταθμούς που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί



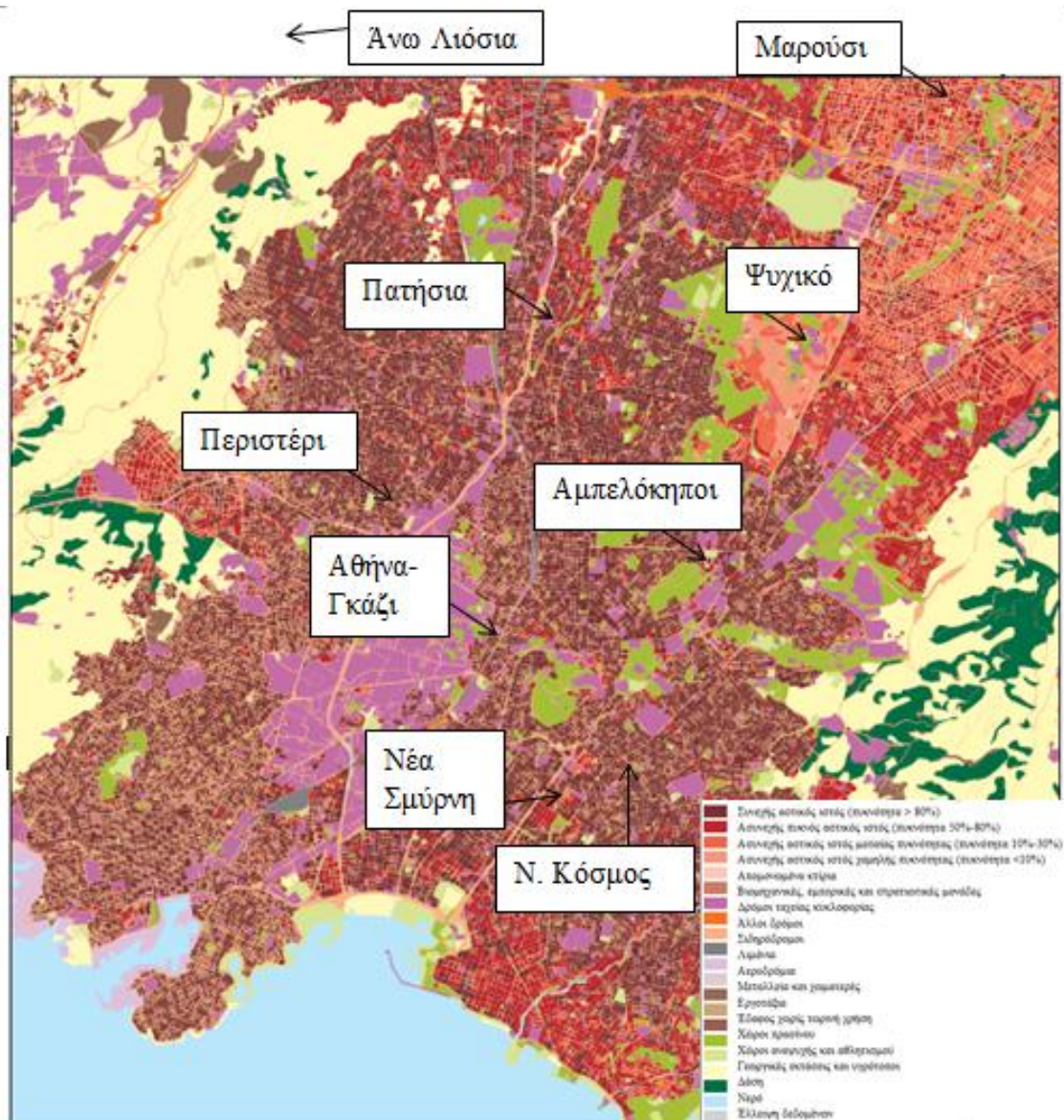
Εικόνα 5.3: Γραμμική συσχέτιση πυκνότητας πληθυσμού με τη μέση διαφορά θερμοκρασίας μόνο για τους σταθμούς που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί.

Σε αντίστοιχες μελέτες, οι Li et al (2012) και Mallick και Rahman (2012) κατέληξαν ότι αυτή η συσχέτιση πληθυσμού με θερμοκρασία είναι λογαριθμική. Εδώ, βέβαια, επιλέξαμε το διάγραμμα να γίνει για την απόκλιση της θερμοκρασίας και όχι για την ίδια τη θερμοκρασία. Για αυτό, υπάρχουν αρνητικές τιμές, με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να ερευνήσουμε αν υπάρχει λογαριθμική σχέση. Για λόγους σύγκρισης, προσθέσαμε τη μονάδα σε όλες τις τιμές, για να έχουμε μόνο θετικές τιμές, και όντως, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4 η συσχέτιση προέκυψε εκθετική. Αυτό βέβαια μπορεί να οφείλεται απλά στο γεγονός ότι είχαμε λίγους αντιπροσωπευτικούς σταθμούς, οπότε είναι δύσκολο να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.



Εικόνα 5.4: Εκθετική συσχέτιση της μέσης τιμής δΤ μετά από προσαρμογή με την πυκνότητα πληθυσμού.

Στην εικόνα 5.5, φαίνεται η ακριβής τοποθεσία των σταθμών του κέντρου, των προαστίων υψηλής δόμησης και των προαστίων χαμηλής δόμησης, ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού και των χρήσεων γης. Δεν απεικονίζονται οι σταθμοί που βρίσκονται σε περιοχές εκτός λεκανοπεδίου.



Εικόνα 5.5: Τοποθεσία των σταθμών της Αττικής, ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες κάθε περιοχής (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas/greece>).

Πρέπει να τονίσουμε ότι όταν αναφερόμαστε στη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, εννοούμε την απολύτως μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία.

Η σύγκριση μεταξύ των δύο σταθμών έγινε σε επίπεδο ημέρας (χρονικό βήμα 10'), σε επίπεδο μήνα (χρονικό βήμα ημερήσιο) και σε επίπεδο έτους (χρονικό βήμα μηνιαίο).

5.2 Σύγκριση προαστίων

5.2.1 Σε επίπεδο ημέρας (χρονικό βήμα 10 min)

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά στα προάστια με υψηλή δόμηση, ο Νέος Κόσμος και η Νέα Σμύρνη προέκυψαν θερμότερα από το Γκάζι (κατά 0.2 και 0.8 βαθμούς, αντίστοιχα). Αντιθέτως, τα Πατήσια και το Περιστερί έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά 0.2 και 0.1 βαθμούς αντίστοιχα. Όσον αφορά στα προάστια με χαμηλή δόμηση και περισσότερο πράσινο, η θερμοκρασία τους είναι χαμηλότερη από το Γκάζι. Στο Μαρούσι κατά 0.8°C, στο Ψυχικό κατά 0.5°C και στα Άνω Λιόσια κατά 0.7°C. Και οι περιοχές εκτός λεκανοπεδίου είναι πιο ψυχρές. Στην Κάντζα η μέση διαφορά είναι 0.6°C και στο Μαρκόπουλο 0.2°C. Τέλος, τα Σπάτα έχουν κατά 0.5°C χαμηλότερη θερμοκρασία. Το θερμοκρασιακό εύρος σε διάφορα προάστια της Αθήνας προσεγγίζει τους 2°C. Το εύρος της μέγιστης θερμοκρασίας είναι σχεδόν διπλάσιο από αυτό της ελάχιστης.

Όσον αφορά στην τυπική απόκλιση, στα προάστια με υψηλή δόμηση η τυπική απόκλιση είναι μικρή, πολύ μικρότερη από 1 βαθμό. Με άλλα λόγια, στο κέντρο της πόλης παρατηρούνται υψηλότερες τιμές με μικρότερη τυπική απόκλιση. Αντιθέτως, τα προάστια με χαμηλή δόμηση έχουν σαφώς μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, ενώ τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση παρουσιάζουν οι περιοχές εκτός λεκανοπεδίου, με αποκορύφωμα το Μαρκόπουλο.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι οι περιοχές εκτός λεκανοπεδίου καταγράφουν σαφώς χαμηλότερη θερμοκρασία. Αυτό είναι απολύτως λογικό καθώς οι περιοχές είναι πολύ πιο αραιοκατοικημένες, αλλά επίσης σε αυτές ο σταθμός βρίσκεται σε χόμα ή γρασίδι, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες σε οροφή κτιρίων.

Η σύγκριση των θερμοκρασιακών μεταβολών με χρονικό βήμα 10 min έγινε σε δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων:

α) Σε ενδεικτικές μετρήσεις διήμερης διάρκειας που ελήφθησαν ανάμεσα στο Νοέμβριο 2013- Μάρτιο 2014

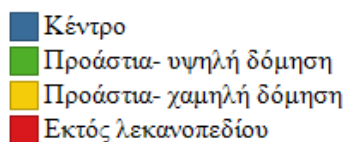
β) Στο σύνολο των θερμοκρασιακών καταγραφών ανά 10 min για τέσσερις ολόκληρους μήνες το 2013: Ιανουάριο- Απρίλιο- Ιούλιο- Οκτώβρη

A) Ενδεικτικές μετρήσεις διήμερης διάρκειας

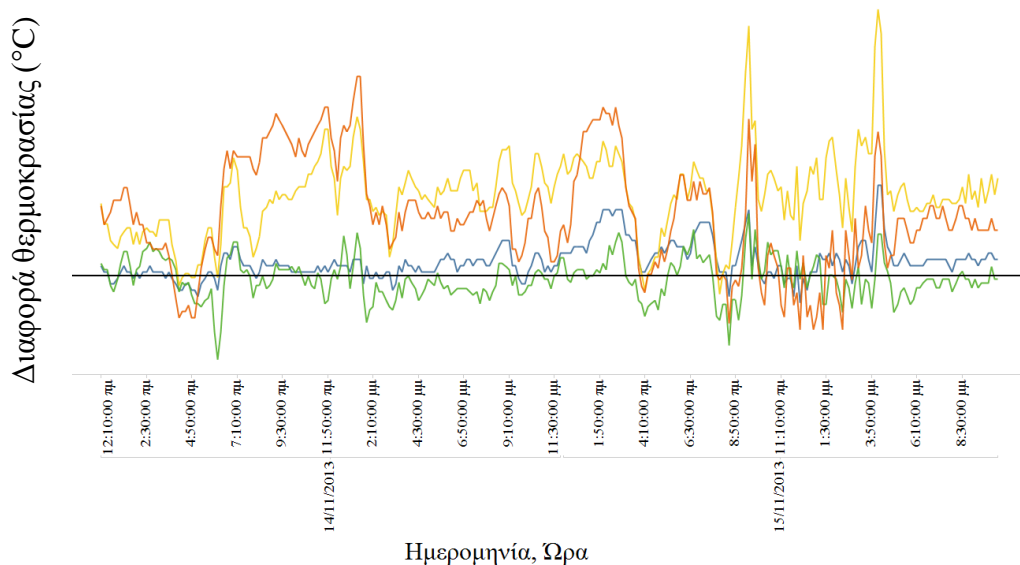
Η πρώτη διήμερη καταγραφή ανά χρονικά διαστήματα 10 λεπτών, ελήφθη Πέμπτη 14- Παρασκευή 15 Νοέμβρη 2013 (εικόνα 5.7). Το βράδυ οι περισσότερες περιοχές ήταν 0.4- 1°C ψυχρότερες από το Γκάζι (μέγιστη τιμή η Νέα Σμύρνη 1.40), ενώ τις υπόλοιπες ώρες το Γκάζι είναι από 1- 2.8°C θερμότερο (ελάχιστη τιμή στο Μαρούσι). Οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρήθηκαν 8 πμ- 2 μμ. Το κέντρο ήταν με διαφορά η πιο θερμή περιοχή το απόγευμα ως τις πρώτες πρωινές ώρες, ενώ από το μεσημέρι της δεύτερης μέρας η διαφορά άρχισε να μειώνεται. Οι περιοχές υψηλής δόμησης παρουσίασαν τις μέγιστες τιμές με την ανατολή του ηλίου (6- 8 πμ). Οι εκτός λεκανοπεδίου περιοχές ήταν πιο θερμές από τα προάστια χαμηλής δόμησης από τις 2

μμ ως τις 12 μμ, ενώ είχαν τη χαμηλότερη θερμοκρασία όλο το υπόλοιπο διάστημα. Το θερμοκρασιακό εύρος ήταν 1.12°C, ενώ η τυπική απόκλιση σε κανένα σταθμό δεν υπερέβη το 0.5°C.

Για λόγους ομοιομορφίας και σύγκρισης σε όλα τα διαγράμματα που ακολουθούν (εικόνες 5.7- 5.13) ακολουθούνται τα ακόλουθα χρώματα:

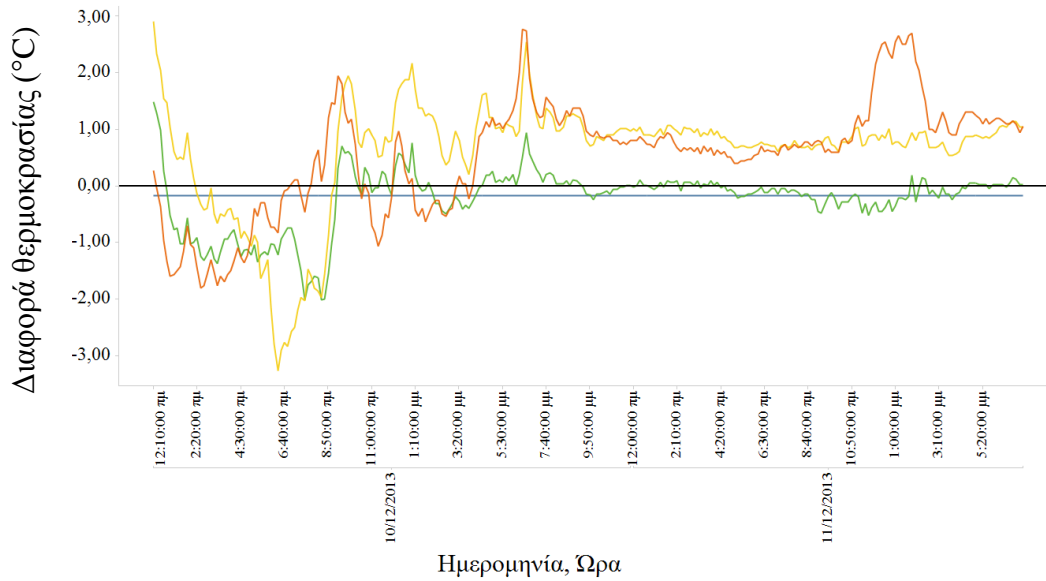


Εικόνα 5.6: Λεζάντα για τα χρώματα που ακολουθούνται στις εικόνες 5.7- 5.13



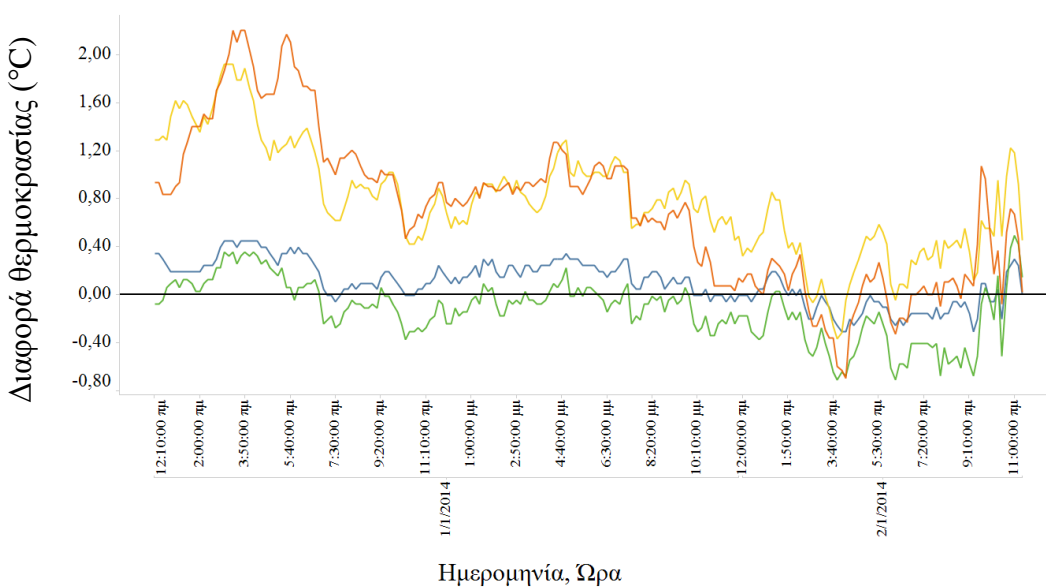
Εικόνα 5.7: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 14- 15 Νοέμβρη 2013 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.6)

Επόμενη μέτρηση έγινε την Τρίτη 10- Τετάρτη 11 Δεκέμβρη 2013 (εικόνα 5.8). Στιγμαία οι διαφορές που παρατηρήθηκαν ήταν πολύ μεγάλες. Στις 10 Δεκέμβρη, οι θερμοκρασιακές διαφορές ακολούθησαν αντίστροφη λογική. Από τις 2 το βράδυ ως τις 8 το πρωί οι περισσότερες περιοχές ήταν θερμότερες από το Γκάζι, ενώ από τις 7 ως τις 9 το πρωί όλες εκτός από τις εκτός λεκανοπεδίου. Ο Νέος Κόσμος ήταν κατά 2.7- 3.5 βαθμούς πιο θερμός, για τη Νέα Σμύρνη η μέγιστη τιμή έφτασε 3.9°C, ενώ σε Άνω Λιόσια, Μαρούσι και Μαρκόπουλο έφτασε τους 4°C διαφορά. Από τις 4 μμ στις 10 και όλη τη μέρα στις 11/12, το Γκάζι και οι περιοχές υψηλής δόμησης είχαν τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Ειδικά από τις 4 μμ ως τις 7 πμ, το κέντρο είχε τις υψηλότερες τιμές από όλες τις περιοχές, ενώ μετά τις 7 πμ αυτό συνέβη για τα προάστια υψηλής δόμησης. Οι εκτός λεκανοπεδίου περιοχές είχαν υψηλότερη θερμοκρασία από τα προάστια χαμηλής δόμησης 11 μμ- 12 πμ. Το θερμοκρασιακό εύρος της μέσης τιμής ήταν 2.09°C, τόσο της μέγιστης όσο και της ελάχιστης 4.5°C, ενώ η τυπική απόκλιση σε πολλούς σταθμούς υπερέβη τον 1°C. Οι μεγαλύτερες διαφορές καταγράφηκαν το βράδυ.



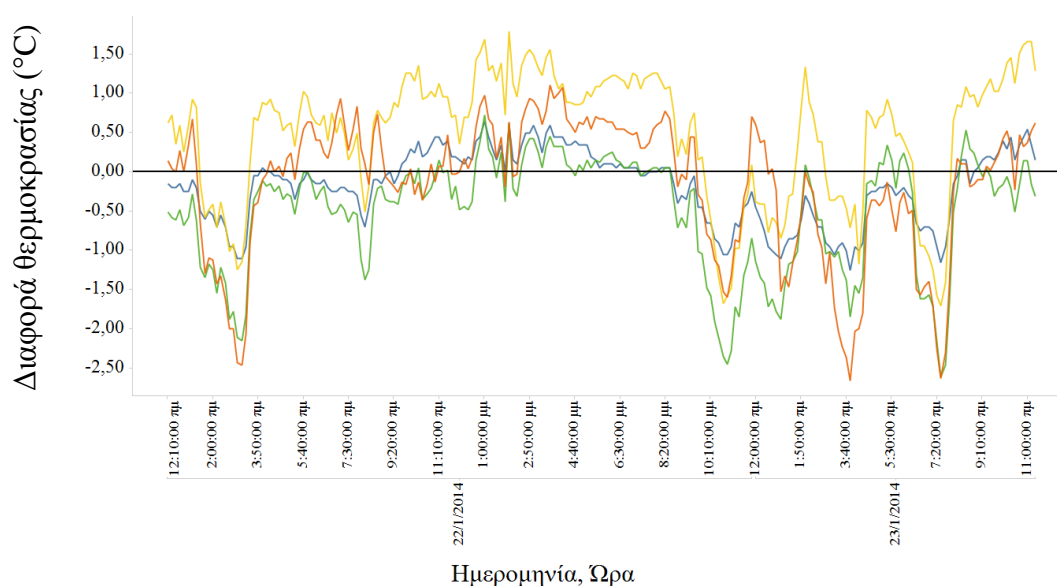
Εικόνα 5.8: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 10- 11 Δεκέμβρη 2013 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.6)

Στις 1-2 Ιανουαρίου 2014 (εικόνα 5.9), η θερμοκρασία φαίνεται να έχει την κατανομή που θα περιμέναμε αν δε λαμβάναμε υπόψη το φαινόμενο της θερμικής νησίδας. Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας τα προάστια υψηλής δόμησης είναι περίπου 0.2°C θερμότερα από το κέντρο και έπονται τα προάστια χαμηλής δόμησης και οι εκτός λεκανοπεδίου περιοχές. Αυτό το διήμερο, στα Νέα Λιόσια η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει ποτέ αυτή στο Γκάζι. Το θερμοκρασιακό εύρος της μέσης τιμής ήταν 1.7°C, ενώ η τυπική απόκλιση σε ελάχιστες περιπτώσεις υπερέβη τους 0.5°C. Αν προσέξουμε αυτό το διήμερο, θα παρατηρήσουμε ότι την 1^η Ιανουαρίου, ημέρα αργία, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας είναι λιγότερο έντονο.



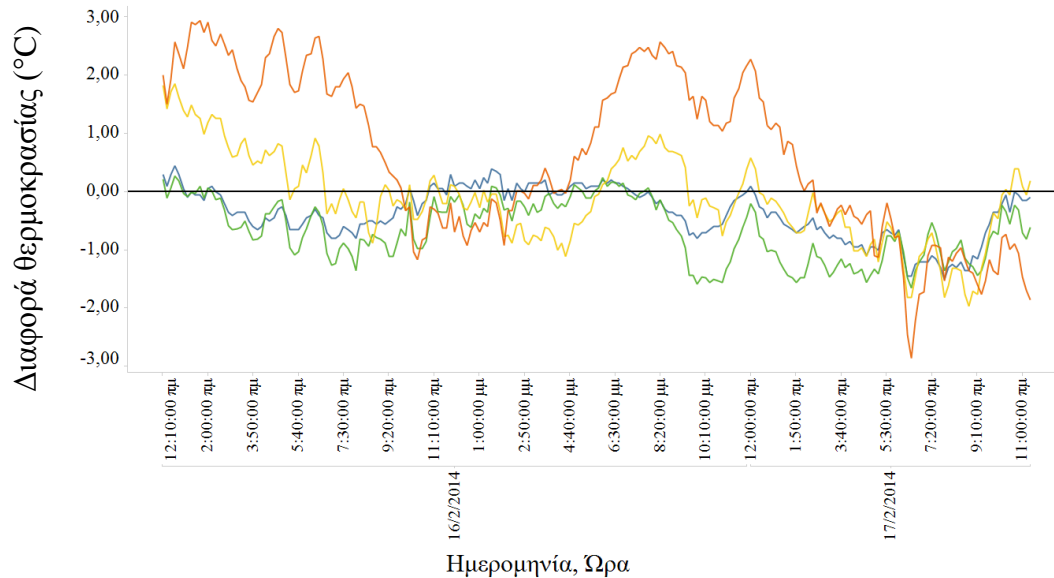
Εικόνα 5.9: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 1- 2 Ιανουαρίου 2014 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.6)

Στις 22- 23 Ιανουαρίου 2014 (εικόνα 5.10), οι περιοχές εκτός λεκανοπεδίου φαίνονται πολύ θερμές (για κάποια διαστήματα είναι οι πιο θερμές περιοχές). Από τις 2 μμ ως τις 8 μμ, όλες οι περιοχές έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από το κέντρο. Το θερμοκρασιακό εύρος της μέσης τιμής ήταν 1.8°C , ενώ η τυπική απόκλιση στους περισσότερους σταθμούς της τάξης του 1°C .



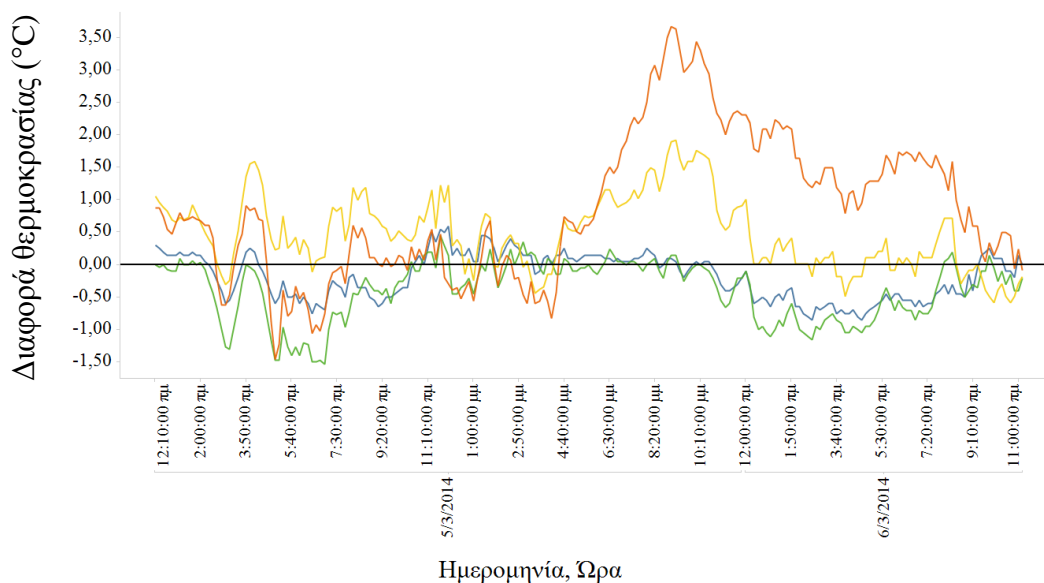
Εικόνα 5.10: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 22- 23 Ιανουαρίου 2014 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.6)

Επόμενη καταγραφή ήταν την Κυριακή 16- Δευτέρα 17 Φεβρουαρίου 2014 (εικόνα 5.11). Την Κυριακή, 16 Φεβρουαρίου, από τις 12 το βράδυ ως τις 9 πμ και από τις 7 μμ και μετά, το κέντρο και οι περιοχές υψηλής δόμησης έχουν κατά 1°C υψηλότερη θερμοκρασία από τις περιοχές χαμηλής δόμησης και κατά 3°C από τις εκτός λεκανοπεδίου περιοχές. Οι διαφορές αυτές μετά εξαλείφονται και από τις 10 πμ ως τις 4 μμ, η θερμοκρασία σε όλες τις περιοχές είναι σχεδόν ίση. Μάλιστα, από τις 11 πμ ως τις 2 μμ τη χαμηλότερη θερμοκρασία τη συναντάμε στο κέντρο. Το θερμοκρασιακό εύρος της μέσης τιμής ήταν 3.5°C , ενώ η τυπική απόκλιση είχε μεγάλη μεταβλητότητα, από 0.6°C (στα Πατήσια) ως 2.4°C (στην Κάντζα).



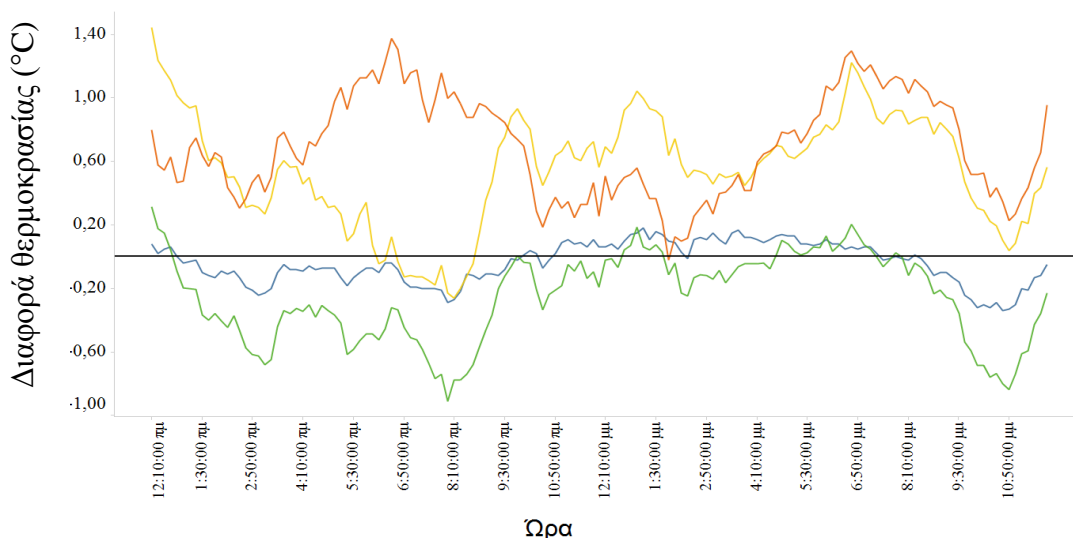
Εικόνα 5.11: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 16- 17 Φεβρουαρίου 2014 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.6)

Επόμενη καταγραφή ήταν την Τετάρτη 5- Πέμπτη 6 Μαρτίου 2014 (εικόνα 5.12). Όλη τη μέρα στις 5 Μαρτίου τα προάστια υψηλής δόμησης και το κέντρο ήταν θερμότερα από τα υπόλοιπα προάστια, με τις διαφορές να εξαλείφονται από 11.30 πμ έως 4 μμ. Από τότε, οι υπόλοιπες περιοχές ψύχθηκαν με πολύ πιο γρήγορο ρυθμό με αποτέλεσμα οι διαφορές θερμοκρασίας από το κέντρο να πάρουν υψηλές τιμές, με μέγιστη τους 4.9°C στις 8πμ στην Κάντζα. Οι θερμοκρασίες όλων των προαστίων από τις 7.30 πμ άρχισαν να συγκλίνουν και δύο ώρες μετά είχαν εξομοιωθεί. Το θερμοκρασιακό εύρος της μέσης τιμής ήταν 2.6°C, ενώ η τυπική απόκλιση στους περισσότερους σταθμούς της τάξης του 0.6°C, εκτός από τις εκτός λεκανοπεδίου περιοχές, στις οποίες είναι λίγο μεγαλύτερη από 1°C. Το εύρος της μέγιστης τιμής ήταν 5°C, διπλάσιο από το αντίστοιχο της ελάχιστης.



Εικόνα 5.12: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 5- 6 Μαρτίου 2014 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.6)

Τέλος, έγινε το γράφημα της μέσης απόκλισης των θερμοκρασιών από το Γκάζι για όλες τις διήμερες καταγραφές που αναλύθηκαν (εικόνα 5.13). Το γράφημα ακολουθεί την τυπική συμπεριφορά της έντασης της θερμικής νησίδας μέσα στη μέρα. Μέχρι τις 9 πμ τα προάστια υψηλής δόμησης ήταν λίγο πιο θερμά από το κέντρο, 1°C θερμότερα από τα προάστια χαμηλής δόμησης και 2°C θερμότερα από τις εκτός λεκανοπεδίου περιοχές. Οι διαφορές αυτές εξαλείφονται 11 πμ έως 4μμ. Το θερμοκρασιακό εύρος της μέσης τιμής ήταν 1.6°C, ενώ η τυπική απόκλιση στους περισσότερους σταθμούς της τάξης του 0.5°C, με μόνο τις εκτός λεκανοπεδίου περιοχές να έχουν μεγαλύτερες τιμές. Το εύρος της μέγιστης τιμής ήταν 2.3°C, ενώ το αντίστοιχο της ελάχιστης μεγαλύτερο.



Εικόνα 5.13: Διακύμανση του μέσου όρου της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι, για το σύνολο των διήμερων καταγραφών που έχουν συλλεχθεί (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.6)

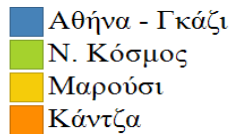
B) Σύνολο των θερμοκρασιακών καταγραφών ανά 10 min για τέσσερις μήνες το 2013

Για λόγους πληρότητας, η ίδια ανάλυση έγινε για ένα χαρακτηριστικό μήνα κάθε εποχής (Ιανουάριο- Απρίλιο- Ιούλιο- Οκτώβρη) με χρονικό βήμα 10 λεπτών για τέσσερις αντιπροσωπευτικούς σταθμούς- έναν από κάθε κατηγορία σταθμών.

- Αθήνα- Γκάζι από το κέντρο
- Νέο Κόσμο από προάστια υψηλής δόμησης
- Μαρούσι από προάστια χαμηλής δόμησης
- Κάντζα από εκτός λεκανοπεδίου περιοχές

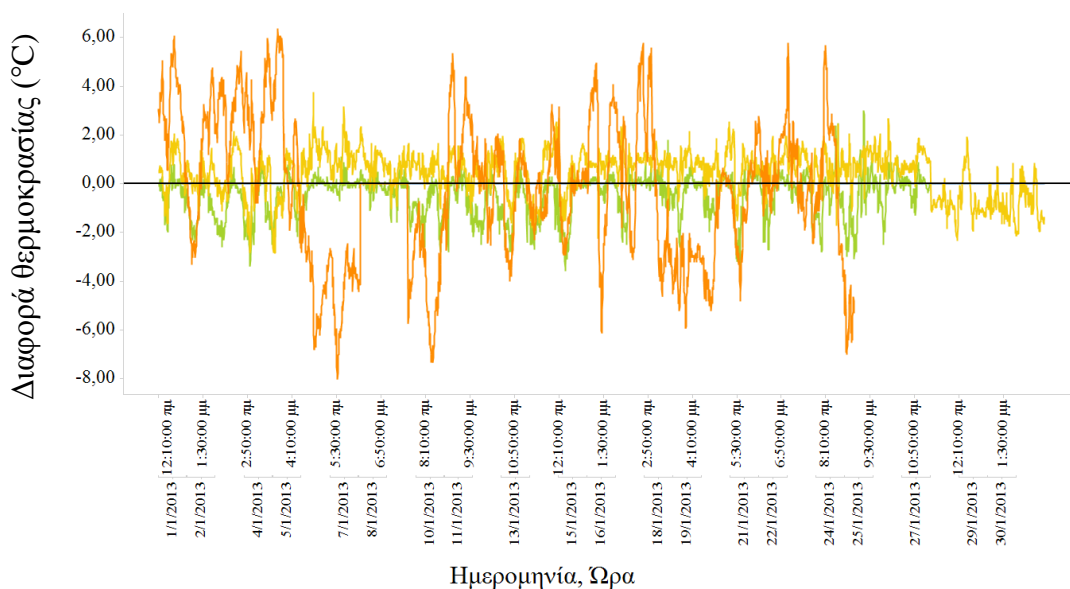
Στα διαγράμματα φαίνεται η απόκλιση της θερμοκρασίας κάθε σταθμού από αυτόν στην Αθήνα- Γκάζι.

Για λόγους ομοιομορφίας και σύγκρισης σε όλα τα διαγράμματα που ακολουθούν (εικόνες 5.15- 5.19) ακολουθούνται τα ακόλουθα χρώματα:



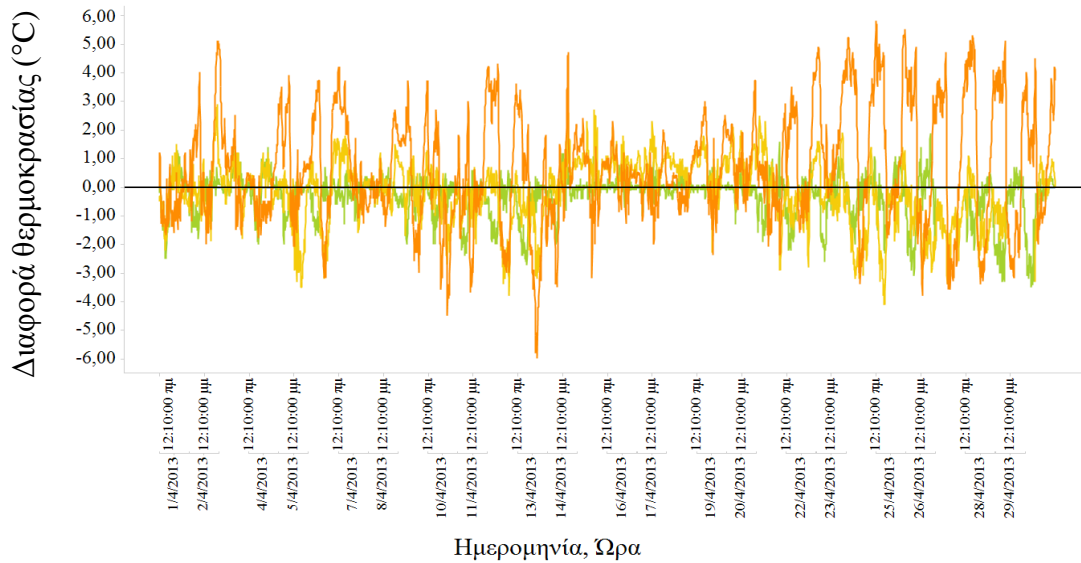
Εικόνα 5.14: Η λεζάντα για τα χρώματα που ακολουθούνται στις εικόνες 5.15- 5.19

Τον Ιανουάριο 2013 (εικόνα 5.15), ο Νέος Κόσμος είναι κατά μέσο όρο 0.5°C πιο θερμός από το Γκάζι, ενώ το Μαρούσι κατά 0.7°C πιο ψυχρό (εικόνα 5.15). Και για τους δύο σταθμούς η μέγιστη και η ελάχιστη απόκλιση θερμοκρασίας ήταν 3°C σε σχέση με το κέντρο. Πολύ μεγαλύτερες μεταβολές είχε η θερμοκρασία στην Κάντζα με μέγιστη και ελάχιστη απόκλιση να είναι της τάξης των 7°C . Γι' αυτό, στην Κάντζα η τυπική απόκλιση ήταν 3°C , ενώ στους άλλους σταθμούς λιγότερο από 1°C . Το εύρος ήταν $3,5^{\circ}\text{C}$ για τη μέγιστη και 5.2°C για την ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά.



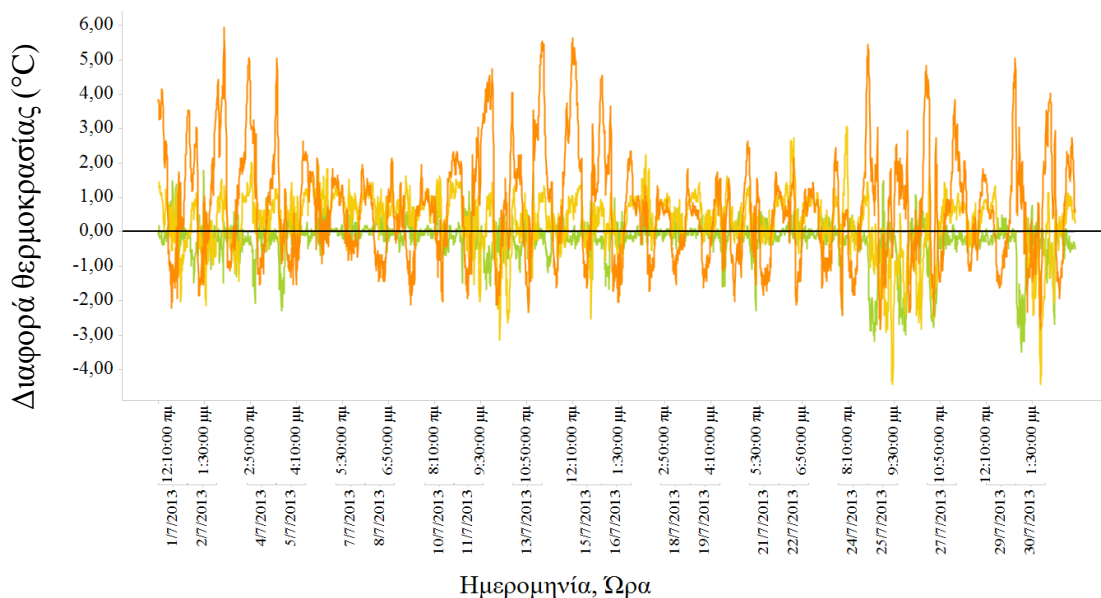
Εικόνα 5.15: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Ιανουάριο 2013 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.14)

Πιο ήπιες μεταβολές παρουσιάζονται τον Απρίλιο (εικόνα 5.16). Ο Νέος Κόσμος ήταν κατά 0.3°C πιο θερμός από το Γκάζι, ενώ ακόμα και το Μαρούσι είχε μεγαλύτερη θερμοκρασία από το Γκάζι. Η Κάντζα είχε κατά μέσο όρο 0.7°C χαμηλότερη θερμοκρασία από το Γκάζι. Μάλιστα, η Κάντζα είχε τη μεγαλύτερη τυπικά απόκλιση (2°C), και ακολούθησαν το Μαρούσι (1.1°C) και ο Νέος Κόσμος (0.8°C). Οι μεγαλύτερες τιμές που καταγράφηκαν για την Κάντζα ήταν 6°C , για το Μαρούσι 4°C και για το Νέο Κόσμο 3.5°C .



Εικόνα 5.16: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Απρίλιο 2013 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.14)

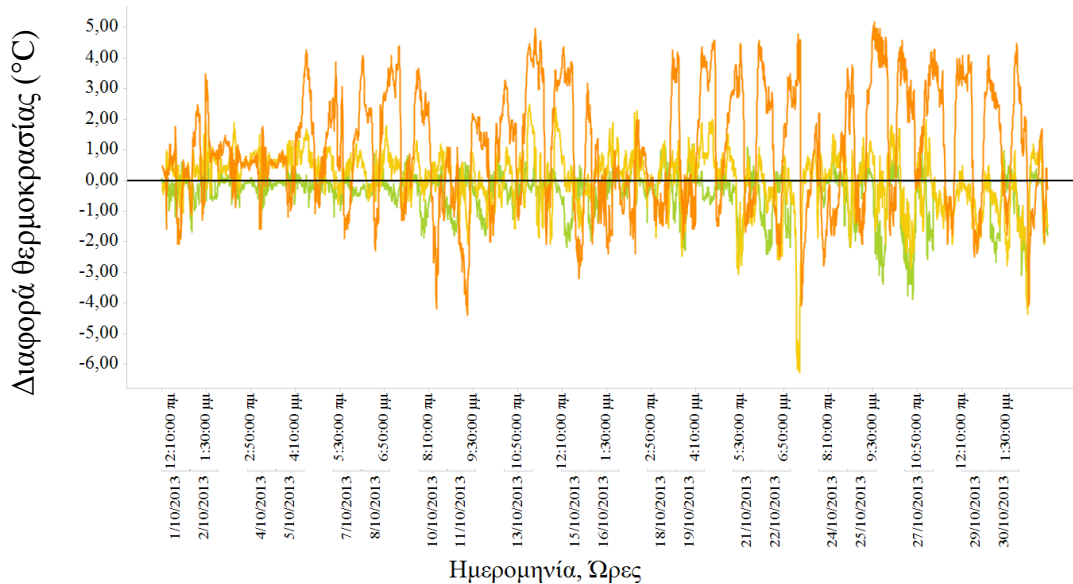
Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα και για τον Ιούλιο του 2013 (εικόνα 5.17). Ο Νέος Κόσμος ήταν κατά 0.2°C πιο θερμός από το Γκάζι, το Μαρούσι κατά 0.3°C πιο ψυχρό και η Κάντζα πιο ψυχρή κατά 0.7°C . Πάλι, η Κάντζα είχε τη μεγαλύτερη τυπικά απόκλιση (1.6°C), και ακολούθησαν το Μαρούσι (0.9°C) και ο Νέος Κόσμος (0.6°C). Οι μεγαλύτερες τιμές που καταγράφηκαν για την Κάντζα ήταν 6°C , για το Μαρούσι 4.5°C και για το Νέο Κόσμο 3.5°C .



Εικόνα 5.17: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Ιούλιο 2013 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.14)

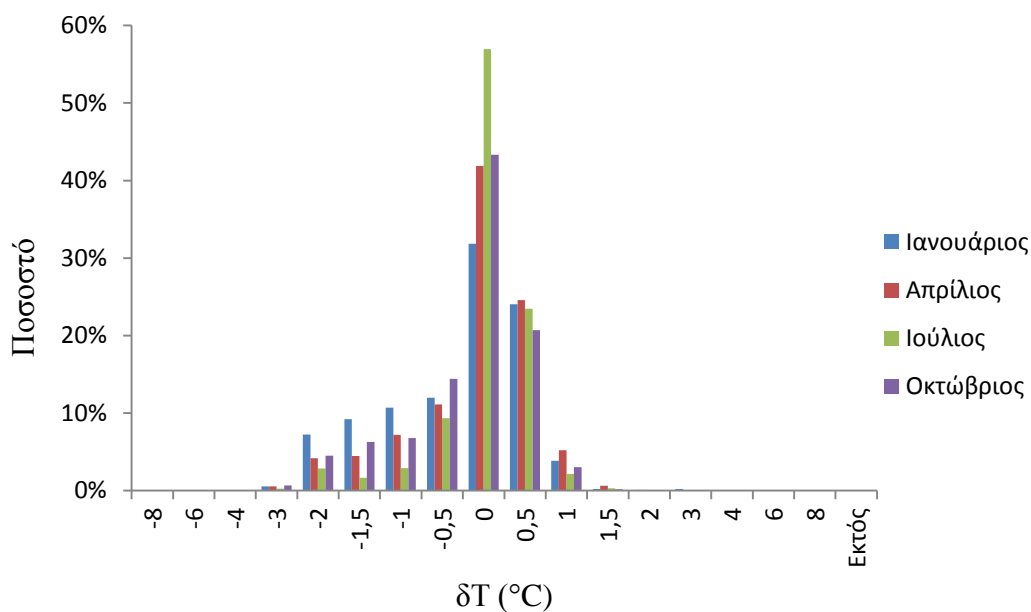
Αυξημένες μεταβολές παρατηρούμε πάλι τον Οκτώβριο (κοντά στους χειμερινούς μήνες), καθώς δηλαδή πλησιάζουν πάλι οι χειμερινοί μήνες (εικόνα 5.18). Ο Νέος Κόσμος έχει σχεδόν κάθε μέρα μεγαλύτερη θερμοκρασία από το κέντρο της Αθήνας, με μέσο όρο 0.4°C , το Μαρούσι έχει κατά μέσο όρο ίδια θερμοκρασία με το Γκάζι

καθώς εμφανίζεται για ίδιο πλήθος ημερών πιο θερμό και πιο ψυχρό αντίστοιχα, ενώ η Κάντζα είναι κατά μέσο όρο κατά 1°C πιο ψυχρή. Οι τιμές των τυπικών αποκλίσεων ήταν 1.9°C για την Κάντζα, 0.9°C για το Μαρούσι και 0.7°C για το Νέο Κόσμο. Οι μέγιστες τιμές που καταγράφηκαν ήταν 3.9°C για το Νέο Κόσμο, 6.3°C για το Μαρούσι και 3.9°C για το Νέο Κόσμο.

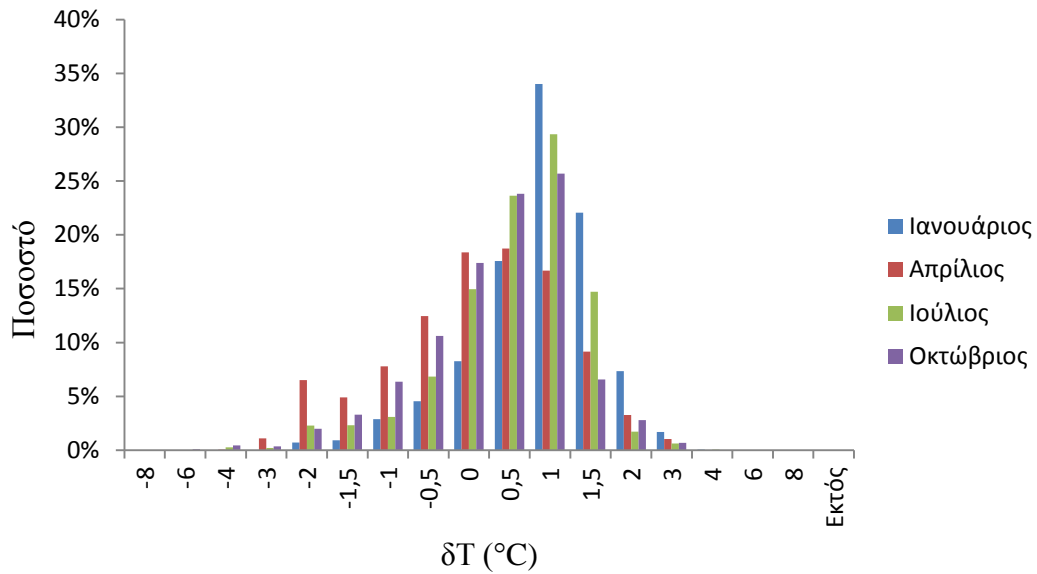


Εικόνα 5.18: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Οκτώβριο 2013 (βλέπε υπόμνημα εικόνα 5.14)

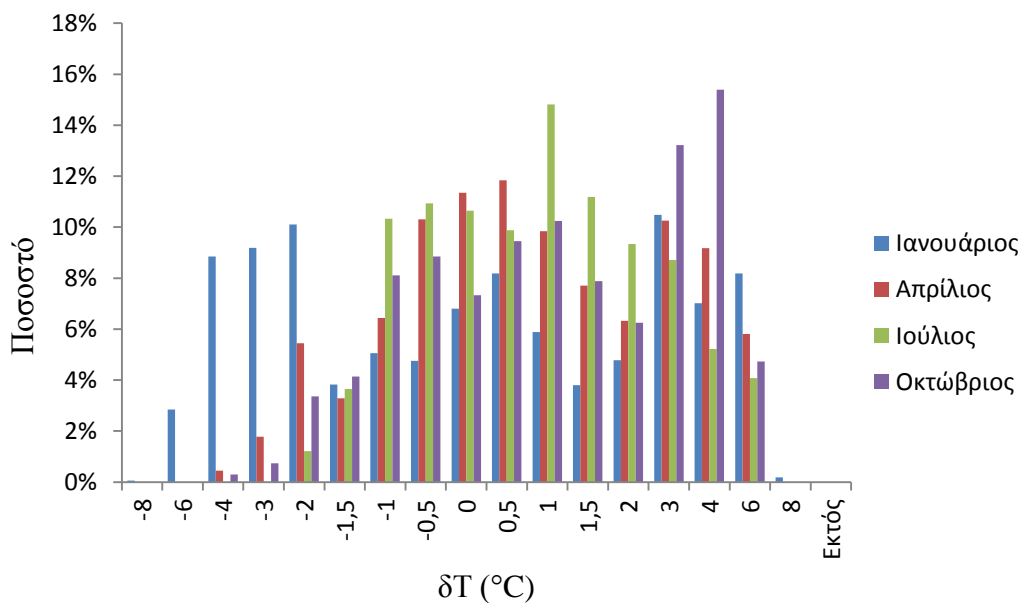
Στις εικόνες 5.19-5.21 βλέπουμε τα ιστογράμματα των διαφορών των προαστίων αυτών από το Γκάζι για τους 4 μήνες. Ο Νέος Κόσμος έχει ελαφρά υψηλότερη θερμοκρασία από το Γκάζι, το Μαρούσι χαμηλότερη, ενώ την πιο χαμηλή έχει η Κάντζα. Μάλιστα, η Κάντζα έχει τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, ενώ ο Νέος Κόσμος τη μικρότερη.



Εικόνα 5.19: Ιστογράμμα διαφοράς θερμοκρασίας του Νέου Κόσμου από το Γκάζι



Εικόνα 5.20: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας του Αμαρουσίου από το Γκάζι



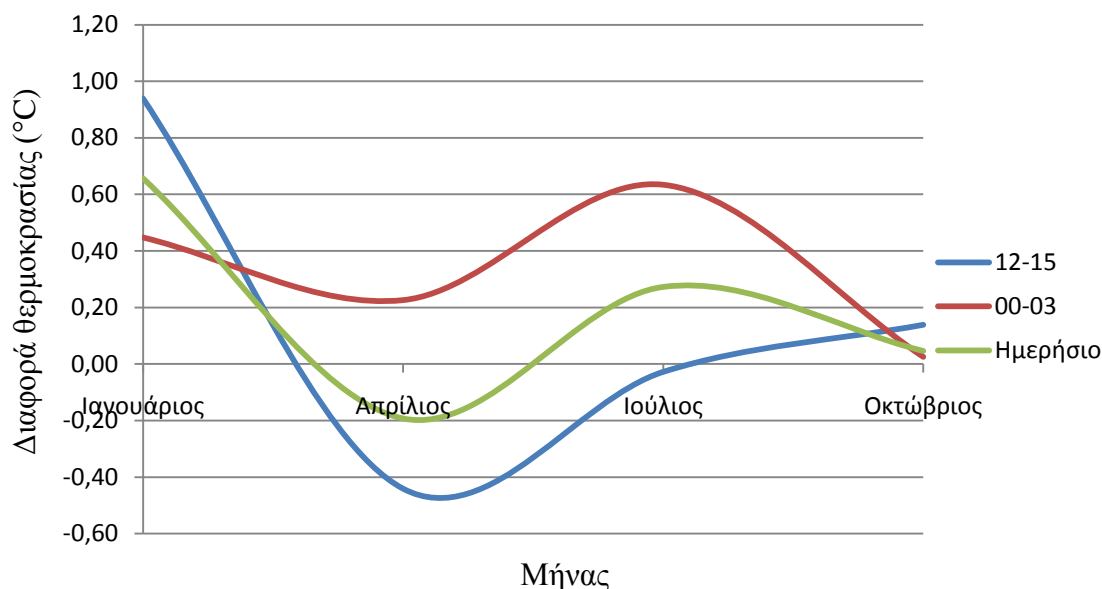
Εικόνα 5.21: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας της Κάντζας από το Γκάζι

Συνολικά, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των θερμοκρασιακών διαφορών για κάθε σταθμό που εξετάστηκε και κάθε μήνα φαίνεται στον πίνακα 5.3. Ο Νέος Κόσμος είναι κατά μέσο όρο 0.35°C πιο θερμός από το Γκάζι, το Μαρούσι 0.20°C πιο ψυχρό και η Κάντζα επίσης ψυχρότερη κατά 0.54°C . Η τυπική απόκλιση για Νέο Κόσμο και Μαρούσι είναι παρόμοια (μικρότερη από 1°C), ενώ η Κάντζα έχει πολύ μεγαλύτερη μεταβλητότητα με τυπική απόκλιση 2.1°C . Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται τον Ιανουάριο και οι μικρότερες τον Ιούλιο.

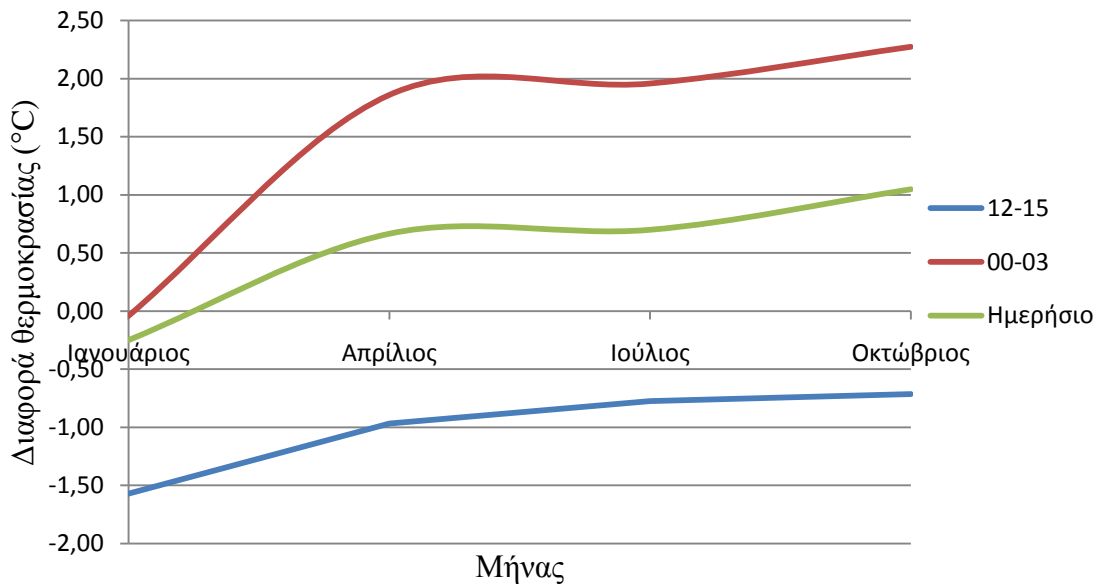
Πίνακας 5.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά των διαφορών θερμοκρασίας από το Γκάζι των σταθμών που εξετάστηκαν

	μέσος όρος θερμοκρασιακών διαφορών ΔΤ (°C)					τυπική απόκλιση θερμοκρασιακών διαφορών ΔΤ (°C)				
	Ιανουάριος	Απρίλιος	Ιούλιος	Οκτώβριος	Ετήσιο	Ιανουάριος	Απρίλιος	Ιούλιος	Οκτώβριος	Ετήσιο
Ν. Κόσμος	-0,51	-0,31	-0,21	-0,39	-0,35	0,86	0,74	0,57	0,72	0,72
Μαρούσι	0,66	-0,19	0,27	0,05	0,20	0,78	1,11	0,89	0,94	0,93
Κάντζα	-0,25	0,67	0,70	1,05	0,54	3,01	1,95	1,58	1,90	2,11

Τέλος, μεγάλο ενδιαφέρον έχει η εξέλιξη της έντασης της ΑΘΝ μέσα στη μέρα. Στους εικόνες 5.22-5.23 φαίνεται για κάθε μήνα η ένταση της θερμικής νησίδας στο διάστημα 12:00- 15:00 μμ, στο διάστημα 00:00- 03:00 πμ καθώς και η μέση τιμή της μέσα στη μέρα. Μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται το βράδυ, καθώς το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα, όπως έχουν ισχυριστεί και οι Oke (1974), Landsberg (1981), Ichinose et al. (1999), Boonjawat et al. (2000) και Kim και Baik (2002). Μάλιστα, διαπιστώθηκε η ύπαρξη «αρνητικής» αστικής θερμικής νησίδας τις μεσημβρινές ώρες, όπου οι περιοχές στο κέντρο της Αθήνας είχαν χαμηλότερη θερμοκρασία από τις γύρω λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές, το οποίο έχουν εισηγηθεί οι Stathoroulou et al (2009) και οι Klysik και Fortuniak (1999). Στην περίπτωση μας, όλες τις εποχές αναπτύχθηκε «αρνητική αστική θερμική νησίδα» στην Κάντζα, ενώ για το Μαρούσι το ίδιο συνέβη τον Απρίλιο και τον Ιούλιο. Γενικότερα, η ανάπτυξη «αρνητικής ΑΘΝ» ήταν λιγότερο έντονη τους χειμερινούς μήνες.



Εικόνα 5.22: Ένταση της θερμικής νησίδας το μεσημέρι σε σχέση με το βράδυ για το Μαρούσι



Εικόνα 5.23: Ένταση της θερμικής νησίδας το μεσημέρι σε σχέση με το βράδυ για την Κάντζα

5.2.2 Σε επίπεδο μήνα (χρονικό βήμα ημέρας)

Σε επίπεδο μήνα, η σύγκριση έγινε αρχικά για τους 4 μήνες του 2013 (Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο) για τη μέση θερμοκρασία κάθε ημέρας και για την απολύτως μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία από κάθε σταθμό.

Το μέσο θερμοκρασιακό εύρος της μέσης θερμοκρασίας στις διάφορες περιοχές της Αθήνας ήταν 1.9°C για τον Ιανουάριο, 1.4°C για τον Απρίλιο, 1.4°C για τον Ιούλιο και 2.0°C για τον Οκτώβριο. Οι αντίστοιχες τιμές για τη μέγιστη θερμοκρασία είναι 3- 2.1- 1.9- 3.1°C, ενώ για την ελάχιστη 1.5- 1.8- 1.2- 1.7°C, αντίστοιχα. Επομένως, η επίδραση της αστικής θερμικής νησίδας είναι πιο εμφανής τους χειμερινούς μήνες, όπου το θερμοκρασιακό εύρος είναι μεγαλύτερο. Στο ίδιο συμπέρασμα έχουν καταλήξει και οι οι Papanastasiou και Kittas (2011), Montávez et al (2000) και Kim και Baik (2002).

Κατά μέσο όρο, τον Ιανουάριο, το κέντρο και τα προάστια υψηλής δόμησης έχουν παρόμοιες θερμοκρασίες με το Γκάζι (μόνο η Νέα Σμύρνη είναι θερμότερη, ενώ τα Άνω Λιόσια πιο κρύα), τα προάστια υψηλής δόμησης 0.5°C ψυχρότερα, ενώ οι εκτός λεκανοπεδίου περιοχές ψυχρότερες κατά 1°C. Τον Οκτώβριο, το Γκάζι προέκυψε θερμότερο από τα προάστια υψηλής δόμησης κατά 1.2°C και κατά 1.4°C από τις εκτός λεκανοπεδίου περιοχές. Τον Απρίλιο και τον Ιούλιο, τα φαινόμενα είναι λιγότερο έντονα.

Για τη μέγιστη θερμοκρασία, η μέγιστη ένταση της θερμικής νησίδας είναι τον Ιανουάριο 2.3°C (Άνω Λιόσια), τον Απρίλιο 2.1°C (Μαρκόπουλο), τον Ιούλιο 2.3°C (Σπάτα), και τον Οκτώβρη 3.3°C (Μαρκόπουλο). Μάλιστα, πρέπει να παρατηρήσουμε ότι το θερινό εξάμηνο, η μέγιστη θερμοκρασία είναι υψηλότερη από

ότι στο κέντρο για ένα μέρος της μέρας, το οποίο δε συμβαίνει στο χειμερινό εξάμηνο.

Τέλος, για την ελάχιστη θερμοκρασία, η μέγιστη ένταση της θερμικής νησίδας είναι τον Ιανουάριο 2.8°C (Μαρκόπουλο), τον Απρίλιο 4.3°C (Κάντζα), τον Ιούλιο 4.5°C (Κάντζα) και τον Οκτώβρη 4.3°C στο ίδιο μέρος.

5.2.3 Σε επίπεδο έτους (χρονικό βήμα μήνα)

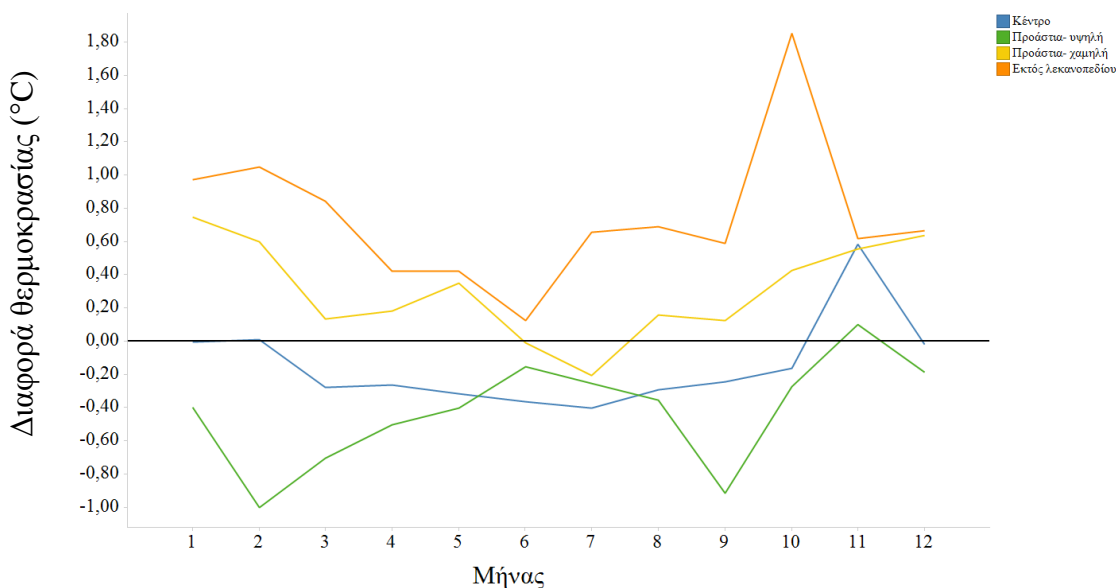
Είναι εμφανές και από τον Πίνακα 5.4, ότι η επίδραση της αστικής θερμικής νησίδας είναι πιο έντονη τους χειμερινούς μήνες από ότι τους καλοκαιρινούς και γίνεται πιο αισθητή όταν συγκρίνουμε τη μέση θερμοκρασία.

Πίνακας 5.4: Για κάθε έτος και μήνα, φαίνεται η μέση διαφορά από το Γκάζι της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας όλων των σταθμών.

μήνας	2012			2013		
	min T	max T	mean T	min	max	mean
Ιαν	0.09	0.33	0.52	-0.19	0.41	0.42
Φεβ	-0.11	-0.13	0.05	-0.16	0.16	0.19
Μαρ	-0.41	-0.33	-0.06	-0.08	-0.21	0.08
Απρ	-0.17	-0.39	-0.04	-0.39	-0.54	-0.04
Μαΐ	0.08	0.20	0.47	-0.23	-0.63	-0.17
Ιουν	0.07	-0.29	-0.03	0.12	-0.35	0.03
Ιουλ	-0.40	-0.19	-0.08	0.09	-0.07	0.15
Αυγ	-0.43	-0.07	0.08	-0.14	-0.20	0.09
Σεπ	-0.31	-0.49	-0.25	0.06	-0.38	0.05
Οκτ	-0.10	0.18	0.52	0.12	-0.10	0.07
Νοε	0.11	0.47	0.37	-0.03	0.19	0.24
Δεκ	-0.17	0.24	0.28	0.06	0.39	0.35

Η εικόνα 5.24 και ο πίνακας 5.5 δείχνουν τη διακύμανση της απόκλισης της μέσης θερμοκρασίας για κάθε προάστιο από αυτή του κέντρου των Αθηνών για κάθε μήνα (οι τιμές έχουν προκύψει ως μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών των ετών 2012 και 2013). Παρατηρούμε ότι τα προάστια υψηλής δόμησης παρουσίασαν υψηλότερη θερμοκρασία από το κέντρο της Αθήνας όλο το χρόνο εκτός από την άνοιξη και τους πρώτους μήνες του καλοκαιριού. Ομοίως, και τα προάστια χαμηλής δόμησης είναι πιο θερμά από τις εκτός λεκανοπεδίου περιοχές σχεδόν όλο το χρόνο. Το καλοκαίρι βλέπουμε τις μικρότερες μεταβολές, δηλαδή έχουμε πιο ομοιόμορφη θερμοκρασία, ενώ οι μεγαλύτερες μεταβολές παρατηρούνται το χειμώνα. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η αστική θερμική νησίδα είναι πιο έντονη τους χειμερινούς μήνες, όπως έχουν αποδείξει και οι Papanastasiou και Kittas (2011), Montávez et al (2000) και Kim και Baik (2002).

Γενικότερα, στη μέση θερμοκρασία βλέπουμε πιο ήπιες μεταβολές, με τη μέγιστη διαφορά προαστίου από το κέντρο να είναι περίπου 1°C, ενώ το μέγιστο εύρος λίγο λιγότερο από 2°C το Φεβρουάριο.

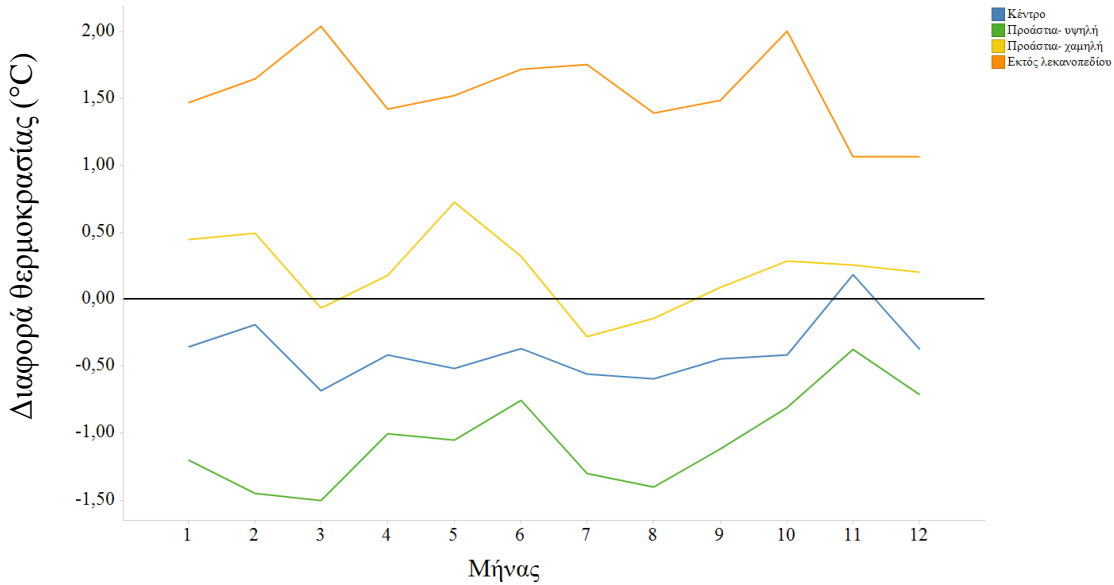


Εικόνα 5.24: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο για κάθε μήνα τα έτη 2012 και 2013

Πίνακας 5.5: Μέσος όρος διαφορών της μέσης θερμοκρασίας στα προάστια της Αθήνας, ανάλογα με την εποχή

Για τη μέση θερμοκρασία	μέσος όρος θερμοκρασιακών διαφορών ΔΤ (°C)				
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Ετήσιο
Κέντρο	-0,04	-0,32	-0,15	-0,13	-0,16
Προάστια- υψηλή δόμηση	-0,41	-0,39	-0,22	-0,26	-0,32
Προάστια- χαμηλή δόμηση	0,63	0,01	0,19	0,25	0,27
Εκτός λεκανοπεδίου	0,80	0,61	0,61	0,63	0,66

Όσον αφορά στην απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία (εικόνα 5.25 και πίνακας 5.6), οι διαφορές ακολουθούν ίδιες μεταβολές όλο το χρόνο, με το μικρότερο εύρος αυτών να παρατηρείται την άνοιξη. Τα προάστια υψηλής δόμησης παρουσιάζουν αυξημένες μεταβολές στην ελάχιστη θερμοκρασία σε σχέση με το κέντρο, ενώ μικρότερη μεταβολή θερμοκρασίας έχουν τα προάστια χαμηλής δόμησης. Οι περιοχές εκτός λεκανοπεδίου έχουν ελάχιστη θερμοκρασία σταθερά 1 βαθμό χαμηλότερη από τις περιοχές χαμηλής δόμησης. Στην περίπτωση της ελάχιστης θερμοκρασίας παρουσιάζονται οι μέγιστες αποκλίσεις από το κέντρο με τιμές 2°C, ενώ το μέγιστο εύρος είναι 3°C το Μάρτιο. Συμβαίνει να είναι πιο εμφανής στις ελάχιστες θερμοκρασίες από ότι στις μέγιστες, επειδή το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα, όπως έχουν ισχυριστεί και οι Oke (1974) και Landsberg (1981).

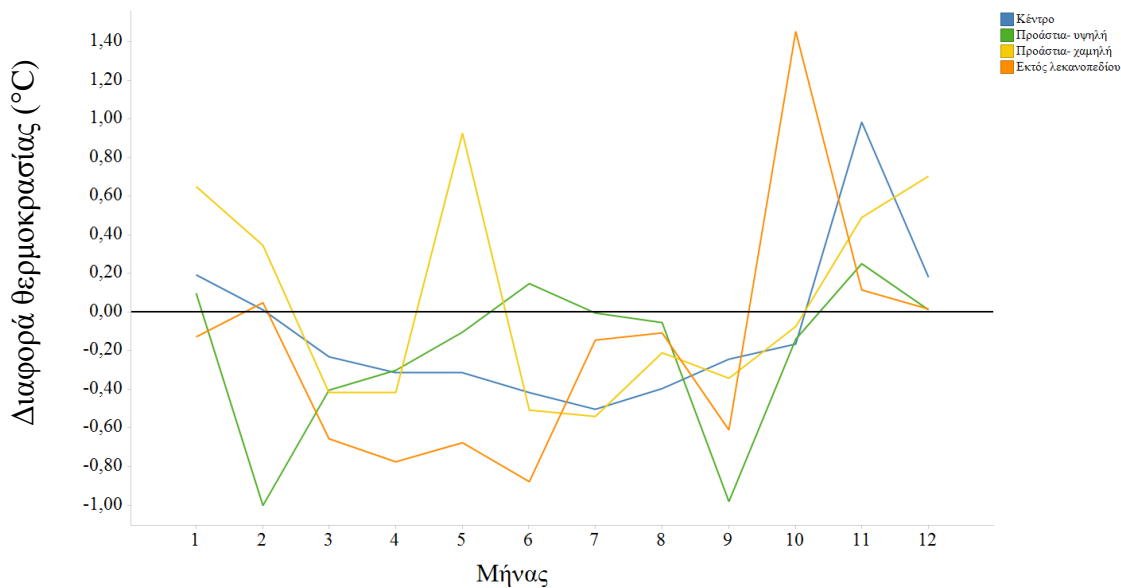


Εικόνα 5.25: Διακύμανση της διαφοράς της ελάχιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο για κάθε μήνα τα έτη 2012 και 2013

Πίνακας 5.6: Μέσος όρος διαφορών της ελάχιστης θερμοκρασίας στα προάστια της Αθήνας, ανάλογα με την εποχή

Για την ελάχιστη θερμοκρασία	μέσος όρος θερμοκρασιακών διαφορών ΔΤ (°C)				
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Ετήσιο
Κέντρο	-0,41	-0,57	-0,39	-0,44	-0,45
Προάστια- υψηλή δόμηση	-1,18	-1,30	-0,95	-0,76	-1,05
Προάστια- χαμηλή δόμηση	0,16	-0,06	0,26	0,13	0,12
Εκτός λεκανοπεδίου	0,90	1,11	1,06	1,34	1,10

Πολύ μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μεταβολές στην απολύτως μέγιστη θερμοκρασία (εικόνα 5.26 και πίνακας 5.7). Την άνοιξη και το καλοκαίρι τις μεγαλύτερες τιμές διαφοράς παίρνουν οι εκτός λεκανοπεδίου περιοχές, με αποκορύφωμα την άνοιξη που έχουν μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη κατά $0,8^{\circ}\text{C}$ από το Γκάζι, ακολουθούν τα προάστια χαμηλής δόμησης, το κέντρο, ενώ τα προάστια υψηλής δόμησης παίρνουν τις μικρότερες μέγιστες τιμές. Το αντίθετο συμβαίνει το φθινόπωρο και το χειμώνα με τα προάστια υψηλής δόμησης να παίρνουν τις υψηλότερες και τα προάστια χαμηλής δόμησης τις μικρότερες. Οι αποκλίσεις στην απολύτως μέγιστη θερμοκρασία είναι σαφώς μικρότερες το φθινόπωρο και το χειμώνα, ενώ μεγιστοποιούνται την άνοιξη. Οι μέγιστες αποκλίσεις κυμαίνονται σε περίπου 1°C .



Εικόνα 5.26: Διακύμανση της διαφοράς της μέγιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για κάθε μήνα το 2012

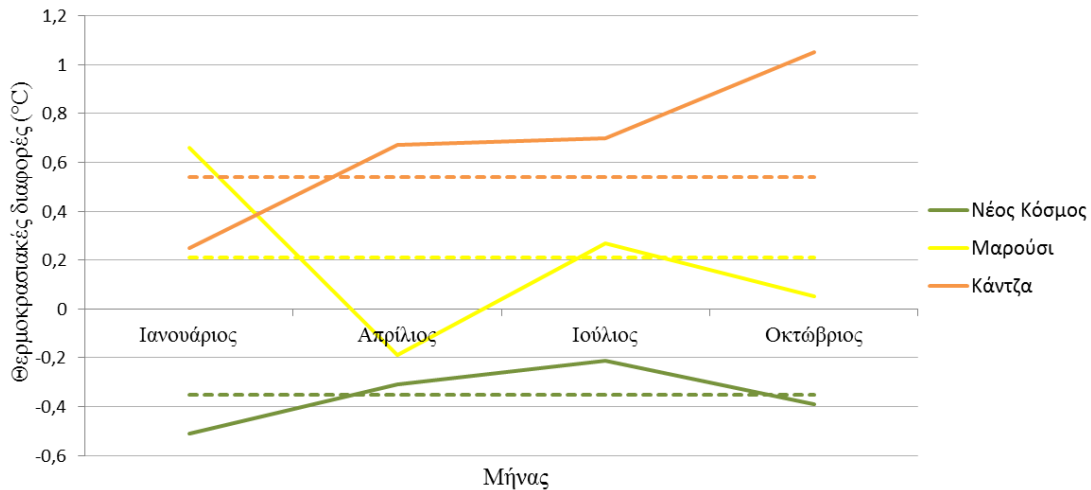
Πίνακας 5.7: Μέσος όρος διαφορών της μέγιστης θερμοκρασίας στα προάστια της Αθήνας, ανάλογα με την εποχή

Για τη μέγιστη θερμοκρασία	μέσος όρος θερμοκρασιακών διαφορών ΔΤ (°C)				
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Ετήσιο
Κέντρο	0,18	-0,32	-0,12	0,07	-0,05
Προάστια- υψηλή δόμηση	0,00	-0,04	0,01	-0,02	-0,01
Προάστια- χαμηλή δόμηση	0,56	-0,44	-0,25	-0,03	-0,04
Εκτός λεκανοπεδίου	0,31	-0,45	0,14	-0,08	-0,02

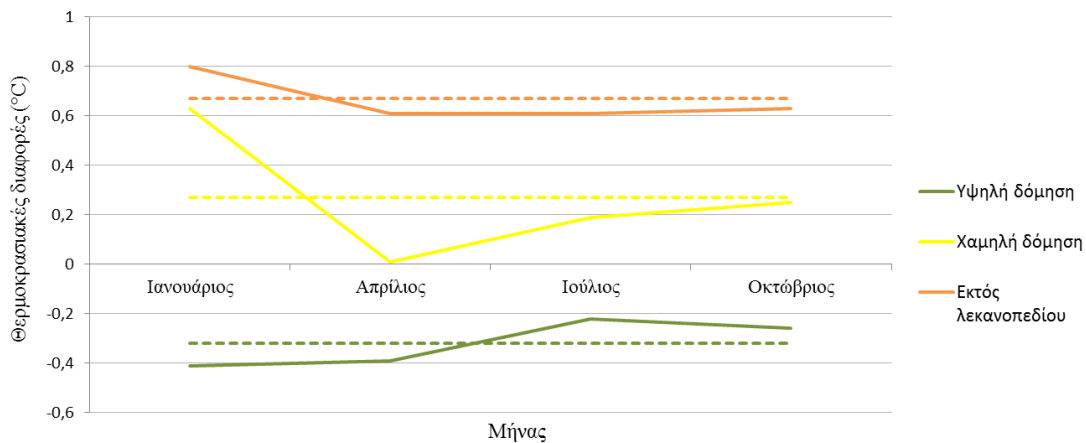
5.2.4 Συγκεντρωτικά

Συνολικά, παρατηρείται σαφής ύπαρξη της αστικής θερμικής νησίδας στην περιοχή της Αττικής, όπως έχουν διαπιστώσει και οι Cartalis et al (2001), Santamouris et al (2001), Livada et al (2002), Mihalakakou et al (2004).

Συγκεντρωτικά, οι εικόνες 5.27- 5.28 απεικονίζουν την ένταση της θερμικής νησίδας στα διαφορετικά χρονικά βήματα που μελετήθηκαν. Φαίνεται, λοιπόν, ότι η ένταση της θερμικής νησίδας είναι μεγαλύτερη τους χειμερινούς μήνες. Επιπλέον, τα προάστια υψηλής δόμησης έχουν συνολικά υψηλότερη θερμοκρασία από το κέντρο της Αθήνας, χαμηλότερη έχουν τα προάστια χαμηλής δόμησης, και τη μικρότερη οι εκτός λεκανοπεδίου περιοχές.



Εικόνα 5.27: Μέση ένταση θερμικής νησίδας για την ανάλυση με χρονικό βήμα 10 λεπτών



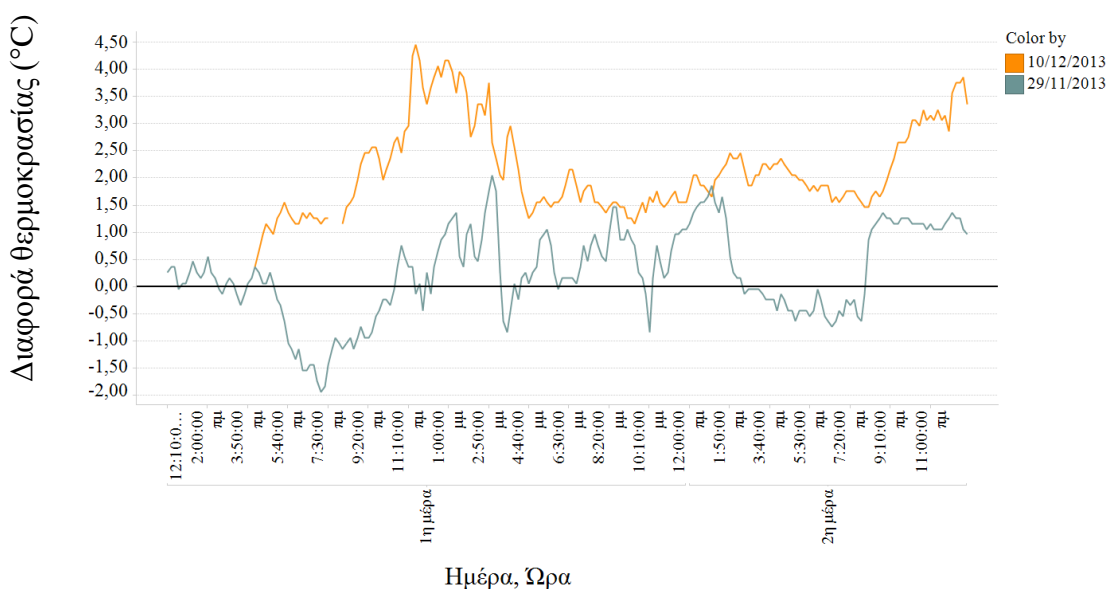
Εικόνα 5.28: Μέση ένταση θερμικής νησίδας για την ανάλυση με χρονικό βήμα μηνιαίο

5.3 Σύγκριση Βουνών

Όσον αφορά στη σύγκριση των βουνών ο Υμηττός, με υψόμετρο 1.011 m, είναι σαφώς θερμότερος από την Πάρνηθα, με υψόμετρο 1.230 m, σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας (οι συγκρίσεις των θερμοκρασιών έχουν γίνει μετά την αναγωγή στο ίδιο υψόμετρο). Αυτό θα περιμέναμε να εξηγείται από το γεγονός ότι ο Υμηττός είναι πολύ πιο κοντά στο λεκανοπέδιο και επηρεάζεται από την πυκνή δόμηση των κοντινών περιοχών. Ωστόσο, ο Bornstein το 1968, μελετώντας τη θερμική νησίδα στη Νέα Υόρκη, απέδειξε πως η επιρροή της είναι σχεδόν αμελητέα σε υψόμετρα μεγαλύτερα από 700 m.

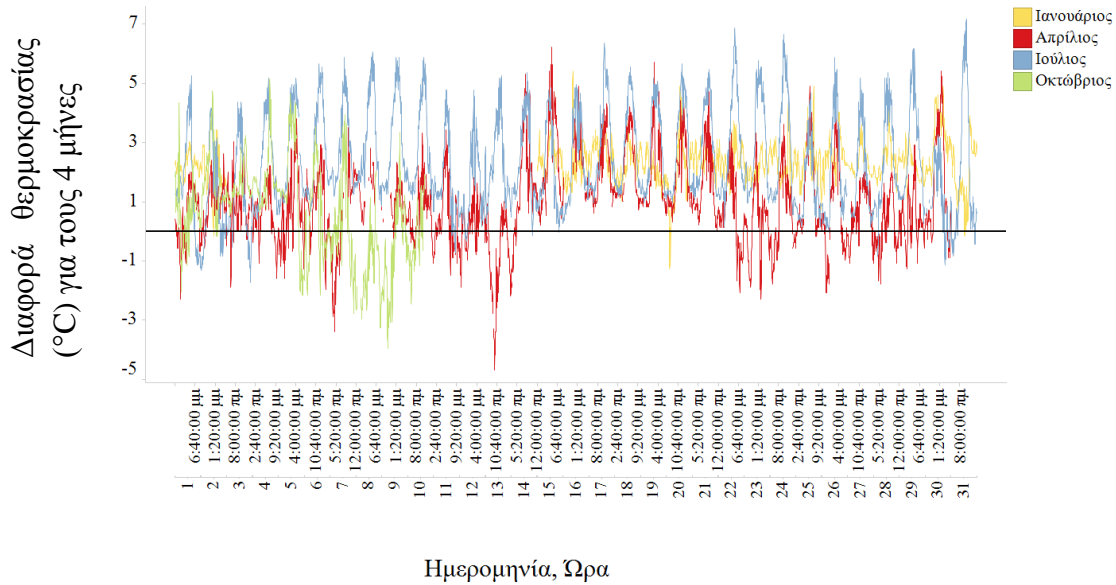
Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε είναι ότι οι καταγραφές του Υμηττού είναι ελλιπείς καθώς υπάρχουν αρκετές παρεμβολές στο βουνό και προβλήματα με το δίκτυο. Όπως και για την περίπτωση των προαστίων, έτσι και για αυτά τα βουνά, η σύγκριση έγινε και στα 3 επίπεδα: ημέρας- μήνα- έτους.

Για σύγκριση σε επίπεδο ημέρας, ελήφθησαν καταγραφές ανά 10 λεπτά τόσο στις 29-30 Νοεμβρίου όσο και στις 10-11 Δεκεμβρίου 2013 (εικόνα 5.29). Οι μεγαλύτερες διαφορές κατεγράφησαν στις 10 Δεκεμβρίου με μέγιστη τιμή τους 4,5°C (όλη τη μέρα είχε μεγαλύτερες τιμές από ότι στις 29- 30/11). Στο διήμερο 10- 11 Δεκέμβρη ο Υμηττός είχε υψηλότερη θερμοκρασία από την Πάρνηθα όλο το 24ωρο, ενώ στις 29-30 Νοεμβρίου αυτό δε συνέβη μόνο από τις 4 πμ- 10 πμ. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις καταγράφηκαν το μεσημέρι από τις 11 πμ ως τις 3 μμ.



Εικόνα 5.29: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Πάρνηθας από τον Υμηττό ανά 10 λεπτά για τις 29- 30 Νοεμβρίου και 10- 11 Δεκεμβρίου 2013.

Ακολούθως έγινε η σύγκριση για τους 4 μήνες του 2013 (Ιανουάριο- Απρίλιο- Ιούλιο- Οκτώβριο) με ακρίβεια 10 λεπτών (εικόνα 5.30). Οι μέγιστες διαφορές καταγράφηκαν τον Ιούλιο, ενώ οι ελάχιστες τον Απρίλιο. Η μέση απόκλιση των θερμοκρασιών είναι 2,4°C για τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο, 1°C για τον Απρίλιο και 0,6°C για τον Οκτώβριο. Μάλιστα, τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο η θερμοκρασία του Υμηττού σχεδόν ποτέ δεν ξεπέρασε αυτή της Πάρνηθας. Η μέγιστη διαφορά που παρατηρήθηκε ήταν 7,2°C στις 31 Ιανουαρίου στις 14:00 και η ελάχιστη 4,7°C στις 13 Απριλίου στις 8:30. Το εύρος των αποκλίσεων της ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας για τους 4 αυτούς μήνες ήταν 3,4 και 2°C, αντίστοιχα.

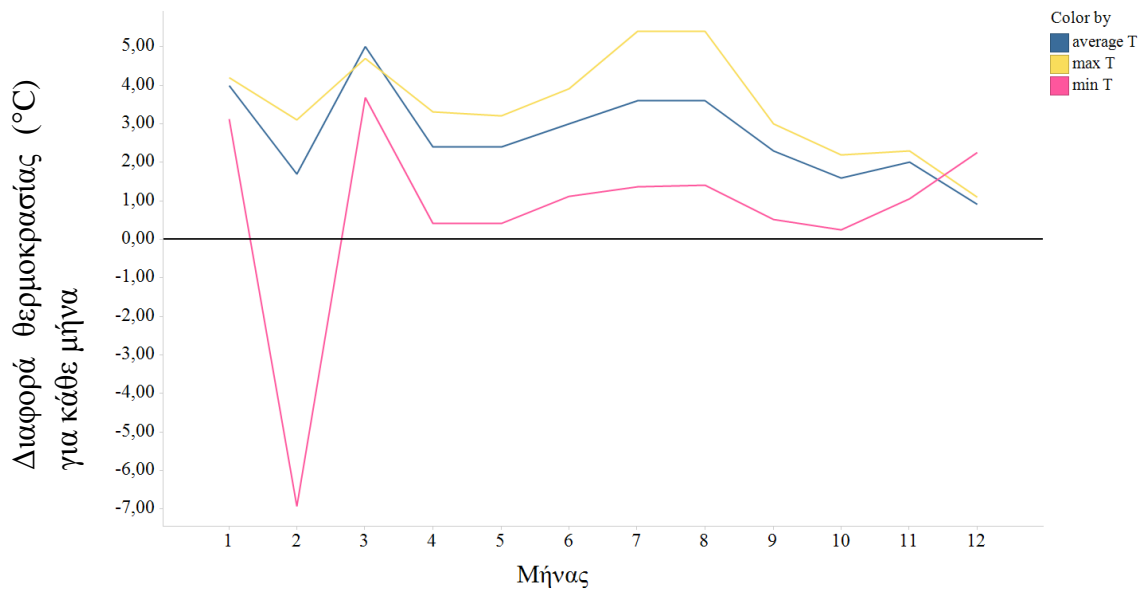


Εικόνα 5.30: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Πάρνηθας από τον Υμηττό για τους 4 μήνες του 2013.

Στην περίπτωση της σύγκρισης των βουνών δεν παρατηρούμε στους χειμερινούς μήνες πιο έντονα τη θερμική νησίδα από ότι στους καλοκαιρινούς, αλλά σίγουρα είναι μικρότερη στη σύγκριση ελαχίστων θερμοκρασιών. Από τον πίνακα 5.8 και την εικόνα 5.31, φαίνεται ακόμα ότι ο Υμηττός είναι πάντα πιο θερμός από την Πάρνηθα. Επίσης, οι διαφορές είναι μεγαλύτερες στη μέγιστη θερμοκρασία, μικρότερες στη μέση και πολύ μικρές όταν κοιτάζουμε την ελάχιστη θερμοκρασία.

Πίνακας 5.8: Για κάθε μήνα του 2013, φαίνεται η μέση διαφορά της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας του Υμηττού από την Πάρνηθα.

μήνας	2013		
	min T	max T	mean T
Ιαν	3.49	4.20	4.00
Φεβ	-6.48	3.10	1.70
Μαρ	4.34	4.70	5.00
Απρ	1.17	3.30	2.40
Μαϊ	1.17	3.20	2.40
Ιουν	1.87	3.90	3.00
Ιουλ	2.09	5.40	3.60
Αυγ	2.11	5.40	3.60
Σεπ	1.21	3.00	2.30
Οκτ	0.87	2.20	1.60
Νοε	1.57	2.30	2.00
Δεκ	2.66	1.10	0.90



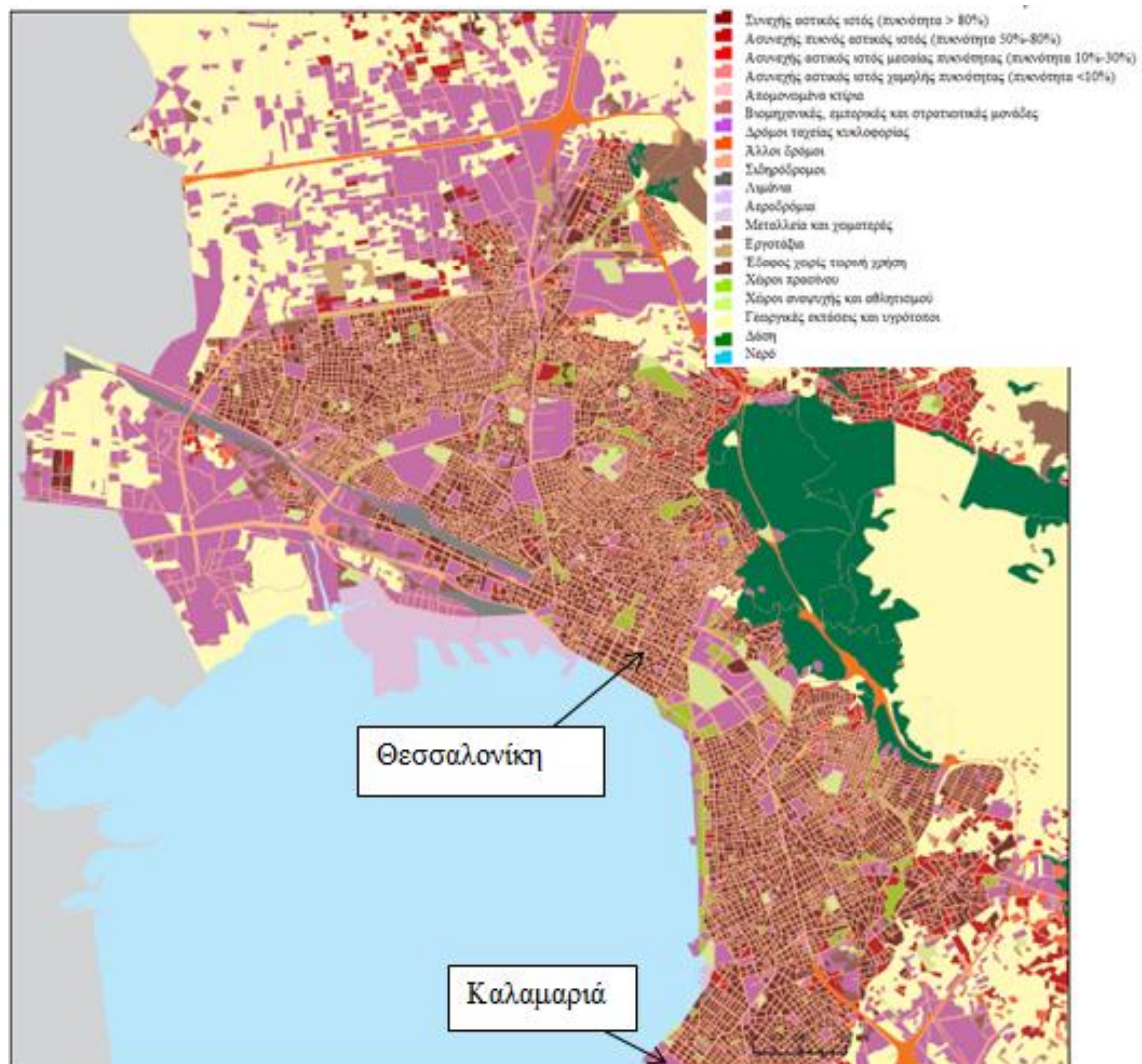
Εικόνα 5.31: Διακύμανση της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης διαφοράς θερμοκρασίας της Πάρνηθας από τον Υμηττό για τους όλους τους μήνες το 2012.

6 Μελέτη της θερμικής αστικής νησίδας στην υπόλοιπη Ελλάδα

Με την ίδια λογική έχει γίνει η ανάλυση των θερμοκρασιακών διαφορών ανάμεσα σε σταθμούς στο κέντρο των πόλεων και άλλους σε κοντινές περιοχές με μικρότερη ανάπτυξη. Κάθε φορά ο πρώτος σταθμός είναι ο σταθμός αναφοράς, δηλαδή αυτός από τον οποίο υπολογίζονται οι διαφορές των θερμοκρασιών των υπόλοιπων σταθμών.

6.1 Θεσσαλονίκη

Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης χρησιμοποιήθηκαν τρεις σταθμοί (εικόνα 6.1). Ο πρώτος είναι ο σταθμός του <http://www.meteothes.gr/> στο κέντρο της Θεσσαλονίκης (δίπλα στην πλατεία Ναυαρίνου, 5 m υψόμετρο). Οι άλλοι δύο είναι από το [meteο.gr](http://www.meteo.gr). Ο ένας είναι στην Καλαμαριά (στην άκρη του Θερμαϊκού κόλπου), στο Ναυτικό Όμιλο Θεσσαλονίκης, 7 km μακριά (5 m υψόμετρο), ενώ ο τρίτος σταθμός βρίσκεται στο Λαγκαδά, 20 km από το κέντρο της Θεσσαλονίκης (87 m υψόμετρο). Και πάλι λάβαμε υπόψη μας τις υψομετρικές διαφορές και τη θερμοβαθμίδα για κάθε μήνα.



Εικόνα 6.1: Τοποθεσία των σταθμών στο κέντρο της Θεσσαλονίκης και στην Καλαμαριά, ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες κάθε περιοχής (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas/greece>).

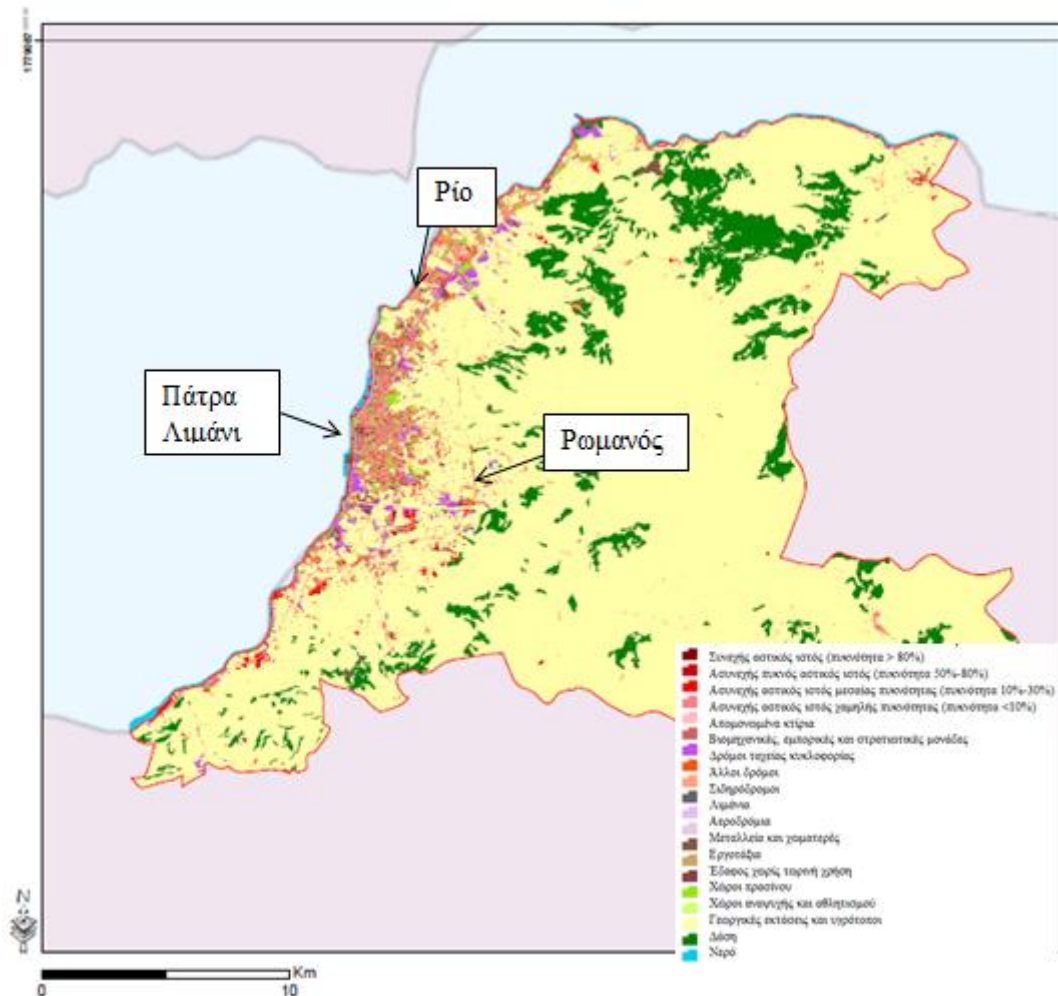
Η ύπαρξη της αστικής θερμικής νησίδας είναι εμφανέστατη στη Θεσσαλονίκη, όπως προκύπτει από τον πίνακα 6.1. Κάθε μέρα η μέση θερμοκρασία στο κέντρο είναι μεγαλύτερη από αυτή στην Καλαμαριά και ακόμα περισσότερο από αυτή στο Λαγκαδά. Η ένταση της θερμικής νησίδας είναι μεγαλύτερη τους χειμερινούς μήνες από ότι στους θερινούς. Σε φθίνουσα κατάταξη η μεγαλύτερη ένταση της θερμικής νησίδας παρατηρείται Ιανουάριο, Οκτώβριο, Απρίλιο, Ιούλιο. Όσον αφορά στη μέση θερμοκρασία, η Καλαμαριά αποδείχτηκε πιο ψυχρή από το κέντρο της Θεσσαλονίκης κατά παραπάνω από 1 βαθμό το χειμώνα και 0.5 το καλοκαίρι. Οι αντίστοιχες τιμές για το Λαγκαδά είναι 3 και 1.5 βαθμούς. Αντίθετη τάση φαίνεται να επικρατεί στη μέγιστη θερμοκρασία της ημέρας με το κέντρο να έχει χαμηλότερη μέγιστη θερμοκρασία και ο Λαγκαδάς τη μεγαλύτερη τις περισσότερες περιόδους του χρόνου. Τέλος, όσον αφορά στην ελάχιστη θερμοκρασία, οι διαφορές είναι πολύ μεγαλύτερες και δείχνουν σαφώς ότι τα αστικά κέντρα δεν ψύχονται όσο θα έπρεπε τη νύχτα. Μάλιστα, η Καλαμαριά έχει σχεδόν 1 βαθμό χαμηλότερη ελάχιστη θερμοκρασία από το κέντρο της Θεσσαλονίκης, ενώ στην περίπτωση του Λαγκαδά η διαφορά είναι σταθερά πάνω από 6 βαθμούς όλο το χρόνο.

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά της διαφοράς της θερμοκρασίας από το κέντρο της Θεσσαλονίκης για κάθε μήνα

		Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Ιανουάριος 2013	Καλαμαριά	1.20	0.69	2.30	-0.08
	Λαγκαδάς	3.21	1.54	5.35	-0.18
	Εύρος δT	2.01		3.05	0.10
Απρίλιος 2013	Καλαμαριά	0.81	0.40	1.90	0.24
	Λαγκαδάς	1.68	1.23	3.88	-3.21
	Εύρος δT	0.88		1.98	3.46
Ιούλιος 2013	Καλαμαριά	0.46	0.46	1.53	-0.29
	Λαγκαδάς	1.14	0.78	2.63	-0.65
	Εύρος δT	0.68		1.10	0.36
Οκτώβριος 2013	Καλαμαριά	0.98	1.27	6.80	-0.36
	Λαγκαδάς	2.60	1.72	8.66	0.34
	Εύρος δT	1.61		1.87	0.70

6.2 Πάτρα

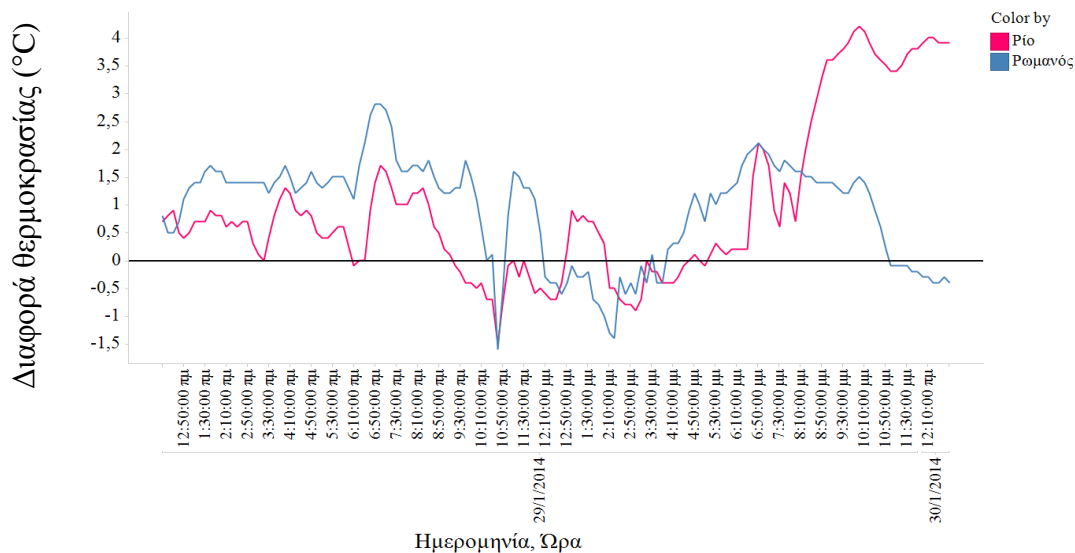
Στην πόλη της Πάτρας χρησιμοποιήθηκαν τρεις σταθμοί (εικόνα 6.2). Ο πρώτος σταθμός βρίσκεται στο Λιμάνι της Πάτρας (συγκεκριμένα στον Οργανισμό Λιμένος Πατρών), όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος των οικιστικών και εμπορικών δραστηριοτήτων της περιοχής (υψόμετρο 6 m). Ο δεύτερος σταθμός βρίσκεται σε απόσταση 8,5 km κατά μήκος της ακτογραμμής, στο Λιμενικό Τμήμα Ρίου, δίπλα στη θάλασσα σε υψόμετρο 2 m. Ο τρίτος σταθμός είναι σε απόσταση 6 km από την Πάτρα, στον οικισμό Ρωμανός (υψόμετρο 228 m).



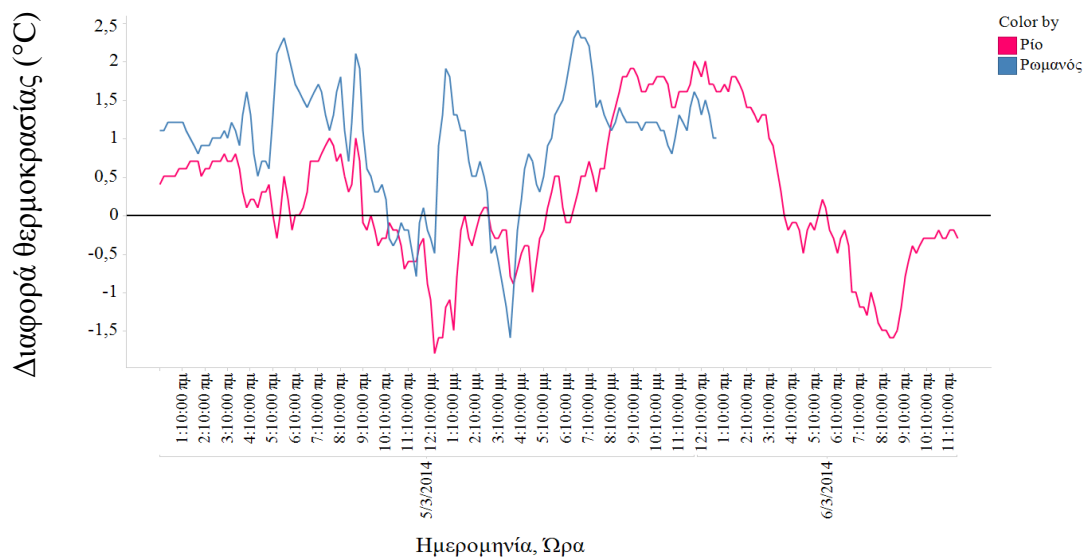
Εικόνα 6.2: Τοποθεσία των σταθμών στην περιοχή της Πάτρας.

Και για τα δύο διήμερα στην Πάτρα παρατηρούμε έντονα το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (εικόνες 6.3-6.4). Πιο υψηλές θερμοκρασίες καταγράφονται στο λιμάνι της Πάτρας, μετά στο Ρίο και οι χαμηλότερες στο Ρωμανό. Δηλαδή όσο λιγότερες δραστηριότητες και μικρότερη πυκνότητα πληθυσμού υπάρχει στην περιοχή, τόσο χαμηλότερη θερμοκρασία παρατηρείται. Μάλιστα, και τις δύο μέρες, από τις 9 πμ ως τις 4 μμ, δηλαδή τις ώρες με ηλιοφάνεια που σημειώθηκε άνοδος της θερμοκρασίας, το Ρίο είχε υψηλότερη θερμοκρασία από την Πάτρα (ο Ρωμανός είχε χαμηλότερη με εξαίρεση το διάστημα 2 μμ-4 μμ στο οποίο είχε την υψηλότερη

θερμοκρασία από όλες τις περιοχές). Αντιθέτως, όλες τις υπόλοιπες ώρες το κέντρο της Πάτρας είχε υψηλότερη τιμή, το οποίο σημαίνει πως η πυκνή δόμηση της πόλης δεν την αφήνει να ψυχθεί με τον ίδιο ρυθμό που ψύχονται τα προάστια. Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας καταγράφεται στο Ρωμανό με τιμή 2,5°C. Το διήμερο 29- 30 Ιανουαρίου η ένταση της θερμικής νησίδας έχει μεγαλύτερη τιμή από τις 5- 6 Μαρτίου. Τέλος το Ρίο έχει μεγαλύτερη τυπική απόκλιση από το Ρωμανό.



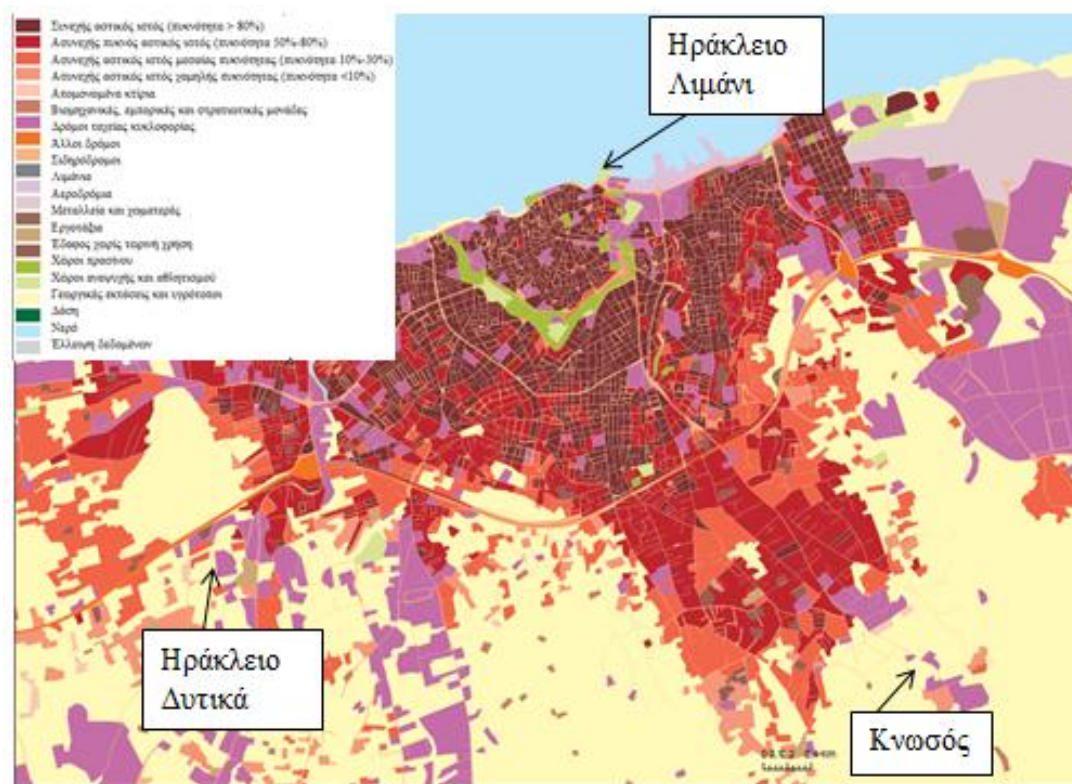
Εικόνα 6.3: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι της Πάτρας για τις 29- 30 Ιανουαρίου 2014



Εικόνα 6.4: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι της Πάτρας για τις 5- 6 Μαρτίου 2014

6.3 Ηράκλειο

Και στο Ηράκλειο αναλύθηκαν τρεις σταθμοί (εικόνα 6.5). Ο πρώτος σταθμός βρίσκεται στο Λιμάνι του Ηρακλείου, η οποία είναι η πιο θερμή περιοχή του Ηρακλείου σύμφωνα με τους Stathoroulou et al (2004), σε υψόμετρο 10 m, στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης. Ο δεύτερος σταθμός βρίσκεται σε απόσταση 8 km στην Κνωσό, πάλι σε εγκαταστάσεις του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Κρήτης (υψόμετρο 115 m). Ο τρίτος σταθμός είναι σε απόσταση 6 km από το λιμάνι σε υψόμετρο 85 m, στο δυτικό όριο της πόλης.

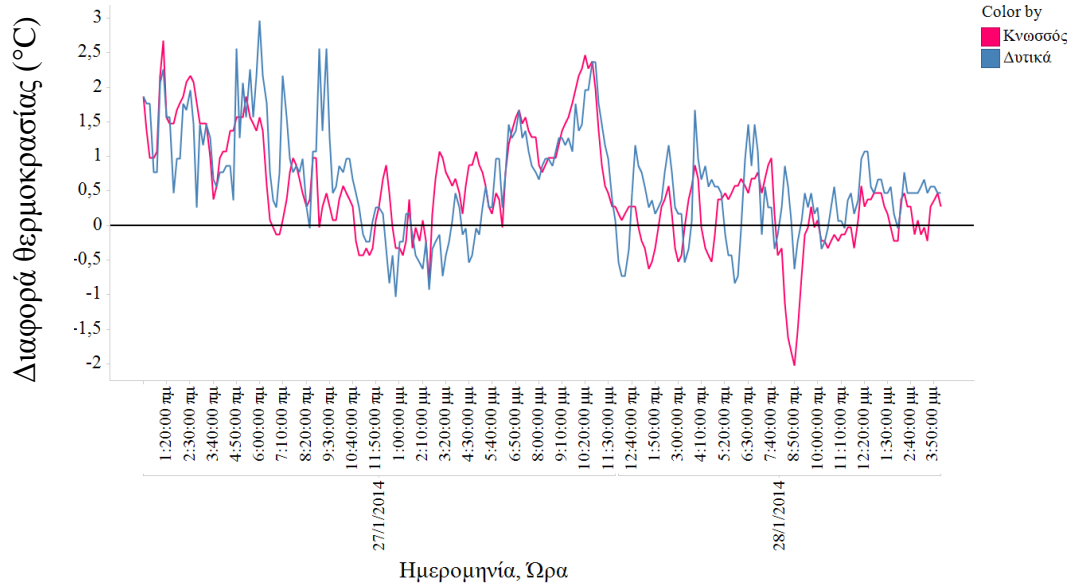


Εικόνα 6.5: Τοποθεσία των σταθμών στο Ηράκλειο, ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες κάθε περιοχής (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas/greece>).

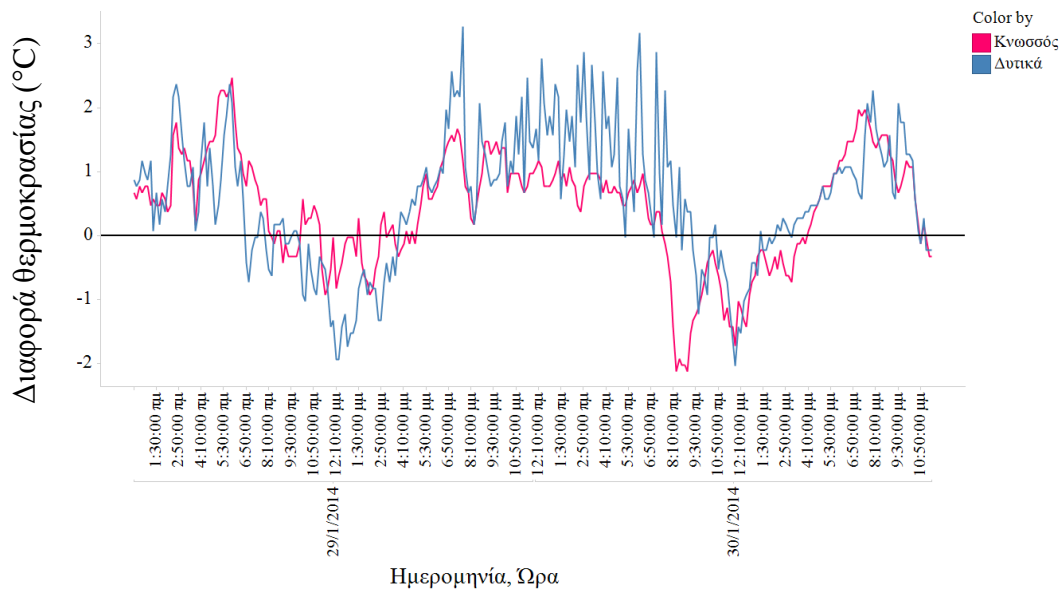
Και στη περίπτωση του Ηρακλείου βλέπουμε πως όσο λιγότερο πυκνοκατοικημένη είναι μία περιοχή τόσο χαμηλότερη θερμοκρασία παρουσιάζει. Έτσι, ο σταθμός στα Δυτικά του Ηρακλείου είναι πιο ψυχρός τις περισσότερες ώρες της μέρας, με μέγιστη τιμή τους 3.2°C στις 29 Ιανουαρίου, ενώ η διαφορά θερμοκρασίας έχει τιμή 0.5°C και για τους δύο σταθμούς. Ωστόσο, πάλι το διάστημα από τις 10 πμ ως τις 4μμ, τα προάστια αναπτύσσουν υψηλότερες θερμοκρασίες με μέγιστη τιμή τους 2°C για την Κνωσό. Δηλαδή τις ώρες με τη μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται η ανάπτυξη «αρνητικής θερμικής νησίδας» με το κέντρο να έχει τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Το διήμερο στο οποίο καταγράφηκε η μέγιστη ένταση ήταν στις 29- 30 Ιανουαρίου.

Εδώ παρατηρούμε ότι η μέγιστη ένταση της θερμικής νησίδας παρατηρείται λίγο μετά το ηλιοβασίλεμα, το οποίο έχουν εισηγηθεί και οι Oke 1978· Papanastasiou και

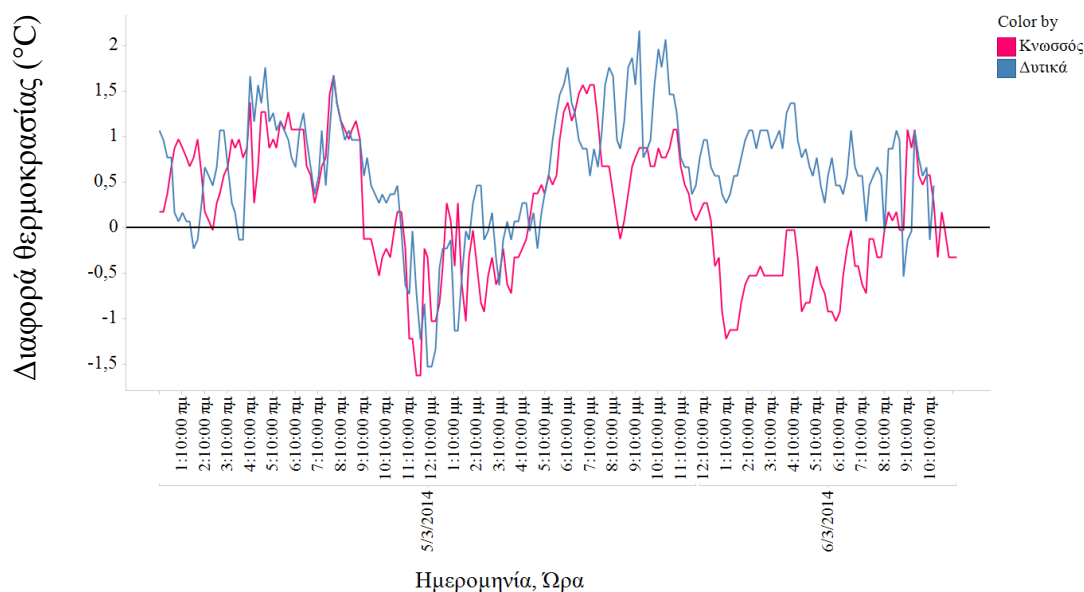
Kittas, 2011· Klysiak και Fortuniak, 1999· Gedzelman et al, 2003· Oke και Maxwell, 1975· Stathopoulou et al, 2004· Stathopoulou et al, 2009· Schwarz et al, 2012.



Εικόνα 6.6: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι του Ηρακλείου για τις 27- 28 Ιανουαρίου 2014

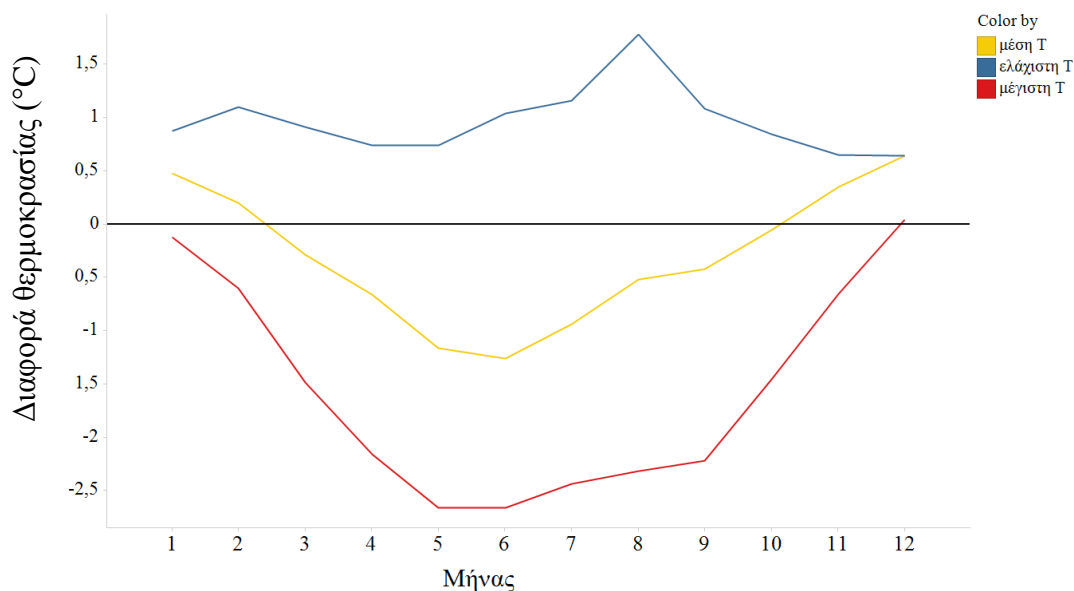


Εικόνα 6.7: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι του Ηρακλείου για τις 29- 30 Ιανουαρίου 2014



Εικόνα 6.8: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι του Ηρακλείου για τις 5- 6 Μαρτίου 2014

Όσον αφορά στη διακύμανση της διαφοράς μέσης- μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας Κνωσού- Ηρακλείου, η Κνωσός κάθε μήνα έχει κατά περίπου 1°C χαμηλότερη απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία κάθε μήνα (εικόνα 6.9). Τους χειμερινούς μήνες έχει 0.5°C χαμηλότερη μέση θερμοκρασία, ενώ τους καλοκαιρινούς έχει υψηλότερη με μέγιστη τιμή 1.3°C. Η Κνωσός έχει μεγαλύτερη απολύτως μέγιστη θερμοκρασία, η οποία κυμαίνεται από ίση το χειμώνα ως μέγιστη τιμή τον Ιούνιο 2.5°C.



Εικόνα 6.9: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης- μέγιστης- ελάχιστης θερμοκρασίας της Κνωσού από το Λιμάνι του Ηρακλείου για το 2013

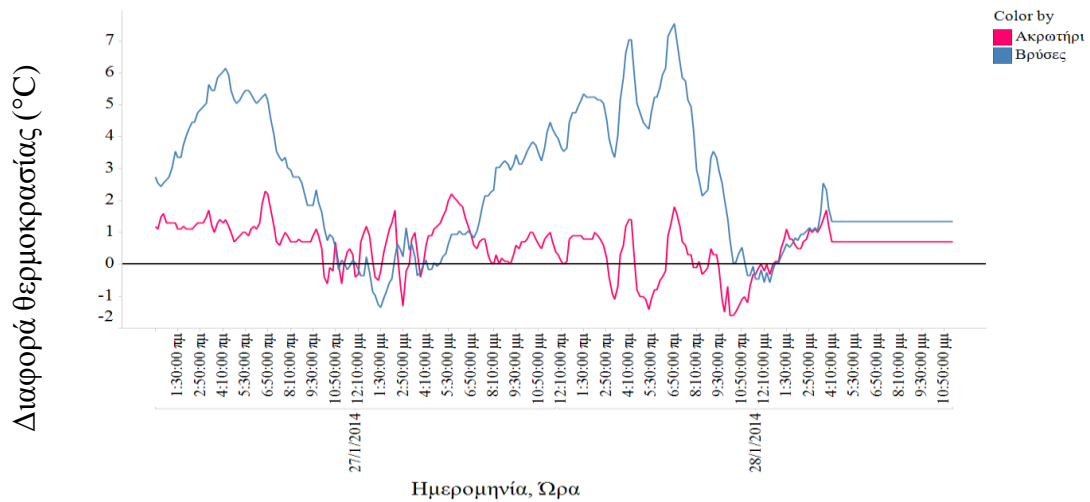
6.4 Χανιά

Όπως και στις προηγούμενες μεγάλες πόλεις που αναλύθηκαν, έτσι και στα Χανιά χρησιμοποιήθηκαν τρεις σταθμοί (εικόνα 6.10). Ο πρώτος σταθμός βρίσκεται κέντρο των Χανίων σε υψόμετρο 7 m. Ο δεύτερος, στο Πολυτεχνείο Χανίων, στην περιοχή που ονομάζεται Ακρωτήριο, σε υψόμετρο 137 m. Ο τρίτος σταθμός βρίσκεται 30 km νοτιοανατολικά των Χανίων, στις Βρύσες με υψόμετρο 58 m.

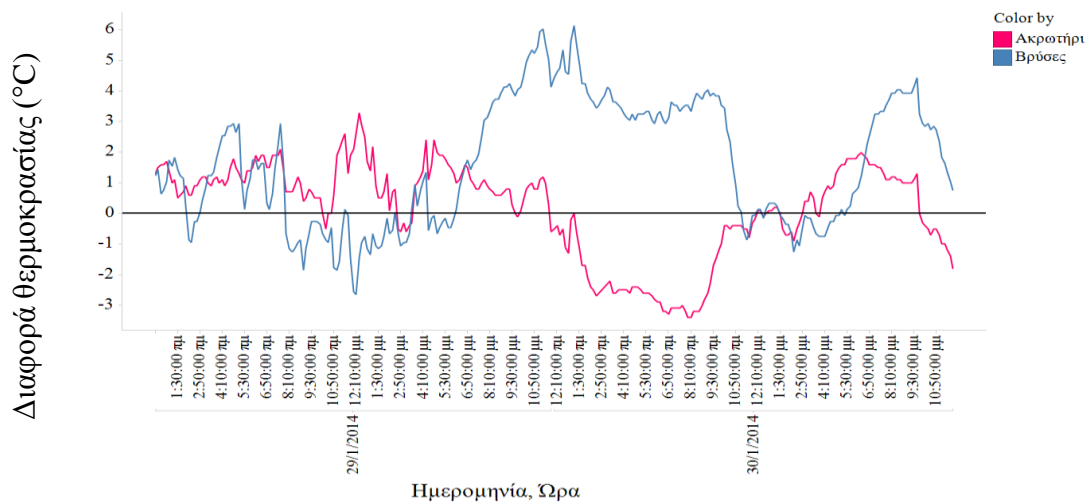


Εικόνα 6.10: Τοποθεσία των σταθμών στα Χανιά.

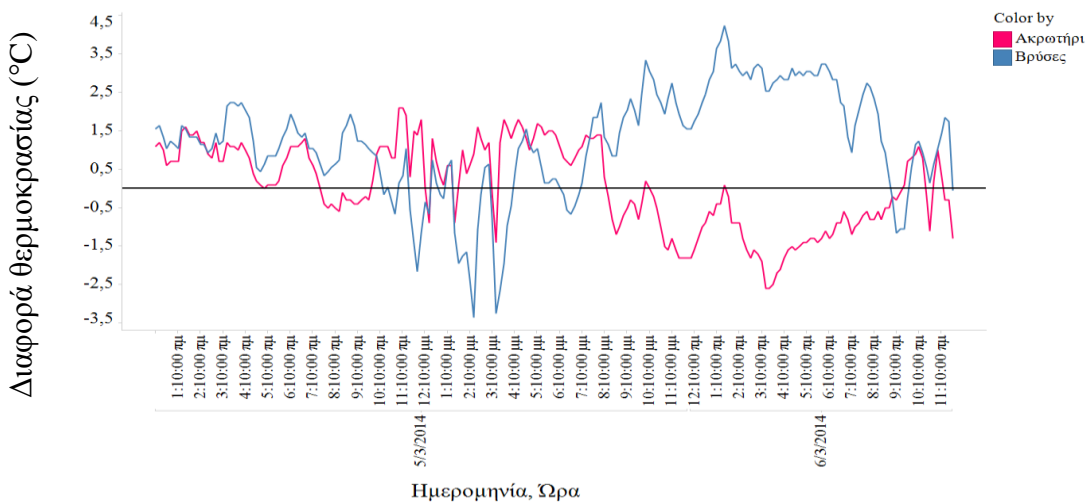
Σε γενικές γραμμές και στα Χανιά παρατηρήθηκε η ίδια μεταβολή στις θερμοκρασιακές διαφορές. Οι Βρύσες Χανίων έχουν πολύ χαμηλότερη τιμή από το κέντρο των Χανίων με μέση τιμή 1.5°C για τις 29- 30 Ιανουαρίου (εικόνα 6.12) και 2.7°C για τις 27- 28 Ιανουαρίου (εικόνα 6.11), ενώ η μέγιστη τιμή ήταν 7.5°C στις 27- 28 Ιανουαρίου. Αντιθέτως, τις μεσημβρινές ώρες παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία από όλους τους σταθμούς με μέγιστη τιμή απόκλισης από το κέντρο τους 3.4°C στις 5 Μαρτίου. Ο σταθμός στο Ακρωτήριο Χανίων είχε μικρές διαφορές από αυτόν στο κέντρο. Η τυπική απόκλιση ήταν 1.2°C για το Ακρωτήριο και 2°C για τις Βρύσες. Το διήμερο με τη μέγιστη ένταση θερμικής νησίδας ήταν στις 27- 28 Ιανουαρίου 2014.



Εικόνα 6.11: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για τις 27- 28 Ιανουαρίου 2014

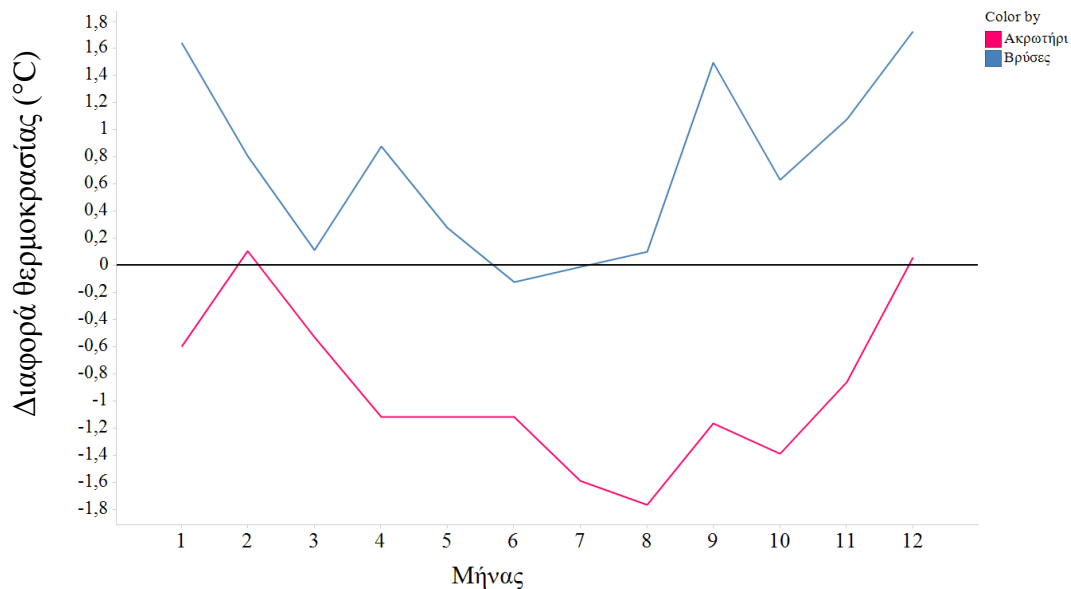


Εικόνα 6.12: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για τις 29- 30 Ιανουαρίου 2014

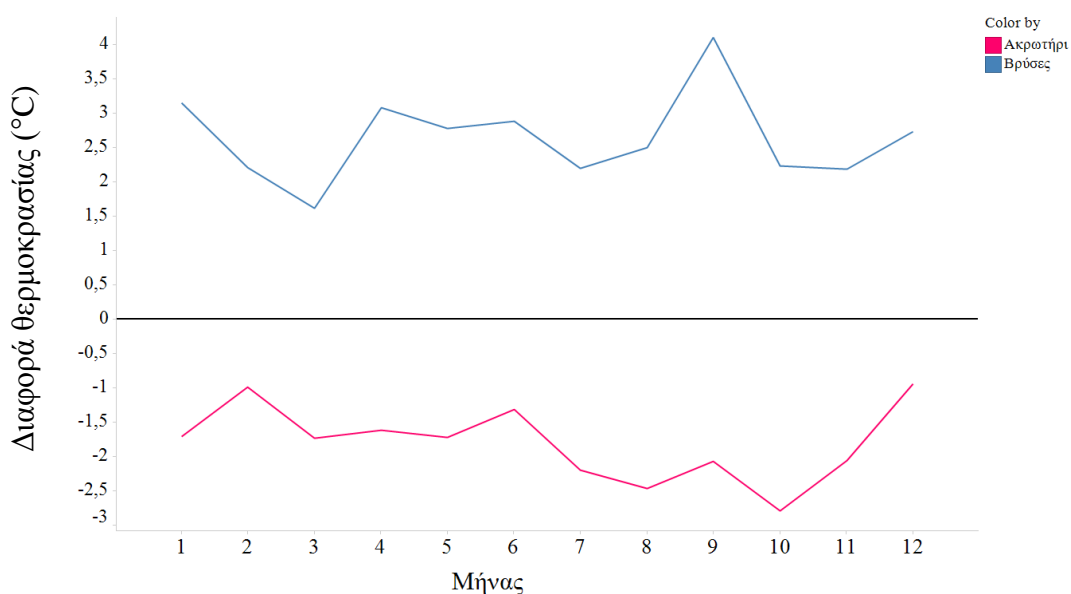


Εικόνα 6.13: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για τις 5- 6 Μαρτίου 2014

Οι εικόνες 6.14- 6.15 δείχνουν ότι το Ακρωτήριο έχει όλους τους μήνες μεγαλύτερη μέση και ελάχιστη θερμοκρασία από το κέντρο των Χανίων με τις μεγαλύτερες διαφορές να σημειώνονται τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι Βρύσες έχουν απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία κατά 2.5°C χαμηλότερη από την αντίστοιχη του κέντρου των Χανίων, ενώ απολύτως μέγιστη υψηλότερη ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες με τιμή 3°C τον Ιούλιο- Αύγουστο.



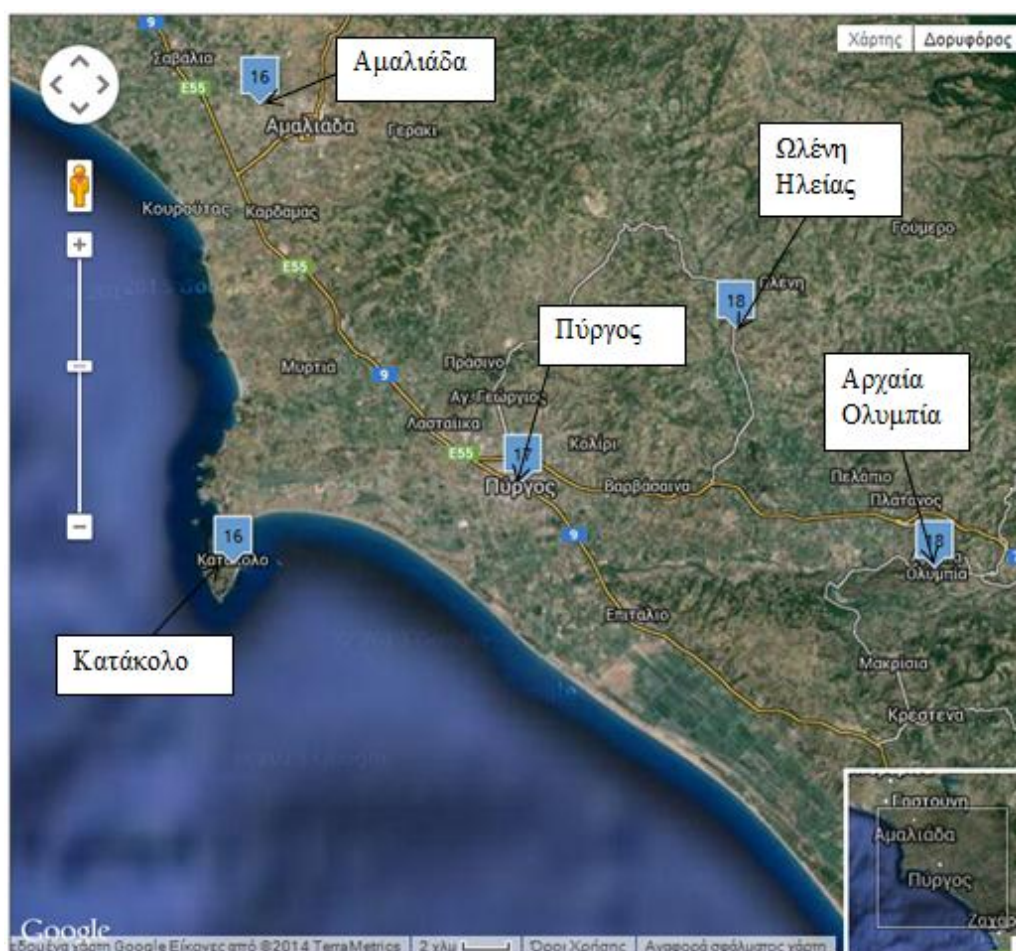
Εικόνα 6.14: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για όλους τους μήνες του 2013



Εικόνα 6.15: Διακύμανση της διαφοράς της ελάχιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για όλους τους μήνες του 2013

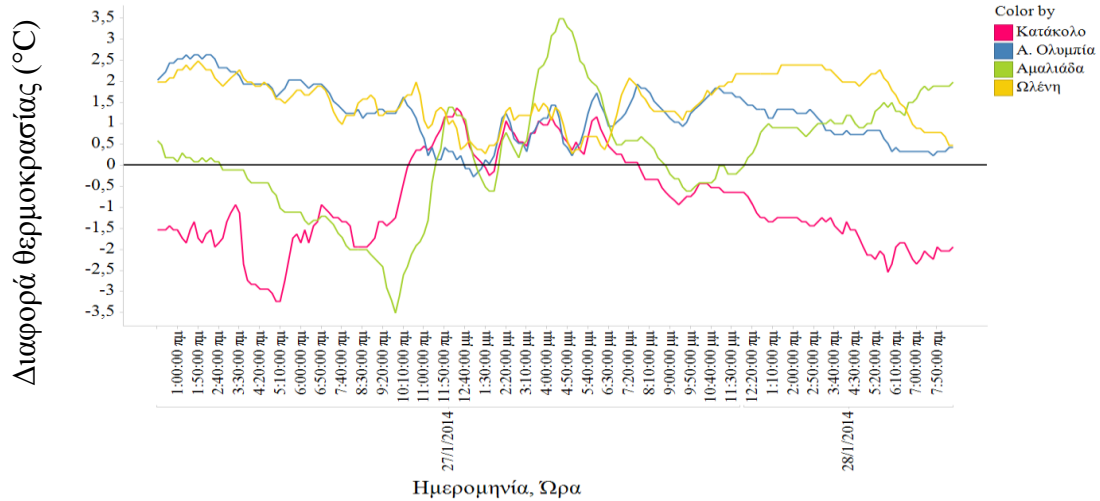
6.5 Πύργος

Στην περίπτωση του Πύργου χρησιμοποιήθηκαν πέντε σταθμοί (εικόνα 6.17). Ο πρώτος σε υψόμετρο 22 m, μέσα στην πόλη του Πύργου, σε οροφή κτιρίου. Ο δεύτερος σταθμός βρίσκεται σε απόσταση 14 km, στο δημοτικό διαμέρισμα Ωλένης, σε υψόμετρο 61 m. Ο τρίτος σταθμός απέχει 20 km από τον Πύργο, και είναι τοποθετημένος στην Αμαλιάδα σε υψόμετρο 26 m. Σε απόσταση 20 km από τον Πύργο είναι και ο μετεωρολογικός σταθμός της Αρχαίας Ολυμπίας (υψόμετρο 45 m). Μόνος παραλιακός σταθμός αυτός στο Κατάκολο που απέχει 13 km από την πόλη του Πύργου και βρίσκεται στο Λιμενικό Ταμείο Κατάκολου, σε υψόμετρο 2 m.

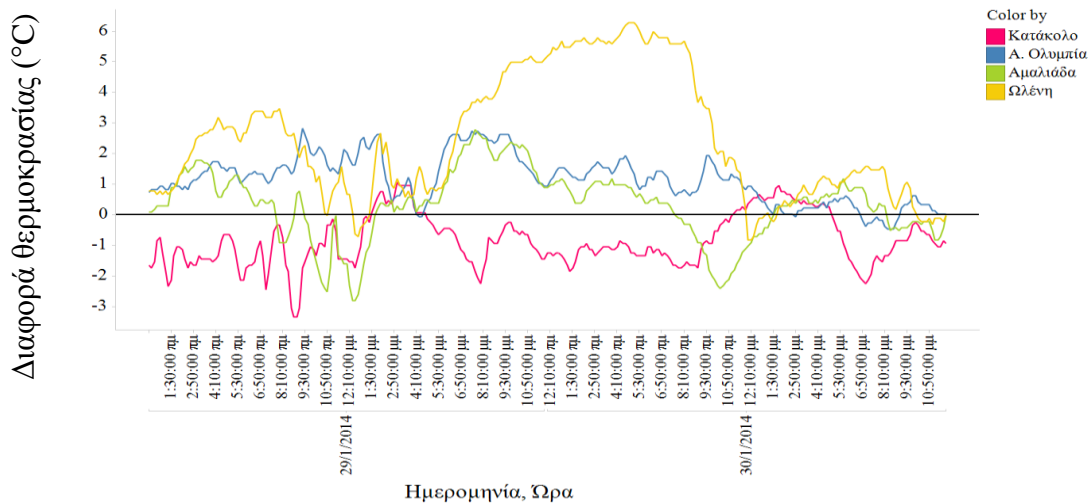


Εικόνα 6.16: Τοποθεσία των σταθμών στον Πύργο.

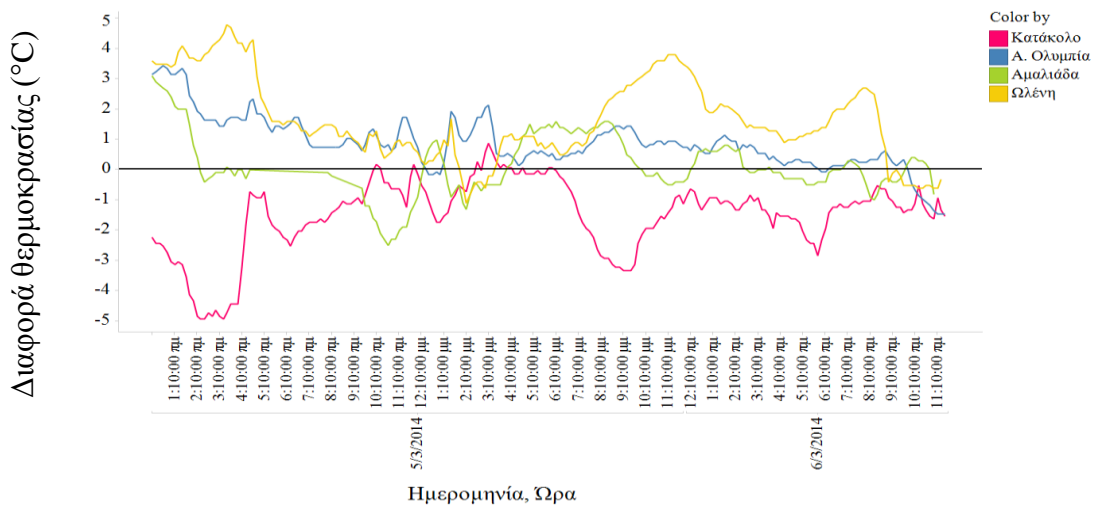
Η Αρχαία Ολυμπία και η Ωλένη Ηλείας ήταν όλη τη μέρα ψυχρότερες από το κέντρο του Πύργου, με τις μικρότερες διαφορές να σημειώνονται τις μεσημβρινές ώρες. Η Αμαλιάδα έχει μικρότερες διαφορές από τον Πύργο και, όπως και στις υπόλοιπες πόλεις που εξετάστηκαν, είναι θερμότερη μόνο τις μεσημβρινές ώρες. Αντίθετα, το Κατάκολο έχει υψηλότερη θερμοκρασία όλη τη μέρα (μέγιστη διαφορά 5°C στις 5 Μαρτίου) και χαμηλότερη μόνο στο διάστημα 11 πμ- 5 μμ. Το εύρος της μέσης τιμής των διαφορών είναι 4.1°C για τις 27- 28 Ιανουαρίου (εικόνα 6.18), 3.5°C για τις 29- 30 Ιανουαρίου (εικόνα 6.19) και 3.2°C για τις 5- 6 Μαρτίου (εικόνα 6.20). Η μέγιστη ένταση της θερμικής νησίδας παρατηρήθηκε πάλι λίγο μετά το ηλιοβασίλεμα.



Εικόνα 6.17: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για τις 27- 28 Ιανουαρίου 2014

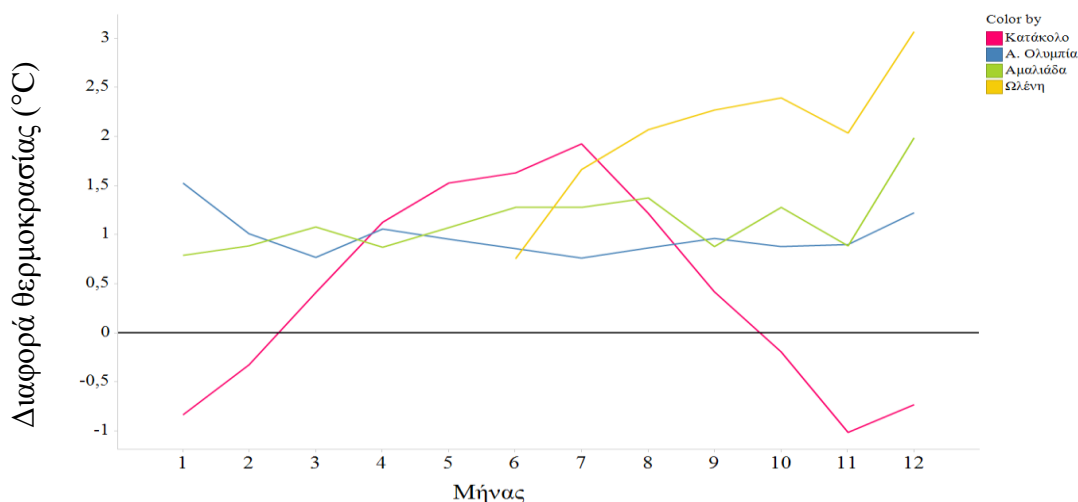


Εικόνα 6.18: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για τις 29- 30 Ιανουαρίου 2014

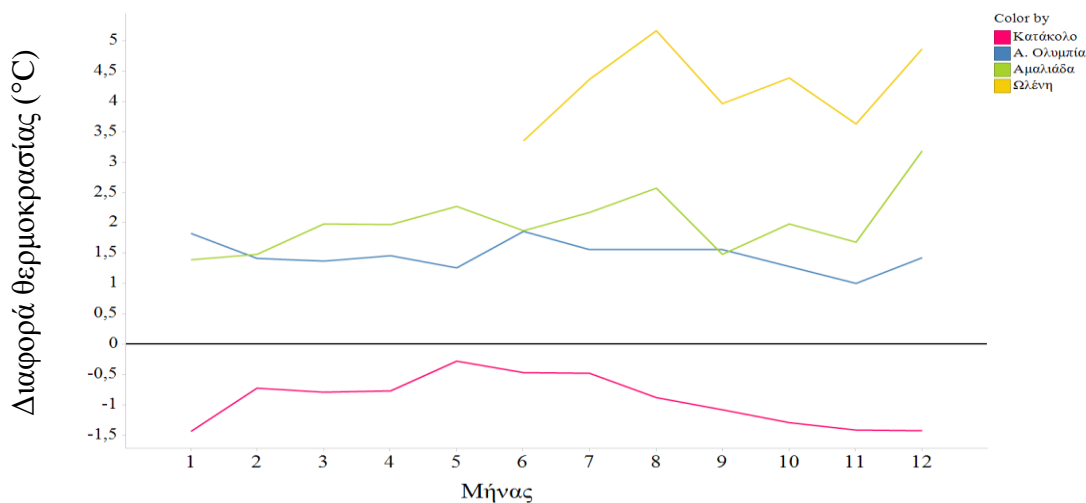


Εικόνα 6.19: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για τις 5- 6 Μαρτίου 2014

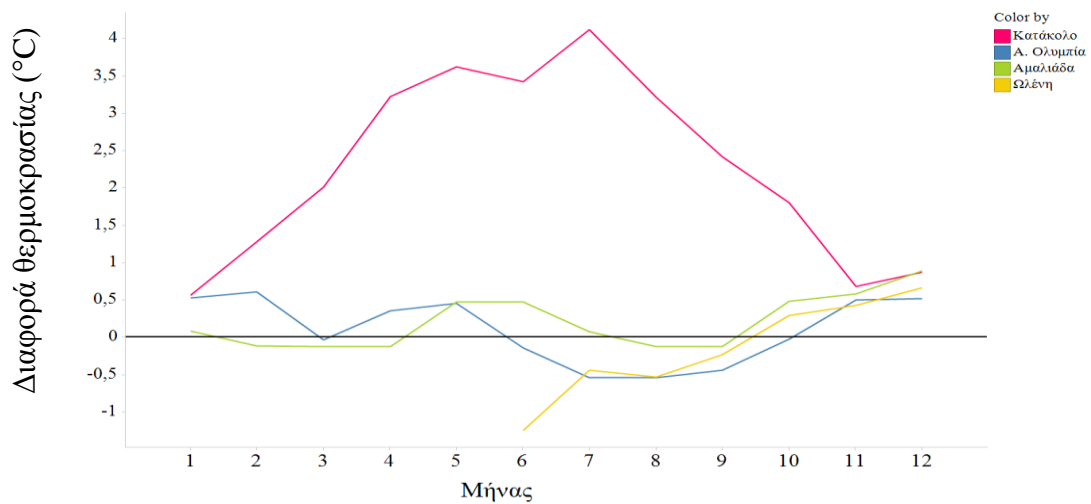
Ακολούθως έγινε η σύγκριση μέσης- μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του έτους 2013 με μηνιαίο χρονικό βήμα. Υψηλότερη μέση θερμοκρασία από τον Πύργο είχε μόνο το Κατάκολο τους χειμερινούς μήνες. Αρχαία Ολυμπία και Αμαλιάδα ήταν σταθερά 1°C πιο θερμές όλους τους μήνες. Αντίστοιχα, το Κατάκολο είχε κατά 1°C υψηλότερη ελάχιστη από τον Πύργο, ο οποίος είχε υψηλότερη κατά 1.5°C από Αμαλιάδα και Αρχαία Ολυμπία. Η Ωλένη είχε και μέση και ελάχιστη θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη από τον Πύργο. Όσον αφορά στην απολύτως μέγιστη θερμοκρασία, όλες οι περιοχές είχαν παρόμοιες τιμές με εξαίρεση το Κατάκολο που είχε χαμηλότερες τιμές με αποκορύφωμα τον Αύγουστο με τιμή 4°C.



Εικόνα 6.20: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για όλους τους μήνες του 2013



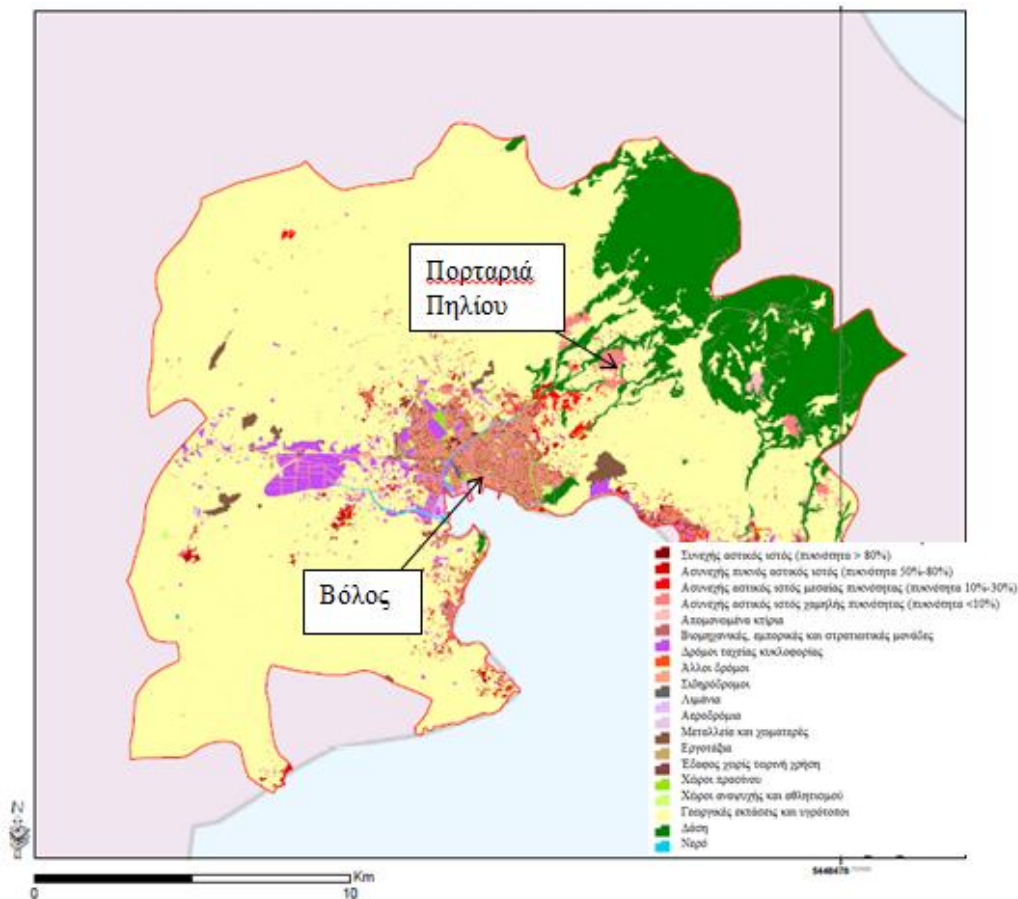
Εικόνα 6.21: Διακύμανση της διαφοράς της ελάχιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για όλους τους μήνες του 2013



Εικόνα 6.22: Διακύμανση της διαφοράς της μέγιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για όλους τους μήνες του 2013

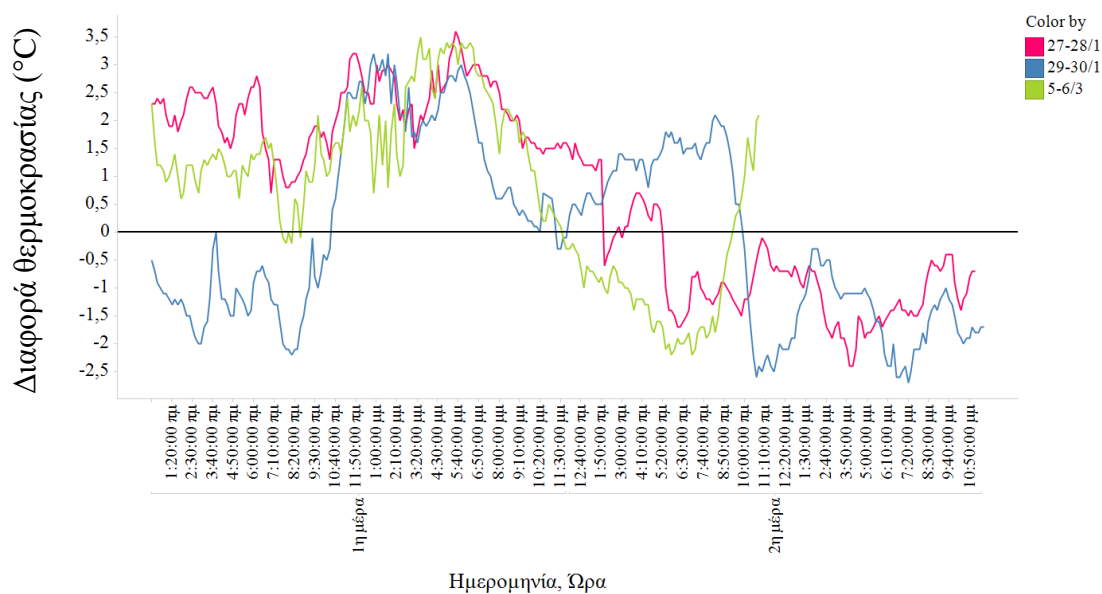
6.6 Βόλος

Στο Βόλο, αναλύθηκαν οι θερμοκρασιακές διαφορές από δύο σταθμούς: Τον έναν σε υψόμετρο 52 m μέσα στην πόλη του Βόλου και τον άλλο στο Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην Πορταριά Πηλίου, δημοφιλή τουριστικό προορισμό σε απόσταση 12 km και υψόμετρο 600 m (εικόνα 6.24).



Εικόνα 6.23: Τοποθεσία των δύο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή του Βόλου συγκριτικά με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες περιοχής (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas/greece>).

Λόγω της μεγάλης διαφοράς υψομέτρου των δύο σταθμών (550 m) η ένταση της θερμικής νησίδας είναι λιγότερο έντονη και δεν μπορούν να εξαχθούν τόσο ασφαλή συμπεράσματα. Ο Βόλος έχει υψηλότερη θερμοκρασία από την Πορταριά Πηλίου. Από τα τρία διήμερα που αναλύθηκαν, η μέση τιμή της διαφοράς λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή τους στις 27- 28 Ιανουαρίου (2.10°C), ενώ η τυπική απόκλιση τη μικρότερη 0.64°C. Για τις 29- 30 Ιανουαρίου οι αντίστοιχες τιμές είναι 0.4°C και 1.7°C αντίστοιχα, ενώ για τις 5- 6 Μαρτίου 1.3°C και 1.2°C.



Εικόνα 6.24: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Πορταριάς από το Βόλο για τα διήμερα καταγραφών ανά 10'

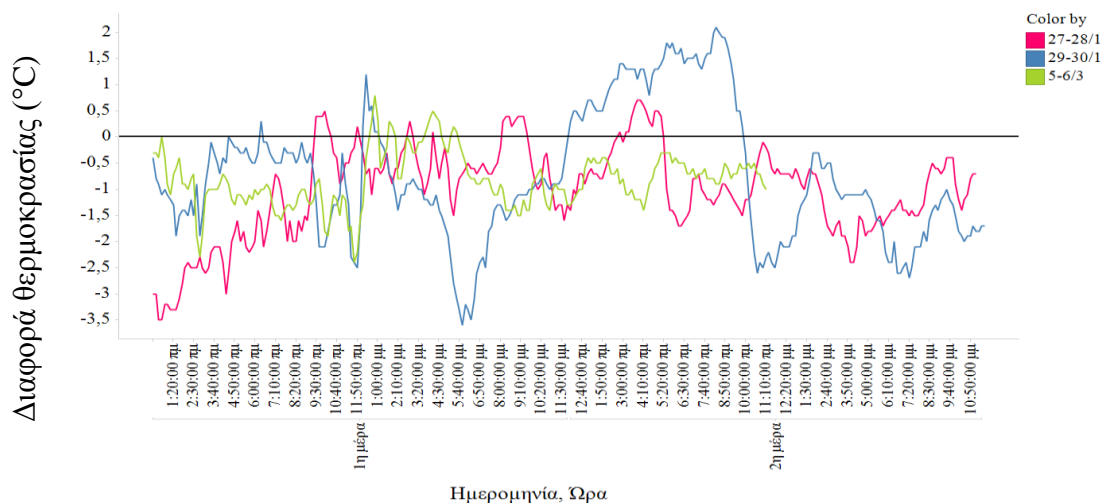
6.7 Πρέβεζα- Λευκάδα

Οι επόμενοι σταθμοί που αναλύθηκαν ήταν αυτοί της Πρέβεζας και της Λευκάδας, οι οποίοι απέχουν 24 km (εικόνα 6.26). Ο σταθμός της Πρέβεζας βρίσκεται στη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Πρέβεζας. Και οι δύο σταθμοί είναι σε υψόμετρο 12 m.



Εικόνα 6.25: Τοποθεσία των μετεωρολογικών σταθμών στην Πρέβεζα και τη Λευκάδα.

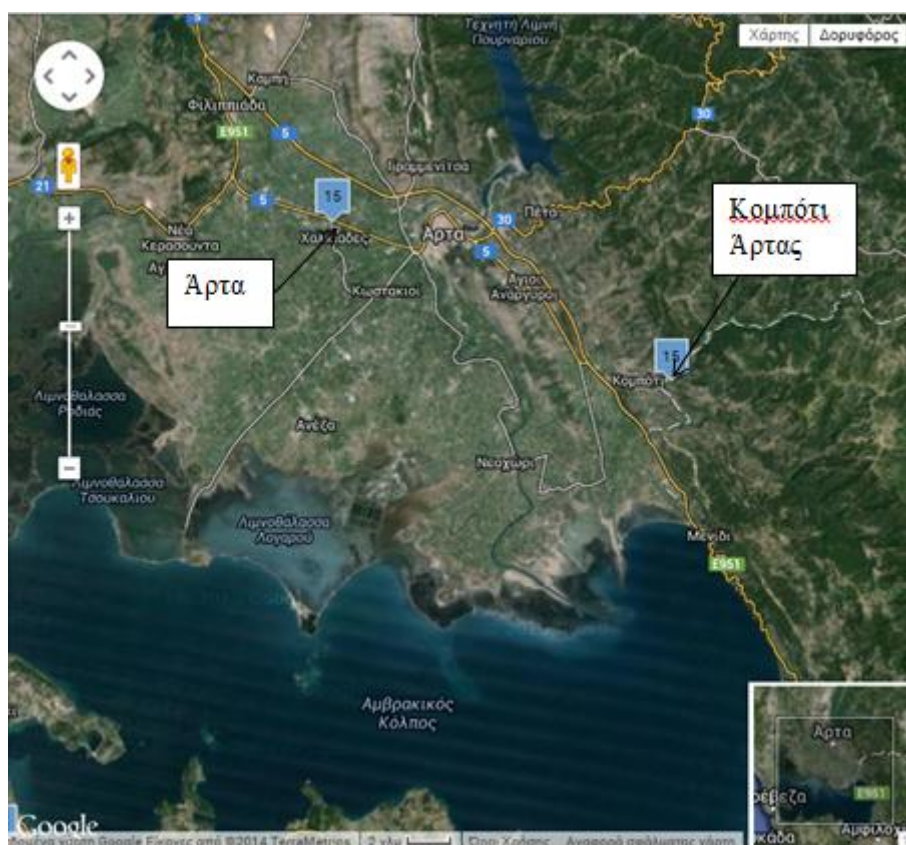
Όπως φαίνεται από την εικόνα 6.27 η Λευκάδα έχει υψηλότερη θερμοκρασία από την Πρέβεζα, η οποία είναι πιο θερμή μόνο από τις 11πμ- 4 μμ. Τόσο η μέση τιμή όσο και η τυπική απόκλιση παίρνουν σχεδόν ίσες τιμές και για τα τρία διήμερα (γύρω στον 1°C και τα δύο).



Εικόνα 6.26: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Λευκάδας από την Πρέβεζα για τα διήμερα καταγραφών ανά 10'

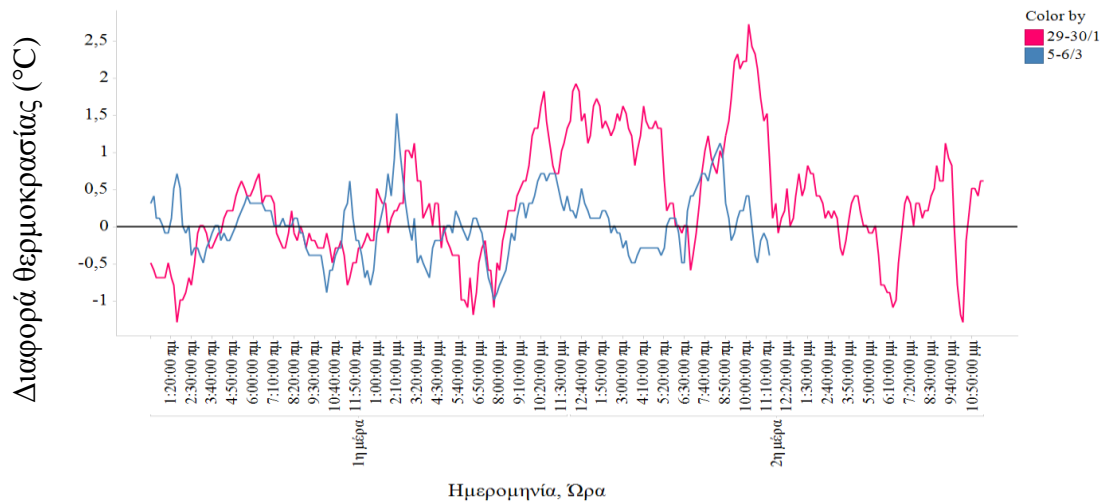
6.8 Άρτα

Στην πόλη της Άρτας, αναλύθηκαν οι θερμοκρασιακές διαφορές από δύο σταθμούς (εικόνα 6.28). Ο σταθμός της Άρτας είναι τοποθετημένος στην περιοχή Βλαχέρνας, σε υψόμετρο 50 m. Ο δεύτερος σταθμός είναι στο δημοτικό διαμέρισμα Κομπότιου, στο ΤΕΙ Ηπείρου, ΣΤΕΓ- Τμήμα Ανθοκομίας- Αρχιτεκτονικής Τοπίου, σε υψόμετρο 75 m και απόσταση 15 km από την Άρτα.



Εικόνα 6.27: Τοποθεσία των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Άρτας.

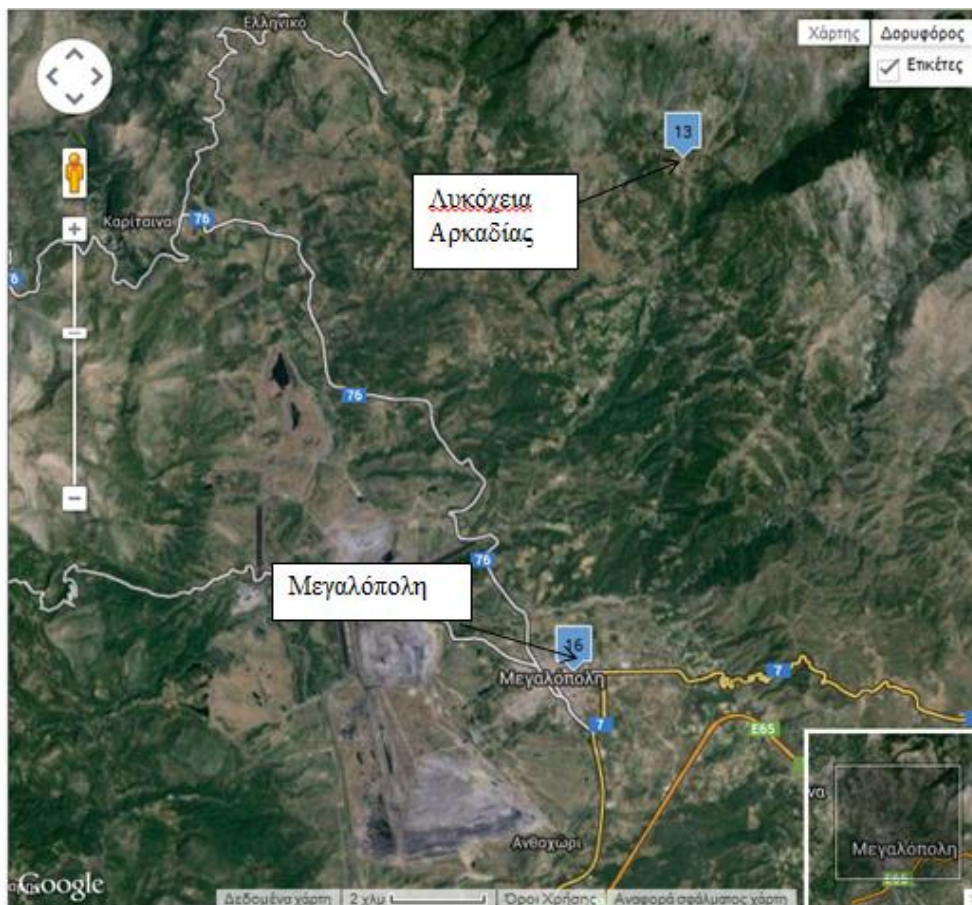
Η μέση τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στο Κομπότι και την Άρτα στις 5-6 Μαρτίου 2014 είναι 0°C. Αντιθέτως, στις 29-30 Ιανουαρίου φαίνεται ξεκάθαρα το Κομπότι να είναι πιο ψυχρό με μέγιστη τιμή τους 2°C και τυπική απόκλιση 0.8°C. Μόνο από την ανατολή ως τη δύση του ηλίου το Κομπότι είχε υψηλότερες θερμοκρασίες από την Άρτα.



Εικόνα 6.28: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας στο Κομπότι από την Άρτα για τα διήμερα καταγραφών ανά 10’

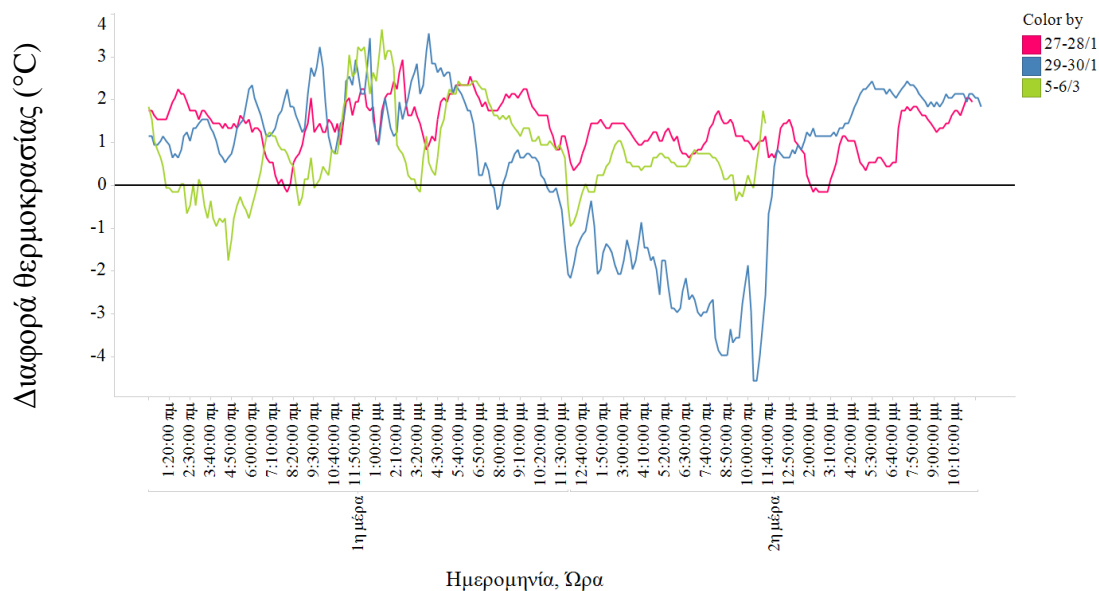
6.9 Μεγαλόπολη

Στην περίπτωση της Μεγαλόπολης, χρησιμοποιήθηκαν δύο σταθμοί. Ο σταθμός της Μεγαλόπολης βρίσκεται στο Γενικό Λύκειο Μεγαλόπολης, σε υψόμετρο 432 m, ενώ ο σταθμός στη Λυκόχεια Αρκαδίας απέχει 13 km και είναι σε υψόμετρο 870 m.



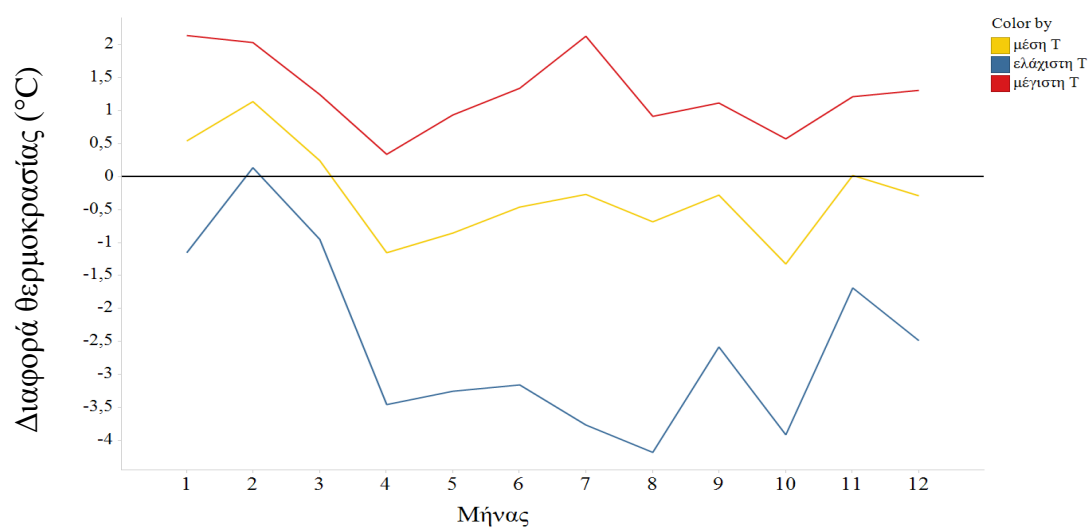
Εικόνα 6.29: Τοποθεσία των δύο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Μεγαλόπολης.

Η διαφορά θερμοκρασίας στις δύο περιοχές είναι αισθητή, αλλά πρέπει να τονίσουμε ότι η Λυκόχεια είναι σε μεγάλο υψόμετρο, μεγαλύτερο από 700m, στο οποίο ο Bornstein (1968) απέδειξε πως η επίδραση της θερμικής νησίδας εκμηδενίζεται. Η Λυκόχεια έχει σταθερά χαμηλότερη θερμοκρασία από τη Μεγαλόπολη κατά 1°C στις 28- 29/1 και 5- 6/3, και 1.5°C στις 27- 28 Ιανουαρίου. Η τυπική απόκλιση είναι 1.2 και 0.6°C αντίστοιχα.



Εικόνα 6.30: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Λυκόχειας από τη Μεγαλόπολη για τα διήμερα καταγραφών ανά 10’

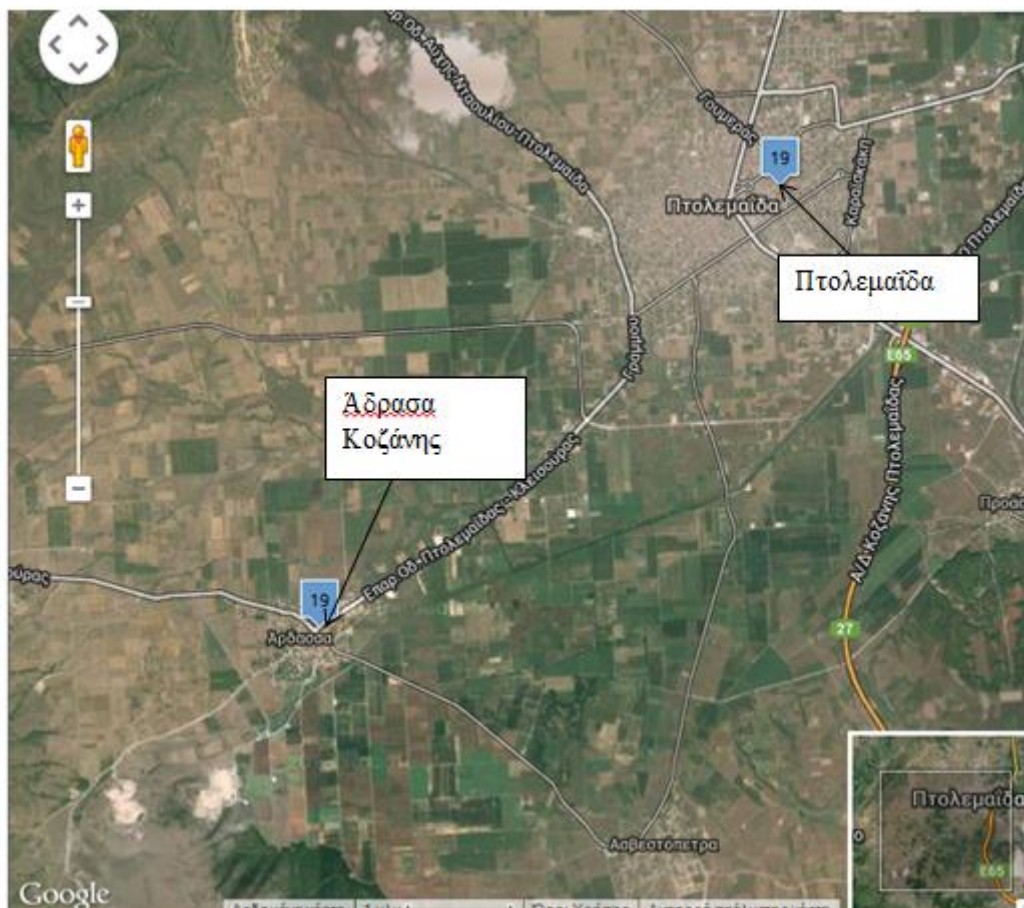
Σε ότι αφορά τη σύγκριση σε επίπεδο έτους (2013), η Λυκόχεια παίρνει μεγαλύτερες τιμές στην απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία κατά 3.5°C περίπου και μικρότερες στην απολύτως μέγιστη κατά 1.5°C. Η Μεγαλόπολη είχε ελάχιστα υψηλότερη μέση θερμοκρασία το χειμώνα και χαμηλότερη όλους τους υπόλοιπους μήνες.



Εικόνα 6.31: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης- μέγιστης- ελάχιστης θερμοκρασίας της Λυκόχειας από τη Μεγαλόπολη για το 2013

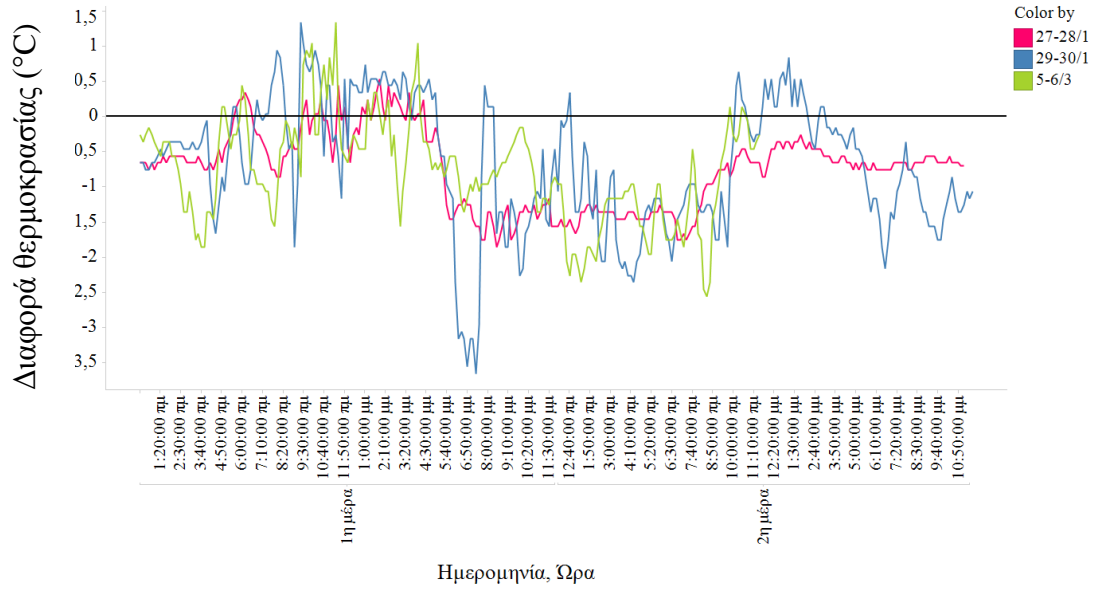
6.10 Πτολεμαΐδα

Και για την διερεύνηση της ύπαρξης αστικής θερμικής νησίδας στην Πτολεμαΐδα χρησιμοποιήθηκαν δύο σταθμοί (εικόνα 6.33). Ο ένας στην Πτολεμαΐδα σε υψόμετρο 606 m, ενώ ο άλλος σε απόσταση 6 km νοτιοδυτικά, στα Άδρασα Κοζάνης και υψόμετρο 625 m.

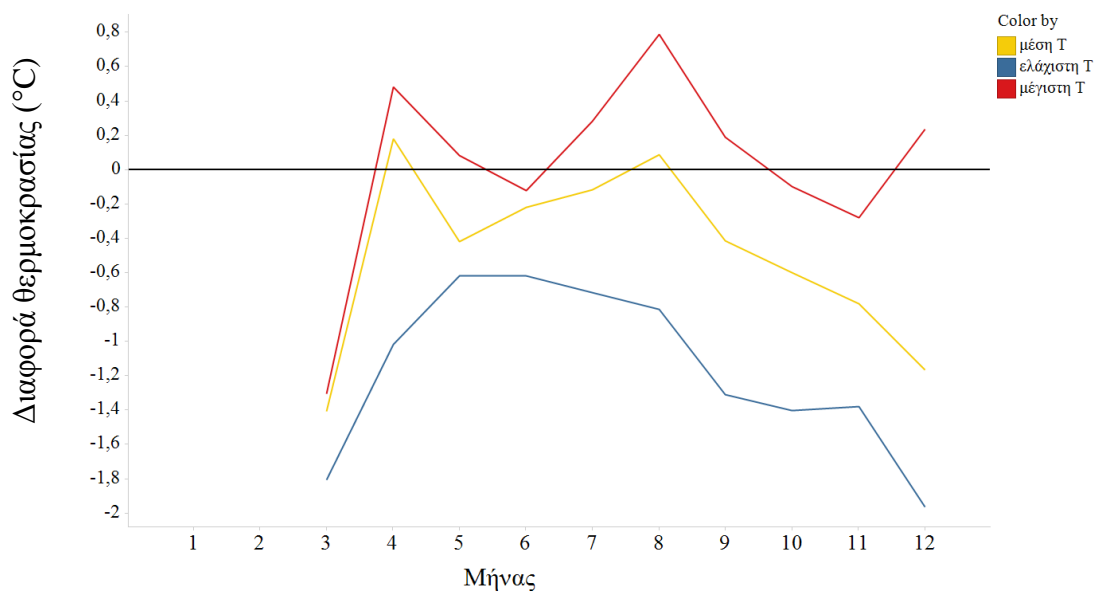


Εικόνα 6.32: Τοποθεσία των δύο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Πτολεμαΐδας.

Τα Άδρασα Κοζάνης προέκυψαν πιο θερμά από την Πτολεμαΐδα κατά 0.7°C και τα τρία διήμερα, με μέγιστη τιμή τους 3.5°C στις 29 Ιανουαρίου. Την ίδια μέρα είχε και η τυπική απόκλιση τη μέγιστη τιμή της (1°C). Η Πτολεμαΐδα είχε υψηλότερες τιμές μόνο από τις 10 πμ ως τις 2 μμ και παίρνει μεγαλύτερες τιμές στην απολύτως μέγιστη θερμοκρασία, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες.



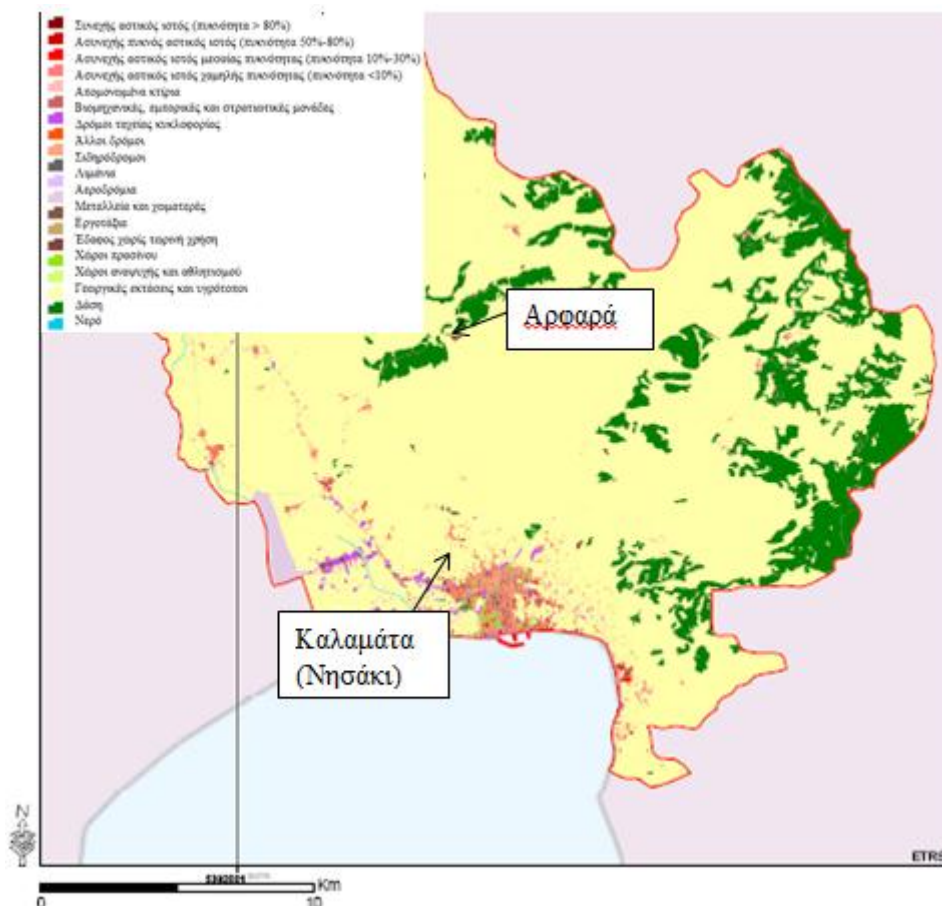
Εικόνα 6.33: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας στα Άδρασα από την Πτολεμαΐδα για τα διήμερα καταγραφών ανά 10’



Εικόνα 6.34: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης- μέγιστης- ελάχιστης θερμοκρασίας στα Άδρασα από την Πτολεμαΐδα για το 2013

6.11 Καλαμάτα

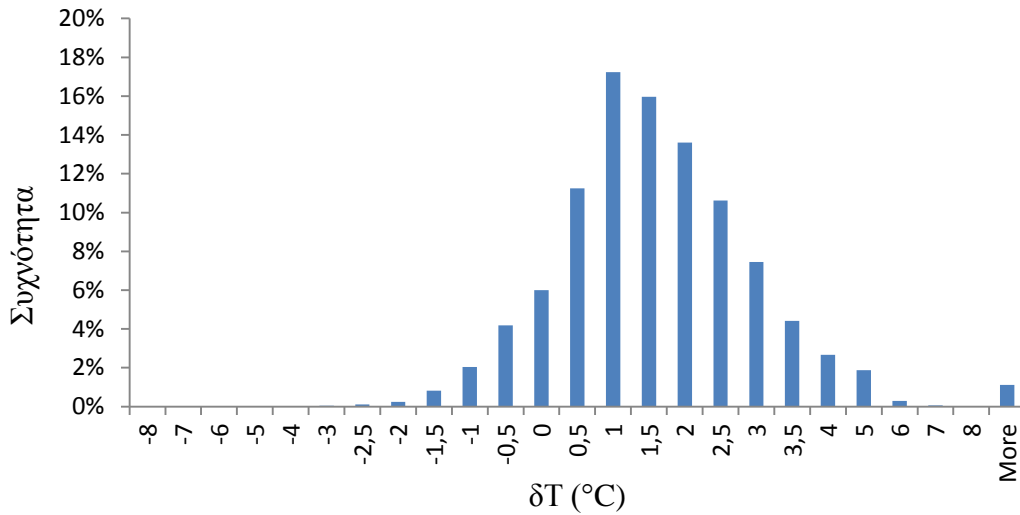
Για να ερευνηθεί πιθανή ύπαρξη της θερμικής νησίδας στην Καλαμάτα, συγκρίθηκαν ένας σταθμός στο κέντρο της πόλης, περιοχή Νησάκι και υψόμετρο 27 m, με το σταθμό στα Αρφαρά Μεσσηνίας, σε απόσταση 8 km και υψόμετρο 96 m (εικόνα 6.36).



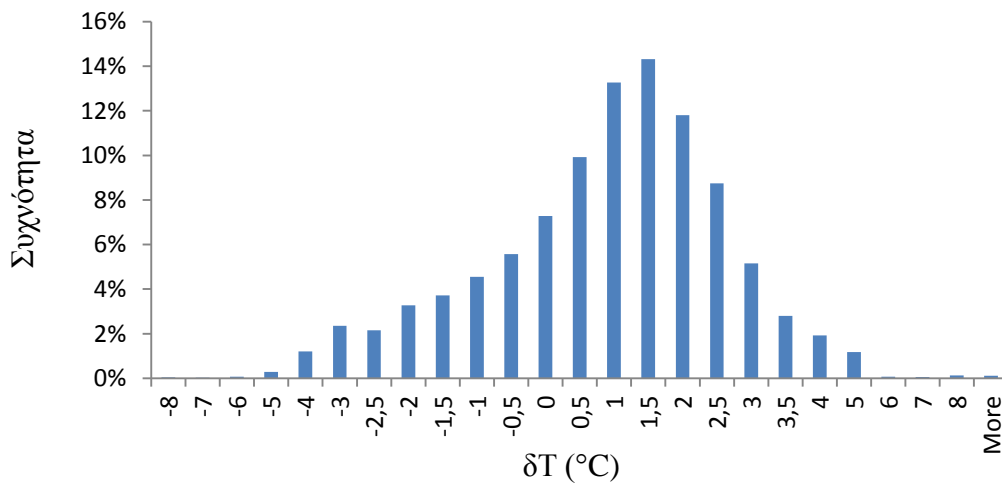
Εικόνα 6.35: Τοποθεσία των δύο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Καλαμάτας συγκριτικά με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες περιοχής (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas/greece>).

Στην περίπτωση της Καλαμάτας αναλύθηκε η χρονοσειρά όλων των θερμοκρασιών ανά 10 λεπτά από τον Οκτώβριο του 2012 έως το Φεβρουάριο του 2014 και για τους δύο σταθμούς. Υπολογίστηκαν οι θερμοκρασιακές διαφορές των Αρφαρών από την Καλαμάτα λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά υψόμετρου και κατασκευάστηκαν τα ιστογράμματα των διαφορών για κάθε εποχή.

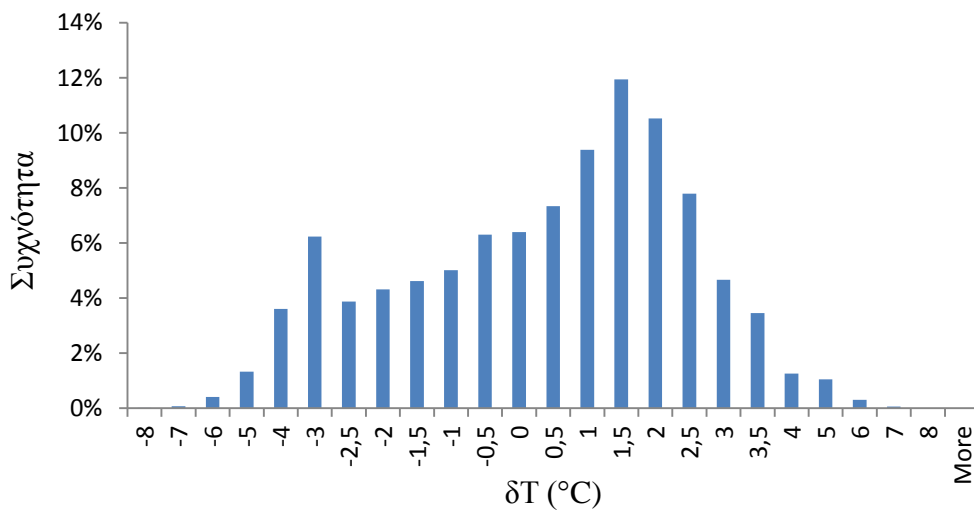
Η Καλαμάτα προέκυψε πιο θερμή από τα Αρφαρά. Τα ιστογράμματα των διαφορών θερμοκρασίας για κάθε εποχή φαίνονται στις εικόνες 6.37-6.40. Οι μεγαλύτερες διαφορές προέκυψαν το χειμώνα (η Καλαμάτα είχε υψηλότερη θερμοκρασία στο 85% των μετρήσεων) και ακολουθούν το φθινόπωρο, η άνοιξη, ενώ οι μικρότερες διαφορές το καλοκαίρι, όπου τα Αρφαρά πολλές φορές έχουν υψηλότερη θερμοκρασία.



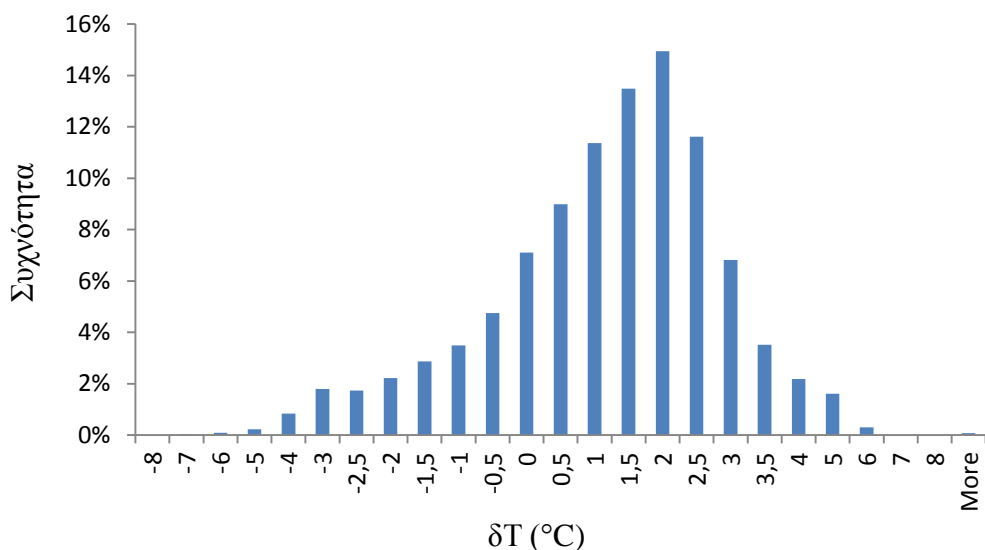
Εικόνα 6.36: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας- Αρφαρών για τους χειμερινούς μήνες 2013- 2014



Εικόνα 6.37: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας- Αρφαρών για την άνοιξη του 2013



Εικόνα 6.38: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας- Αρφαρών για τους καλοκαιρινούς μήνες του 2013



Εικόνα 6.39: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας- Αρφαρών για τους φθινοπωρινούς μήνες του 2012- 2013

Συγκεντρωτικά, στον Πίνακα 6.2 φαίνονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των θερμοκρασιακών διαφορών κέντρου -περίχωρα στην Καλαμάτα.

Πίνακας 6.2: Κύρια στατιστικά μεγέθη των θερμοκρασιακών αποκλίσεων στην Καλαμάτα

εποχή	μέση τιμή δT	τυπική απόκλιση δT
χειμώνας	1,34	1,30
άνοιξη	0,65	1,82
καλοκαίρι	0,09	2,24
φθινόπωρο	0,94	1,73

6.12 Συνολικά

Στον Πίνακα 6.3 φαίνεται για κάθε εποχή η μέση τιμή της απόκλισης των θερμοκρασιακών διαφορών για τις πόλεις που εξετάστηκαν στο Κεφάλαιο 6 σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία. Οι μέγιστες διαφορές παρατηρήθηκαν στη Θεσσαλονίκη και τη Λάρισα. Όπως έχουν σχολιάσει και οι Stathorouliou et al. (2004), για τις πόλεις της Θεσσαλονίκης, Πάτρας, Βόλου και Ηρακλείου, που αποτελούν τις σημαντικότερες πόλεις με λιμάνια στην Ελλάδα, είναι εμφανής η παρουσία αστικής θερμικής νησίδας σε όλες τις περιπτώσεις, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να ανιχνεύονται κατά μήκος της παράκτιας ζώνης που προκύπτει από τον πυκνό αστικό ιστό και οδικό δίκτυο, καθώς και από την έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα. Και στις εκτός Αττικής περιοχές, η ένταση ΑΘΝ είναι υψηλότερη τους χειμερινούς μήνες.

Πίνακας 6.3: Μέση απόκλιση θερμοκρασιακών διαφορών και μέση θερμοκρασία για κάθε εποχή για τις εκτός Αττικής περιοχές που εξετάστηκαν.

Πόλη	μέση απόκλιση δT ($^{\circ}C$)				Μέση θερμοκρασία T ($^{\circ}C$)			
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
Θεσσαλονίκη	2,35	1,14	0,73	1,54	8,10	16,50	26,40	18,00
Πάτρα	1,76				13,25			
Ηράκλειο	0,44	-0,70	-0,91	-0,04	13,13	18,63	25,43	20,73
Λάρισα	0,44	1,52	1,98	1,29	7,60	17,23	26,90	18,13
Βόλος	1,45			0,24	10,40			14,90
Χανιά	1,39	0,42	-0,01	1,07	12,73	17,87	24,73	20,10
Καλαμάτα	1,34	0,65	0,09	0,94	12,69	18,34	27,06	19,87
Πύργος	1,25	0,93	0,83	0,91	11,90	18,13	26,60	20,13
Άρτα	0,38	0,15	0,31	0,54	10,00	17,17	26,53	19,27
Μέση τιμή όλων των πόλεων	1,20	0,59	0,43	0,81	11,09	17,70	26,24	18,89

7 Μεταβλητότητα Θερμοκρασίας στην Ελλάδα: Χωρο- χρονικές Σχέσεις

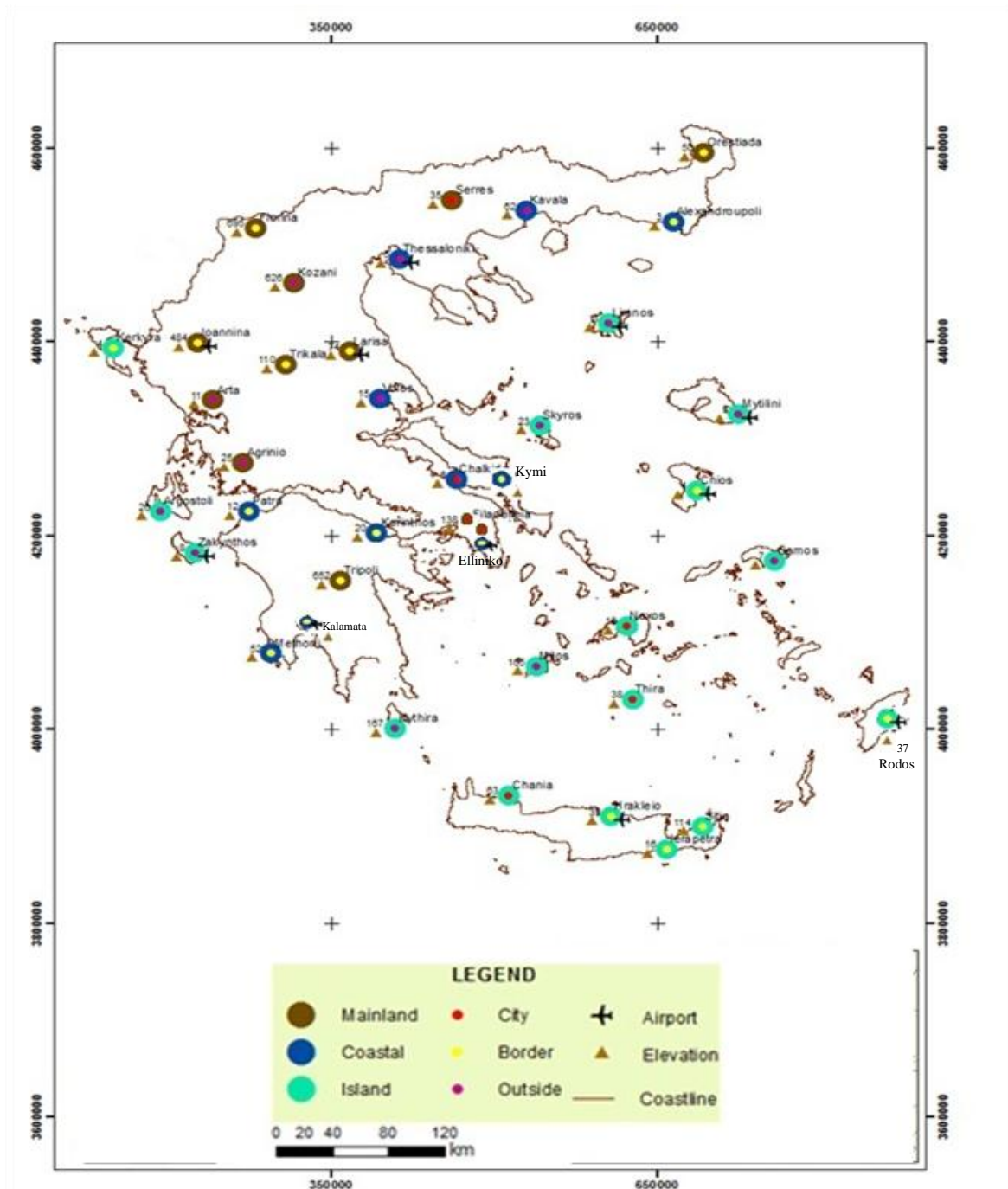
7.1 Εισαγωγή

Για να εξετάσουμε την πιθανή επίδραση των χωρικών χαρακτηριστικών στη θερμοκρασία, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), από το 1950. Δυστυχώς, δεν υπάρχουν καταχωρημένα παλαιότερα δεδομένα, αλλά ακόμα και αυτά τα 65 χρόνια δεδομένα αποτελούν μία καλή ένδειξη του κατά πόσο έχει μεταβληθεί το κλίμα στην Ελλάδα. Οι μηνιαίες καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι συνεχείς, με εξαίρεση το διάστημα Ιανουαρίου 2005 έως Ιούνιο 2009, για το οποίο δεν μπορέσαμε να βρούμε δεδομένα.

Η ανάλυση έγινε σε δύο στάδια. Αρχικά καθορίστηκαν περιοχές με παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά και ακολούθως ερευνήθηκαν πιθανές συσχετίσεις της θερμοκρασίας στο χρόνο. Έτσι, οι σταθμοί ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με την τοποθεσία τους (ηπειρωτικοί, παραθαλάσσιοι ή νησιωτικοί), σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την εγγύτητα του σταθμού στις πόλεις (στο κέντρο της πόλης, κοντά στην άκρη της πόλης, μακριά από την άκρη της πόλης) και σε σχέση με το αν βρίσκονται ή όχι σε αεροδρόμιο.

7.2 Σταθμοί

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 7.1, τα δεδομένα για την ανάλυση πάρθηκαν από 40 σταθμούς της ΕΜΥ, ισοκαταναμημένους σε όλα τα μέρη της Ελλάδας.



Εικόνα 7.1: Δίκτυο σταθμών

Τα δεδομένα από τους σταθμούς έχουν πολύ καλή κατανομή, η οποία προκύπτει από την εικόνα 7.2, που δείχνει την ημερομηνία έναρξης και λήξης καταγραφών για κάθε σταθμό, καθώς και το ποσοστό των μετρήσεων που λείπουν.



Εικόνα 7.2: Πλήθος καταγραφών θερμοκρασίας ανά σταθμό

Στον Πίνακα 7.1 φαίνεται το πλήθος των σταθμών για κάθε συνδυασμό τοποθεσίας - απόστασης από το κέντρο της πόλης και πιθανής ύπαρξης αεροδρομίου.

Πίνακας 7.1: Πλήθος σταθμών ανά κατηγορία

Τοποθεσία	Εγγύτητα στο κέντρο της πόλης	Αεροδρόμιο	Πλήθος σταθμών
Ηπειρωτικός	στο κέντρο της πόλης	ναι	0
		όχι	3
	κοντά στο άκρο της πόλης	ναι	2
		όχι	4
	μακριά από το άκρο της πόλης	ναι	0
		όχι	3
Παραθαλάσσιος	στο κέντρο της πόλης	ναι	0
		όχι	1
	κοντά στο άκρο της πόλης	ναι	3
		όχι	4
	μακριά από το άκρο της πόλης	ναι	1
		όχι	2
Νησιωτικός	στο κέντρο της πόλης	ναι	0
		όχι	3
	κοντά στο άκρο της πόλης	ναι	3
		όχι	3
	μακριά από το άκρο της πόλης	ναι	3
		όχι	5

Στον Πίνακα 7.2, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά, για κάθε κατηγορία, το πλήθος των σταθμών, το μέσο χρονικό διάστημα καταγραφών και το μέσο υψόμετρο.

Πίνακας 7.2: Χαρακτηριστικά σταθμών ανά κατηγορία

	Σύνολο	Τοποθεσία			Εγγύτητα στο κέντρο της πόλης		
		Ηπειρωτικός	Παραθαλάσσιος	Νησιωτικός	Κέντρο	Άκρο	Μακριά
Πλήθος Σταθμών	40	12	11	17	7	19	14
Μέσο μήκος καταγραφών (έτη)	51,05	50,45	48,50	52,90	46,51	50,14	54,55
Μέσο υψόμετρο (m)	103,95	250,58	38,36	42,88	56,72	137,53	82,00

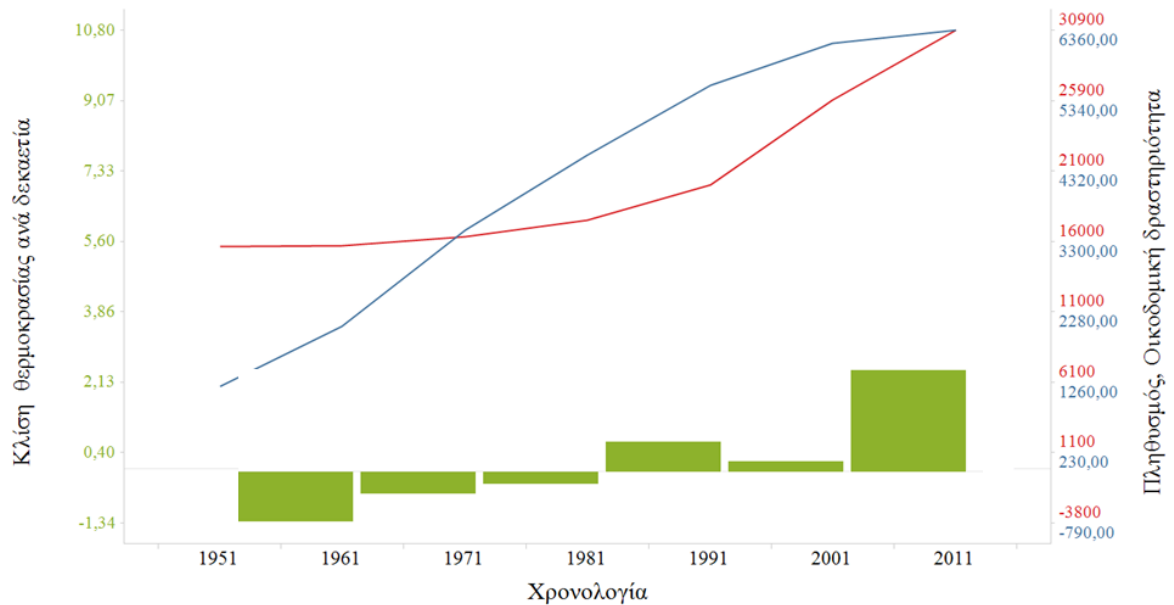
Προκειμένου να διερευνηθεί ο ρόλος της θάλασσας στην μεταβλητότητα της θερμοκρασίας και η επίδραση της αστικής θερμικής νησίδας, αντίστοιχα, οι σταθμοί ταξινομήθηκαν ανάλογα με την τοποθεσία τους, την απόστασή τους από το κέντρο της πόλης και την πιθανή ύπαρξη αεροδρομίου. Στις εικόνες που ακολουθούν αναφέρεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για κάθε κατηγορία σταθμού:

➤ Ανάλογα με την τοποθεσία του σταθμού:

1. Ηπειρωτικός (π.χ. Τρίπολη)



Εικόνα 7.3: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Τρίπολης

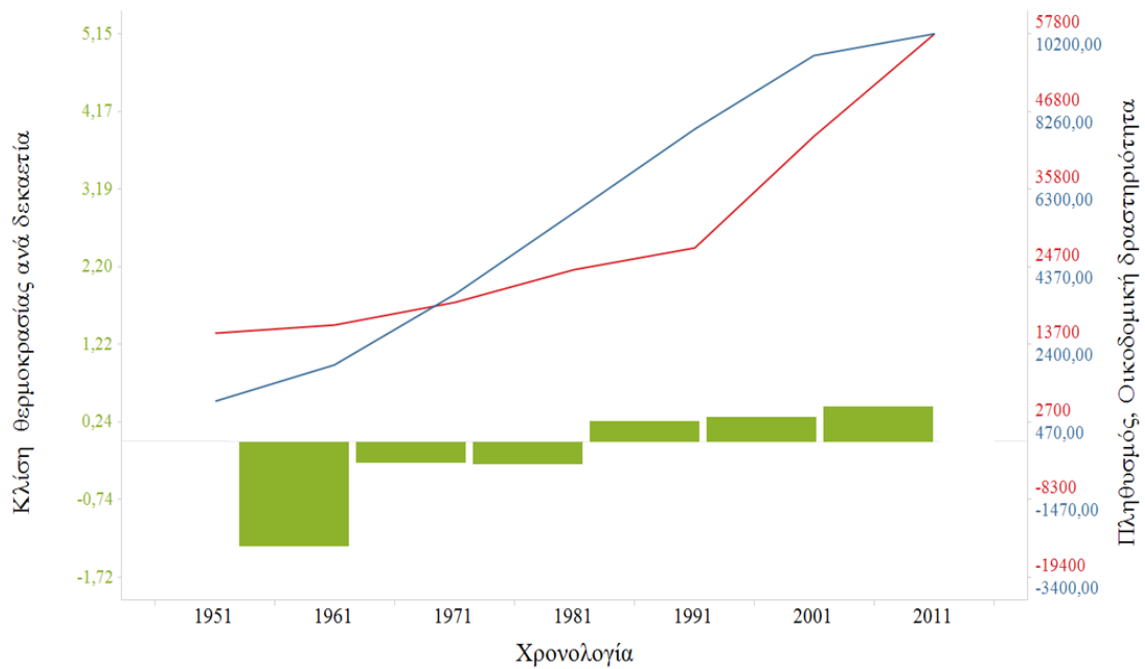


Εικόνα 7.4: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για την Τρίπολη (με μπλε χρώμα η εξέλιξη του πληθυσμού και με κόκκινο της οικοδομικής δραστηριότητας).

2. Παραθαλάσσιος (π.χ. Αλεξανδρούπολη)



Εικόνα 7.5: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού Αλεξανδρούπολης

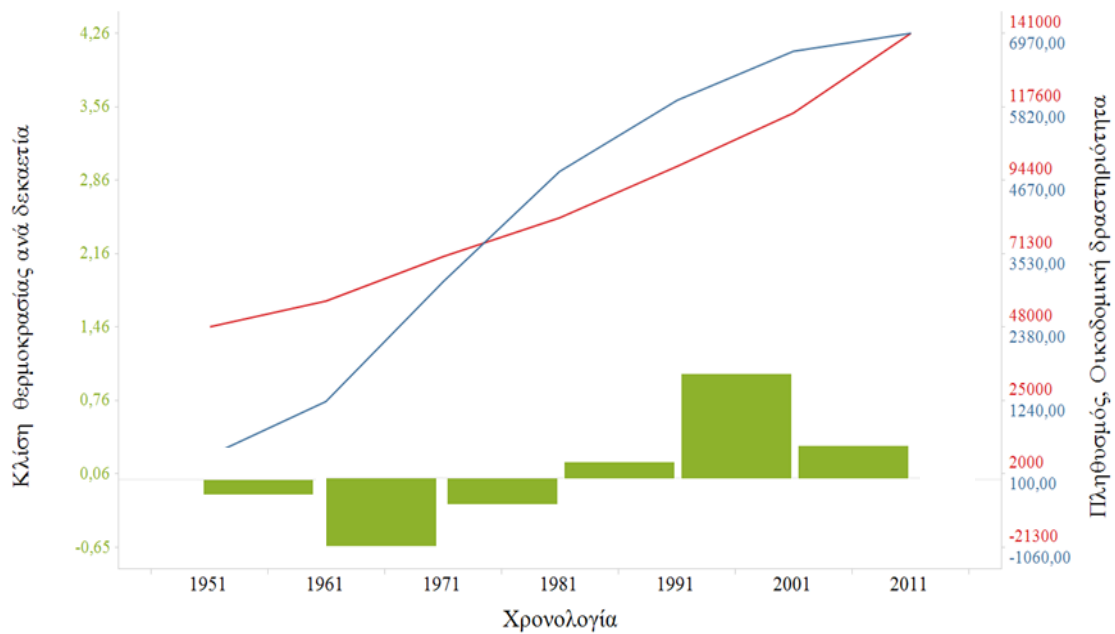


Εικόνα 7.6: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για την Αλεξανδρούπολη (με μπλε χρώμα η εξέλιξη του πληθυσμού και με κόκκινο της οικοδομικής δραστηριότητας).

3. Νησιωτικός (π.χ. Ηράκλειο)



Εικόνα 7.7: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού του Ηρακλείου



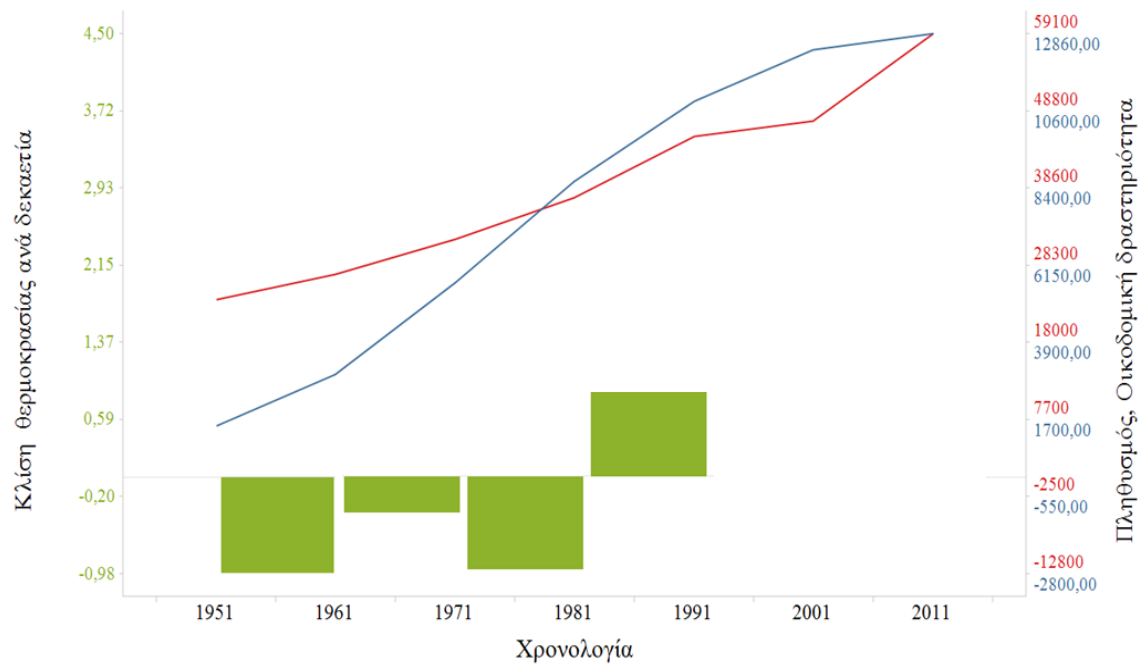
Εικόνα 7.8: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για το Ηράκλειο (με μπλε χρώμα η εξέλιξη του πληθυσμού και με κόκκινο της οικοδομικής δραστηριότητας).

➤ Ανάλογα με την απόσταση από το κέντρο της πόλης:

1. Στο κέντρο της πόλης (π.χ. Χαλκίδα)



Εικόνα 7.9: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Χαλκίδας

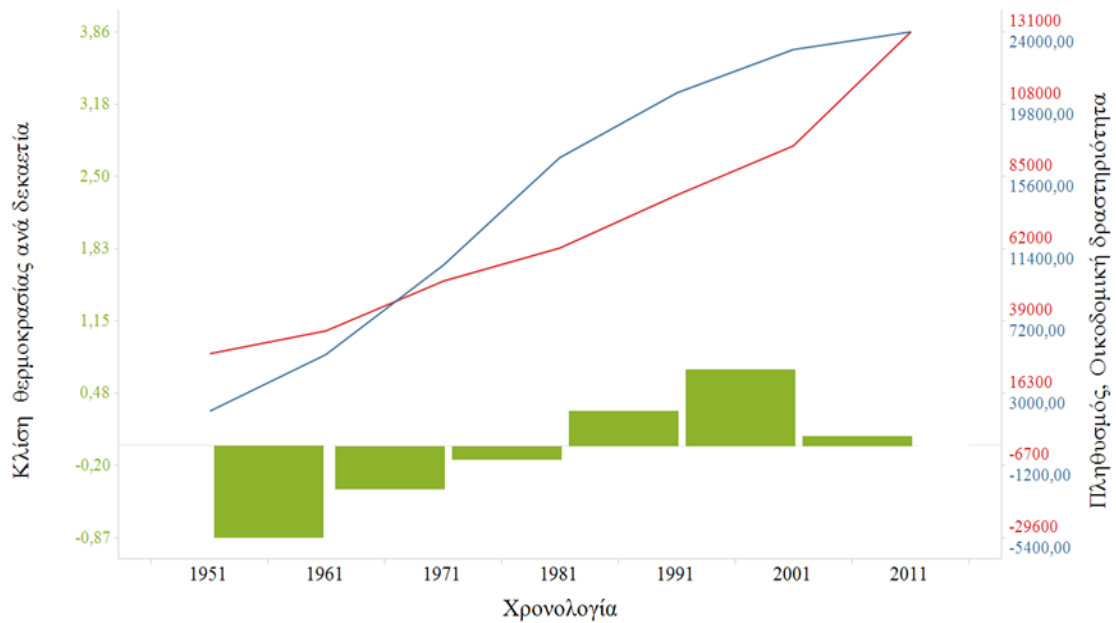


Εικόνα 7.10: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για τη Χαλκίδα (με μπλε χρώμα η εξέλιξη του πληθυσμού και με κόκκινο της οικοδομικής δραστηριότητας).

2. Στο άκρο της πόλης (π.χ. Λάρισα)

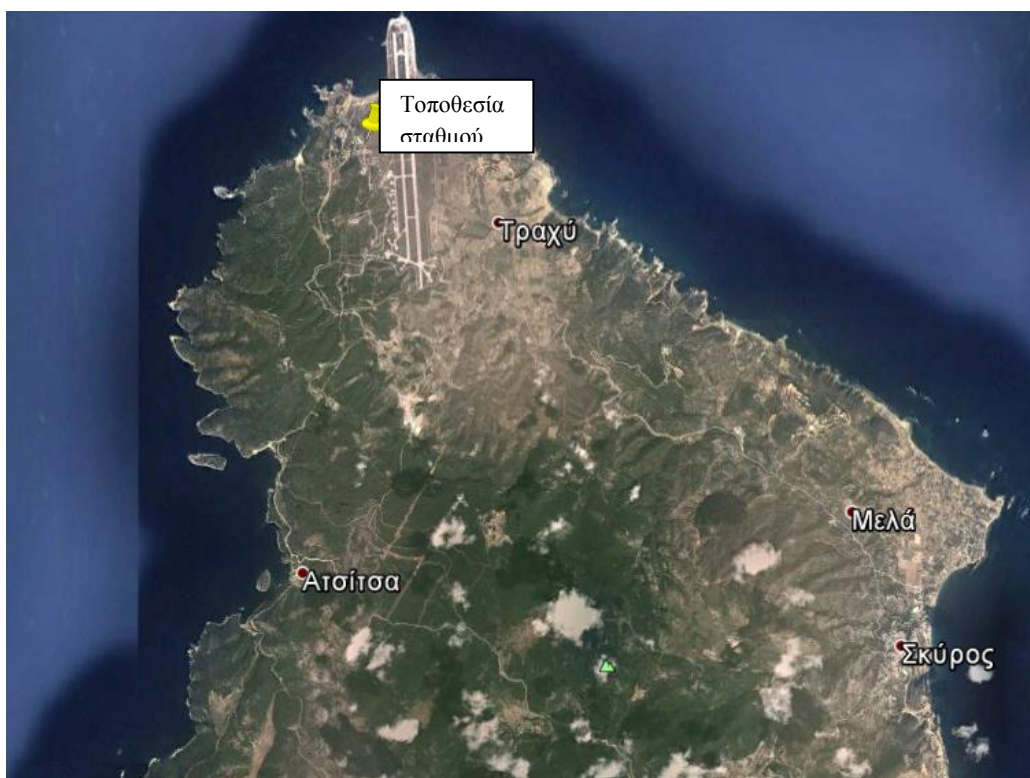


Εικόνα 7.11: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Λάρισας

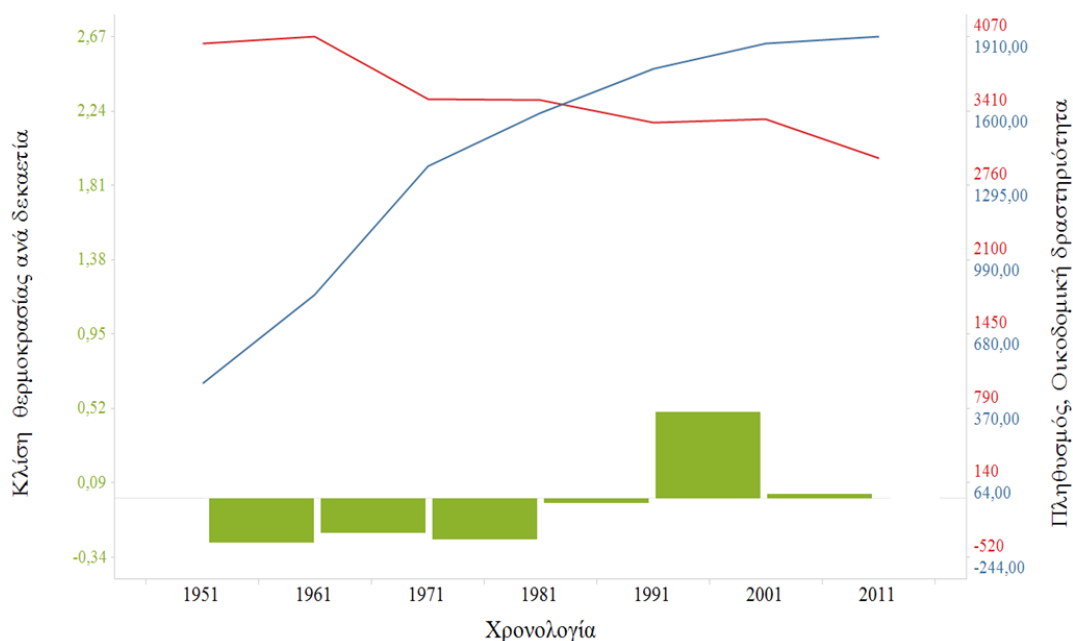


Εικόνα 7.12: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για τη Λάρισα (με μπλε χρώμα η εξέλιξη του πληθυσμού και με κόκκινο της οικοδομικής δραστηριότητας).

3. Μακριά από το κέντρο της πόλης (π.χ. Σκύρος)



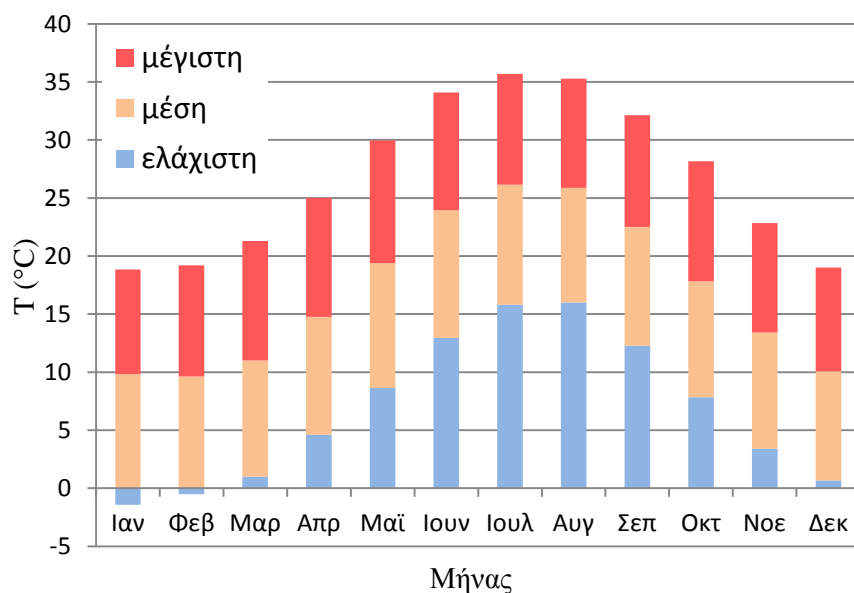
Εικόνα 7.13: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Σκύρου



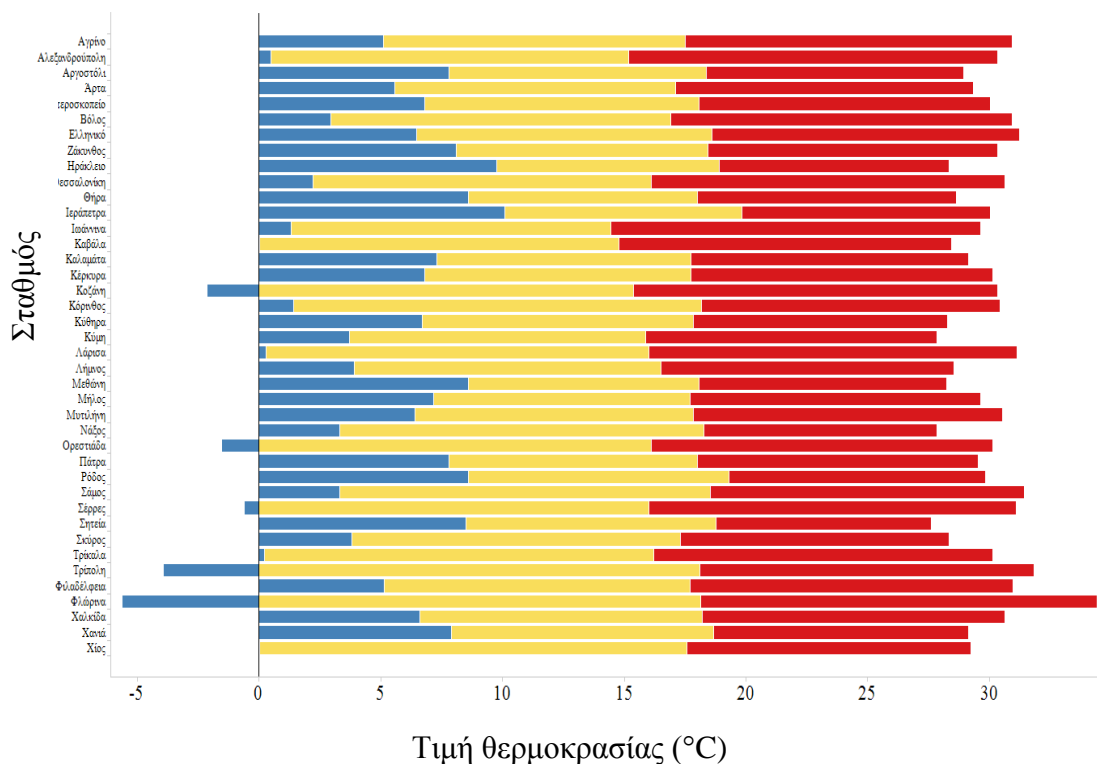
Εικόνα 7.14: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για τη Σκύρο (με μπλε χρώμα η εξέλιξη του πληθυσμού και με κόκκινο της οικοδομικής δραστηριότητας).

7.3 Χαρακτηριστικά θερμοκρασίας

Εξετάστηκαν τρεις παράμετροι: μέση μηνιαία θερμοκρασία, απολύτως μέγιστη και απολύτως ελάχιστη. Στην εικόνα 7.15 φαίνεται η μέση τιμή για τη θερμοκρασία για κάθε μήνα ως μέσος όρος όλων των σταθμών, ενώ στην εικόνα 7.16 ελάχιστη- μέση- μέγιστη θερμοκρασία για κάθε σταθμό.



Εικόνα 7.15: Μέσα μεγέθη θερμοκρασίας για κάθε μήνα

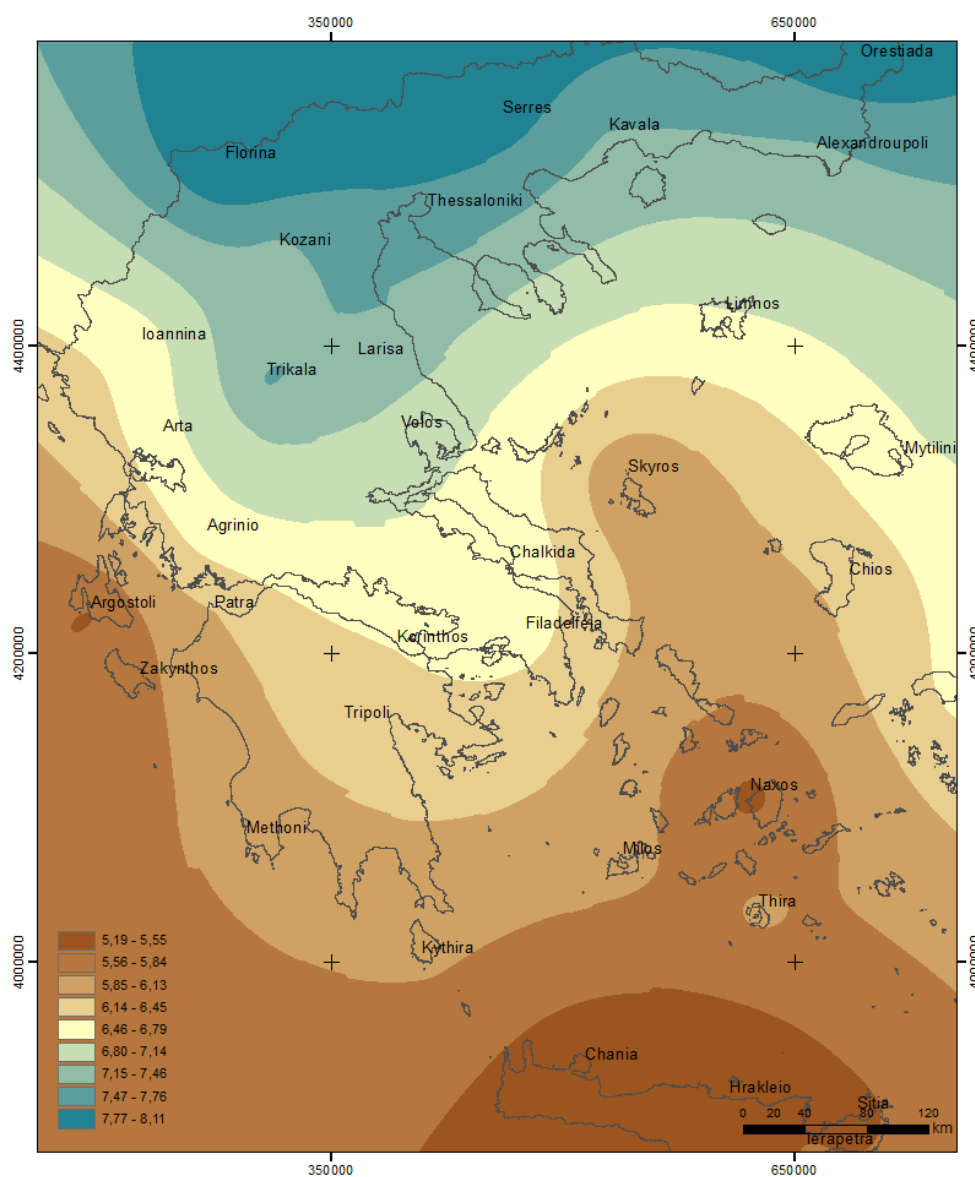


Εικόνα 7.16: Μέσα μεγέθη θερμοκρασίας για κάθε σταθμό (με μπλε χρώμα φαίνεται η ελάχιστη θερμοκρασία, με κίτρινο η μέση και με κόκκινο η μέγιστη)

Πρέπει να σημειώσουμε ότι αρχικά έγινε αξιολόγηση των δεδομένων και αποφασίσαμε να μην λάβουμε υπόψη στην ανάλυση τις τιμές της μέσης θερμοκρασίας που είχαν απόκλιση μεγαλύτερη από 6°C από τη μέση θερμοκρασία για τον ίδιο μήνα, καθώς επίσης και τις ελάχιστες θερμοκρασίες που διέφεραν τουλάχιστον 10°C από τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ίδιου μήνα.

Για να συγκρίνουμε τις θερμοκρασίες, από κάθε τιμή αφαιρέσαμε τη μέση θερμοκρασία του ίδιου μεγέθους για τον ίδιο μήνα, ώστε να εξαλείψουμε την εποχικότητα. Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα έγιναν συγκρίσιμα.

Αξίζει να απεικονίσουμε γεωγραφικά την τυπική απόκλιση (εικόνα 7.17). Αυτός ο χάρτης δείχνει την ενδο-ετήσια μεταβλητότητα της θερμοκρασίας, δηλαδή τη μέση τυπική απόκλιση των μέσων θερμοκρασιών.



Εικόνα 7.17: Ενδοετήσια μεταβλητότητα της θερμοκρασίας (Πηγή: Bountas et al, 2013)

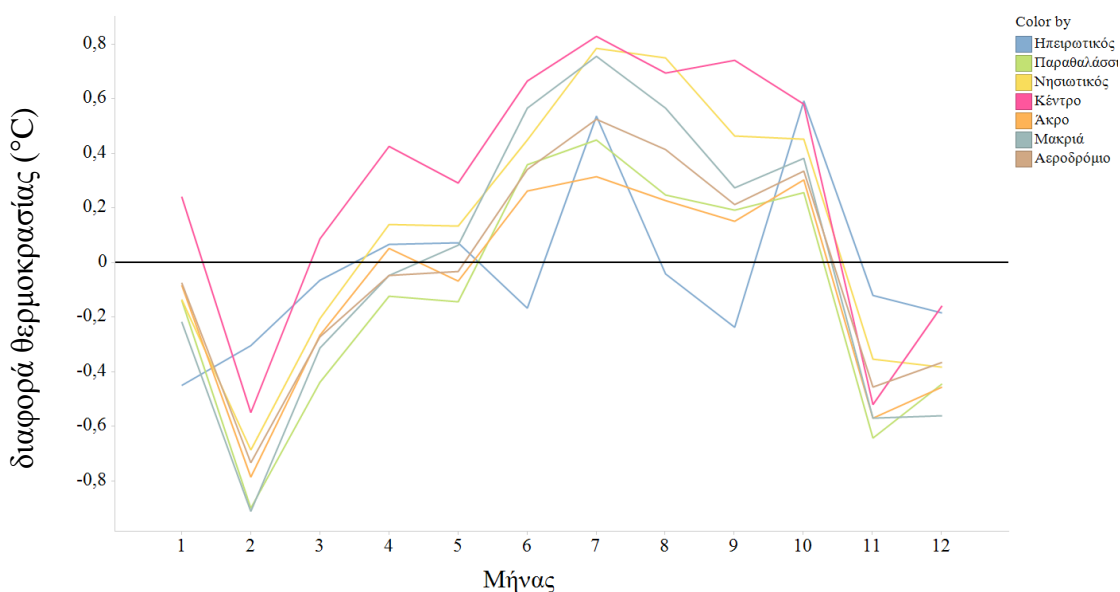
Προκύπτει ότι η μεταβλητότητα της θερμοκρασίας είναι υψηλότερη στους ηπειρωτικούς σταθμούς, από ότι στους παραθαλάσσιους και νησιωτικούς, το οποίο συμβαδίζει με τα αποτελέσματα των Stathopoulos et al, 2012 και Bountas et al, 2013. Ο χάρτης δείχνει ξεκάθαρα την επίδραση της εγγύτητας στη θάλασσα, καθώς τα μέρη κοντά στη θάλασσα έχουν πιο ήπιο κλίμα. Αυτό φαίνεται και στον πίνακα 7.3, ο οποίος δείχνει την τυπική απόκλιση κάθε μεγέθους, για καθεμία από τις τρεις κατηγορίες σταθμών.

Πίνακας 7.3: Τυπική απόκλιση για κάθε κατηγορία σταθμού (°C)

Τοποθεσία	Τυπική Απόκλιση μέσης θερμοκρασίας
Ηπειρωτικός	7,52
Παραθαλάσσιος	6,77
Νησιωτικός	5,78

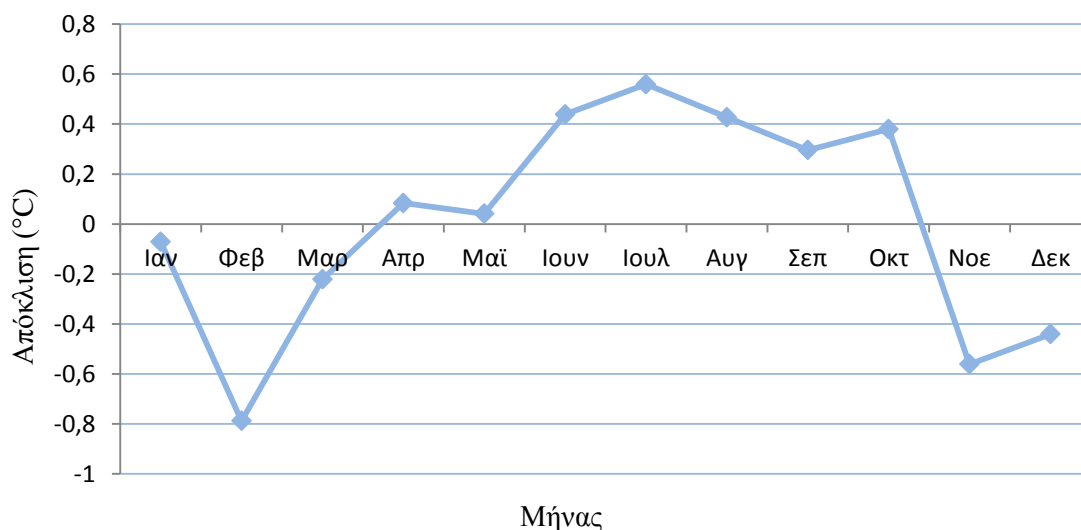
7.4 Μεταβολή στο χρόνο

Υπολογίστηκε η διαφορά των μέσων τιμών της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας για κάθε μήνα και για κάθε κατηγορία σταθμών (εικόνα 7.18).



Εικόνα 7.18: Για κάθε κατηγορία σταθμών απεικονίζεται η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας για κάθε μήνα.

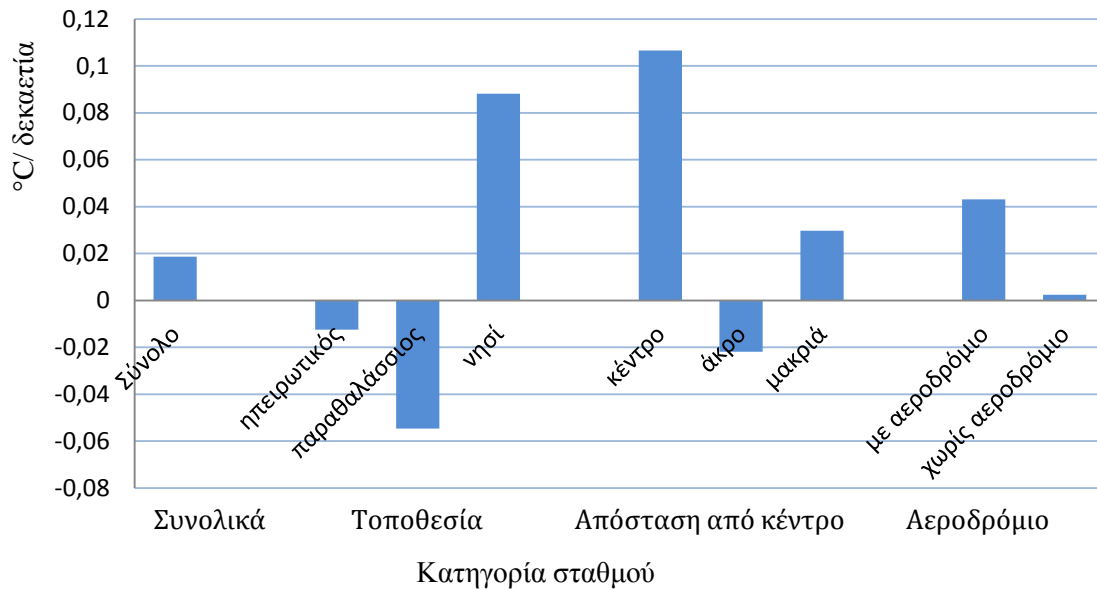
Στην εικόνα 7.19 απεικονίζεται η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας ως ο μέσος όρος όλων των σταθμών για κάθε μήνα.



Εικόνα 7.19: Μεταβολές στη μηνιαία μέση θερμοκρασία για κάθε μήνα

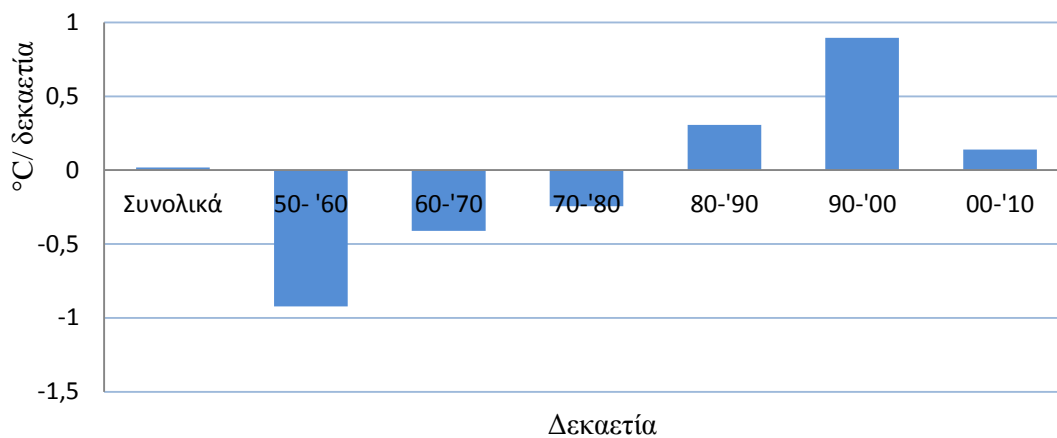
Συνολικά, φαίνεται μία ελαφρά ψύξη το χειμώνα και μία ακόμα πιο ήπια αύξηση στις θερινές θερμοκρασίες, το οποίο συμφωνεί με τα ευρήματα των Founda et al. (2004), Marougianni et al. (2012) και Bountas et al. (2013). Ωστόσο, σε σχέση με την κανονική κατανομή, καμία μεταβολή δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική, όπως πρότειναν επίσης οι Feidas et al. (2004). Είναι σημαντικό, επίσης, ότι τη μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας για όλους τους μήνες παρουσιάζουν οι σταθμοί στο κέντρο των πόλεων.

Επίσης, για την κάθε κατηγορία, εξετάστηκαν ξεχωριστά οι κλίσεις δT (Εικόνα 7.20). Πρέπει να σημειώσουμε ότι δεν υπολογίστηκε καμία κλίση με λιγότερο από 100 μήνες δεδομένων. Συνολικά, αυτά τα 65 έτη παρατηρήθηκε μία θετική κλίση στη θερμοκρασία της Ελλάδας με τιμή $0,018^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία, τιμή αμελητέα. Το όριο του 1°C ανά δεκαετία το υπερβαίνουν, έστω και για λίγο, μόνο οι μετεωρολογικοί σταθμοί που βρίσκονται στο κέντρο των πόλεων. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση στη θερμοκρασία είναι αποτέλεσμα της αστικοποίησης και των αλλαγών στις χρήσεις γης και όχι αποτέλεσμα κλιματικής αλλαγής. Για να μιλήσουμε, πάντως, για κλιματική αλλαγή θα χρειαζόταν διαφορές τουλάχιστον $0,5^{\circ}\text{C}$ τη δεκαετία. Επίσης, προκύπτει όσος σταθμοί βρίσκονται σε αεροδρόμιο σημείωσαν θετική κλίση με τιμή $0,5^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία, ενώ στους υπόλοιπους δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση στην κλίση. Η αύξηση της θερμοκρασίας στα αεροδρόμια έχει αναφερθεί και από τους Kukla et al. (1986), λόγω της ανάπτυξης της περιοχής γύρω από τα αεροδρόμια. Μία πρόσφατη ανάλυση του αεροδρομίου του Πουέρτο Ρίκο από τον Duchon (1986) δείχνει μία αύξηση της θερμοκρασίας κατά $0,8^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία από το 1956, η οποία οφείλεται στην επέκταση του αεροδιαδρόμου και των εγκαταστάσεων, καθώς και στην οικιστική και εμπορική ανάπτυξη της γύρω περιοχής. Επίσης, φαίνεται να παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας στους νησιωτικούς σταθμούς, αλλά αυτό οφείλεται απλά στο ότι οι σταθμοί της ΕΜΥ στα νησιά είναι ή στο αεροδρόμιο ή στο κέντρο της πόλης.



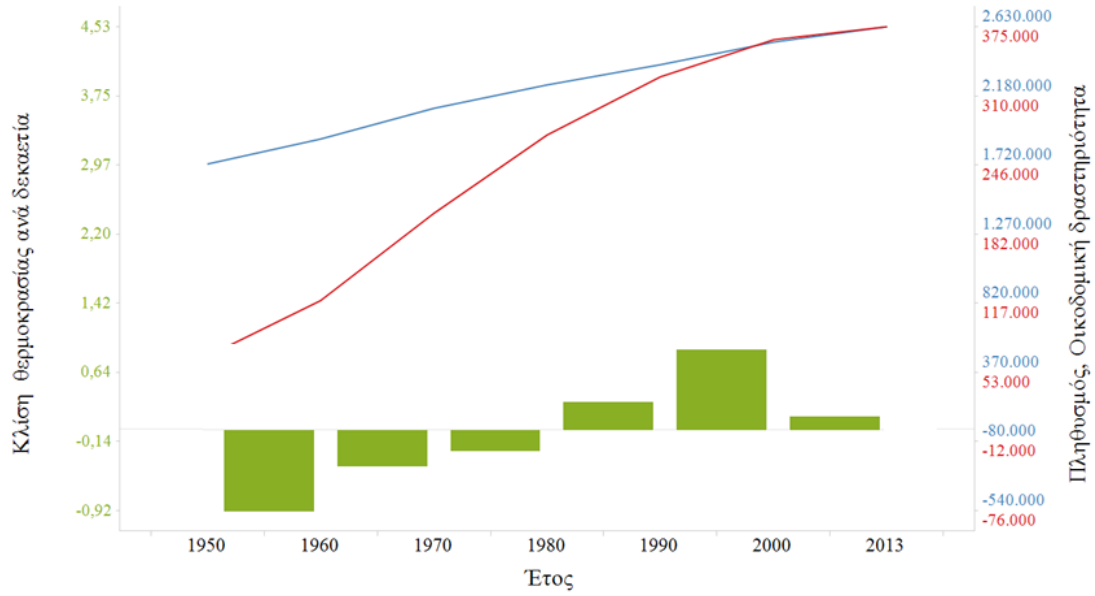
Εικόνα 7.20: Κλίσεις δT, ανάλογα με κάθε κατηγορία σταθμού

Η εικόνα 7.21 απεικονίζει την κλίση των θερμοκρασιακών μεταβολών ανά δεκαετία. Φαίνεται να υπάρχει μία συνεχώς αυξανόμενη τάση, το οποίο συμφωνεί με τα ευρήματα των Founda et al. (2004), αρχίζοντας από αρνητικές τιμές την περίοδο 1950- 1980, συνεχίζει με θετικές ως το 200 και μειώνεται ως το 2013 (παραμένοντας θετικές τιμές). Στη βιβλιογραφία, πολλοί μελετητές (όπως οι Founda et al, 2004) έχουν τονίσει η Μεσόγειος γνώρισε μια γενική ψύξη μεταξύ των ετών 1950 και 1970.



Εικόνα 7.21: Συνολική κλίση δT ανά δεκαετία για όλους τους σταθμούς

Ωστόσο, αν παρατηρήσουμε αυτή την αύξηση στις κλίσεις σε σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας (εικόνα 7.22), θα παρατηρήσουμε ότι αυτή η αύξηση πιθανότατα οφείλεται σε παράγοντες αστικοποίησης. Μάλιστα, η μείωση στην κλίση της θερμοκρασίας την τελευταία δεκαετία συμπίπτει με τη μείωση της οικοδομικής δραστηριότητας το ίδιο διάστημα.

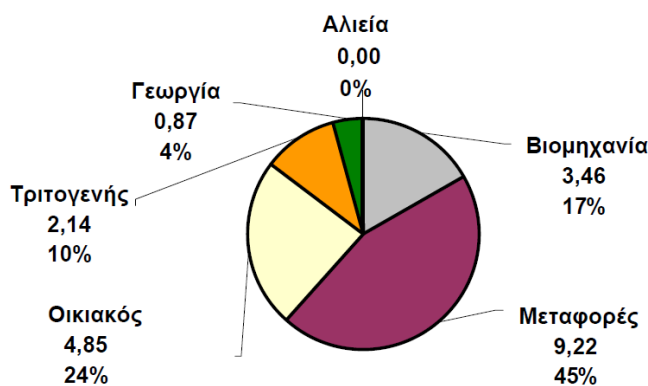


Εικόνα 7.22: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας και για τους 40 σταθμούς της ανάλυσης (με μπλε χρώμα η εξέλιξη του πληθυσμού και με κόκκινο της οικοδομικής δραστηριότητας).

8 Επιπτώσεις της θερμικής νησίδας

8.1 Επιπτώσεις στην ενέργεια

Ο ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) παρέχει πληροφορίες για τη Φόρτιση Μονάδων Παραγωγής και Φορτία Συστήματος, από τις οποίες προκύπτει το φορτίο ανά ημέρα και ώρα (<http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/ekkatharisi/fortisi-monadon-paragogis-kai-fortia-systimatos/>). Συλλέξαμε τα δεδομένα φορτίου για κάθε μέρα το 2012 και υπολογίστηκε το συνολικό ημερήσιο φορτίο. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.1, η αστική κατανάλωση στην Ελλάδα αποτελεί το 24% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, οπότε υπολογίστηκε η ημερήσια κατανάλωση του οικιακού τομέα για το 2012, η οποία έχει άμεση εξάρτηση από τη θερμοκρασία και επομένως επηρεάζεται από την ένταση της αστικής θερμικής νησίδας.

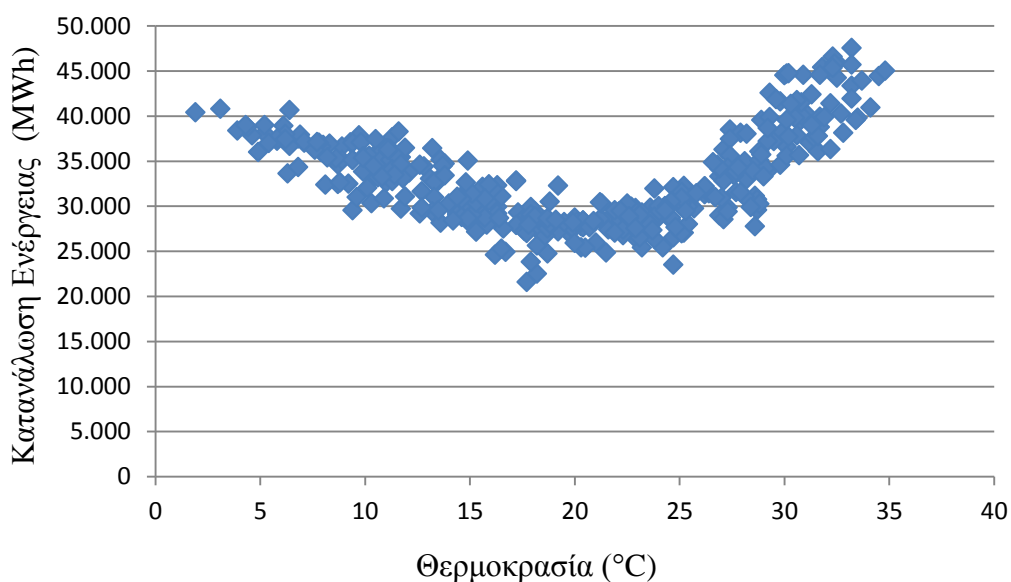


Εικόνα 8.1: Ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα στην Ελλάδα (Πηγή: Γιακουμέλος, 2013)

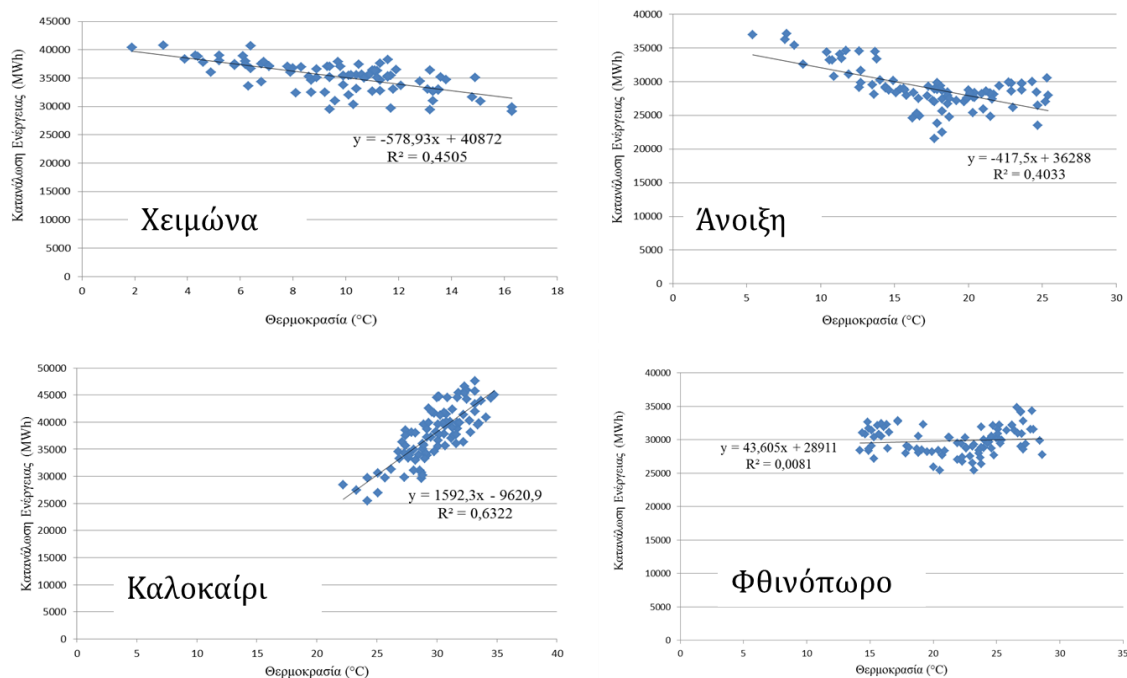
Οι εικόνες 8.2- 8.3 δείχνουν τη συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας με τη θερμοκρασία συνολικά και για κάθε εποχή ξεχωριστά, με ημερήσιο βήμα. Παρατηρούμε ότι το χειμώνα και την άνοιξη συσχετίζονται αρνητικά, με το συντελεστή συσχέτισης να είναι υψηλότερος το χειμώνα. Το καλοκαίρι υπάρχει υψηλή θετική συσχέτιση, ενώ το φθινόπωρο δε φαίνεται να συσχετίζονται. Είναι λογικό να υπάρχουν υψηλότερες τιμές το χειμώνα και το καλοκαίρι καθώς τότε παρατηρούνται οι ακραίες θερμοκρασιακές τιμές, με αποτέλεσμα τη χρήση θέρμανσης και κλιματισμού αντίστοιχα. Το χειμώνα, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για κάθε μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας είναι αρκετά χαμηλότερη από την αντίστοιχη μεταβολή το καλοκαίρι, σε μεγάλο βαθμό επειδή τα περισσότερα νοικοκυριά έχουν χρονοδιακόπτη στη λειτουργία της θέρμανσης, ενώ ανοίγουν τη ψύξη οποιαδήποτε στιγμή της μέρας αυξηθεί η θερμοκρασία. Μάλιστα το καλοκαίρι η κατανάλωση τριπλασιάζεται σε σχέση με το χειμώνα για κάθε βαθμό διαφοράς θερμοκρασίας (1.592 MWh έναντι 578 MWh). Επομένως, από τη στιγμή που η αστική θερμική νησίδα οδηγεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες, αυξημένη έντασή της θα

συμβάλει σε μείωση της κατανάλωσης το χειμώνα, αλλά τριπλάσια αύξηση της κατανάλωσης το καλοκαίρι για την ίδια μεταβολή θερμοκρασίας.

Αν ποσοτικοποιήσουμε αυτή την αύξηση, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C θα προκαλέσει συνολική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 638.87 MWh (όσο το άθροισμα των κλίσεων όλων των εποχών). Αυτή η αύξηση, όπως προκύπτει από την εικόνα 8.2, αντιστοιχεί σε αύξηση του μέγιστου ηλεκτρικού φορτίου κατά 1.5%. Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν οι Akbari *et al.* (1992), όταν, μελετώντας τις πόλεις των ΗΠΑ με πληθυσμό πάνω από 100.000 κατοίκους, υπολόγισε αύξηση του μέγιστου ηλεκτρικού φορτίου από 1.5 ως 2% για κάθε 1 βαθμό αύξηση στη θερμοκρασία. Το καλοκαίρι που η επίδραση της αστικής θερμικής νησίδας είναι μεγαλύτερη, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C θα προκαλέσει συνολική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 1.592 MWh, δηλαδή αύξηση του μέγιστου ηλεκτρικού φορτίου κατά 3.3%.



Εικόνα 8.2: Συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας με τη θερμοκρασία για το 2012



Εικόνα 8.3: Συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας με τη θερμοκρασία για όλες τις εποχές του 2012

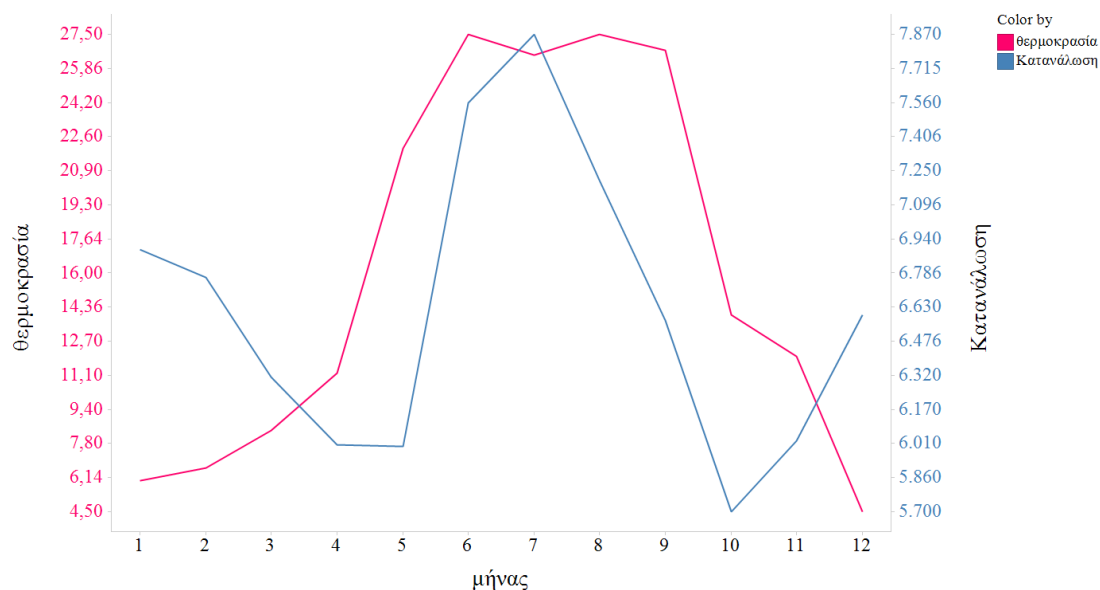
Ωστόσο, η επίδραση της ΑΘΝ δεν είναι ισόποση όλες τις εποχές του έτους. Για αυτό, επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί λαμβάνοντας ως μέση τιμή μεταβολής της θερμοκρασίας, τη μέση ένταση της θερμικής νησίδας στις μεγάλες ελληνικές πόλεις που μελετήθηκαν (Πίνακας 8.1). Προκύπτει, λοιπόν, ότι η ανάπτυξη της αστικής θερμικής νησίδας στην Ελλάδα προκαλεί μείωση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης, το οποίο έρχεται σε αντίθεση με τα συμπεράσματα των Akbari et al (1992), Jones και Kandel (1992) και Konopacki και Akbari (2002), οι οποίοι μελέτησαν άλλες χώρες ενώ σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας είχαν καταλήξει και οι Santamouris et al. (2007) μελετώντας την Αθήνα.

Πίνακας 8.1: Συνολική επίδραση της ΑΘΝ στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
μέσο δT (°C)	1,15	0,59	0,41	0,79
μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης (MWh) για κάθε °C	-578,93	-417,50	1.592,30	43,05
τελική μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης (MWh) ανά μήνα	-668,26	-244,26	650,56	34,03
ετήσια μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης (MWh)	-227,93			

Επίσης, ο ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) δημοσίευσε στη Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς περιόδου 2010- 2014 τη Μηνιαία Αιχμή Φορτίου και αντίστοιχη θερμοκρασία για την περίοδο

2007- 2010. Οι μέσες μηνιαίες τιμές φαίνονται στην εικόνα 8.4. Την περίοδο Απρίλη- Οκτώβρη φαίνεται να υπάρχει θετική συσχέτιση στα δύο μεγέθη που αυξάνονται με την ίδια κλίση, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τους υπόλοιπους μήνες.



Εικόνα 8.4: Μέση μηνιαία αιχμή φορτίου και αντίστοιχη θερμοκρασία για την περίοδο 2007- 2010

8.2 Επιπτώσεις στην εξατμισοδιαπνοή

Προκειμένου να ελεγχθεί η επίπτωση της έντασης της αστικής θερμικής νησίδας στην εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε η έντασή της σε μεγάλες ελληνικές πόλεις για το καλοκαίρι (Πίνακας 8.2).

Πίνακας 8.2: Ένταση θερμικής νησίδας ελληνικών πόλεων το καλοκαίρι

Πόλη	μέση απόκλιση δT (°C)	Μέση θερμοκρασία T (°C)
	Καλοκαίρι	Καλοκαίρι
Αθήνα	0,24	29,77
Θεσσαλονίκη	0,73	26,40
Ηράκλειο	-0,91	25,43
Λάρισα	1,98	26,90
Χανιά	-0,01	24,73
Καλαμάτα	0,09	27,06
Πύργος	0,83	26,60
Άρτα	0,31	26,53
Μέση τιμή όλων των πόλεων	0,41	26,68

Η εξατμισοδιαπνοή για κάθε σταθμό για το καλοκαίρι εκτιμήθηκε από την παραμετρική σχέση των Tegos et al. (2013):

$$E = \frac{aR_a}{1 - cT_a}$$

η οποία εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία στο T_a και την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία R_a και δύο συντελεστές, a (kg/kJ) και c (-1°C). Οι τιμές του a ακολουθούν γεωγραφική κατανομή και αυξάνονται από τα βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά με τιμές μεταξύ 0,00001 (ΒΔ Ελλάδα) και 0,000073 (SE Ελλάδα). Η τιμή του c εκτιμάται σε 0,00234.

Στον Πίνακα 8.3 φαίνεται η ποσοστιαία αύξηση της εξατμισοδιαπνοής τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της ανάπτυξης της αστικής θερμικής νησίδας η οποία είναι αμελητέα.

Πίνακας 8.3: Μεταβολή της εξατμισοδιαπνοής το καλοκαίρι σε μεγάλες ελληνικές πόλεις

Πόλη	T με ΑΘΝ ($^\circ\text{C}$)	T χωρίς ΑΘΝ ($^\circ\text{C}$)	a	E με ΑΘΝ	E χωρίς ΑΘΝ	Μεταβολή E	ποσοστιαία απόκλιση
Αθήνα	29,77	29,53	0,000068	2,97	2,97	0,00	0,06%
Θεσσαλονίκη	26,40	25,67	0,000055	2,38	2,38	0,00	0,18%
Λάρισα	26,90	24,92	0,000048	2,08	2,07	0,01	0,49%
Χανιά	24,73	24,74	0,000065	2,80	2,80	0,00	0,00%
Καλαμάτα	27,06	26,97	0,000055	2,39	2,39	0,00	0,02%
Πύργος	26,60	25,77	0,000065	2,82	2,81	0,01	0,21%
Άρτα	26,53	26,22	0,000059	2,56	2,56	0,00	0,08%

9 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η διερεύνηση της αστικής θερμικής νησίδας στην κλίμακα των 10 λεπτών έδειξε ότι:

1. Η περιοχή της Αττικής εμφανίζει το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, όπως έχουν διαπιστώσει όσοι έχουν ερευνήσει τη θερμική νησίδα της Αθήνας (Cartalis et al 2001, Santamouris et al 2001, Livada et al 2002, Mihalakakou et al 2004). Το ίδιο συμβαίνει και στις υπόλοιπες πόλεις της Ελλάδας (Πίνακας 9.1). Όπως έχουν σχολιάσει και οι Stathopoulou et al. (2004), για τις πόλεις της Θεσσαλονίκης, Πάτρας, Βόλου και Ηρακλείου, που αποτελούν τις σημαντικότερες πόλεις με λιμάνια στην Ελλάδα, είναι εμφανής η παρουσία αστικής θερμικής νησίδας σε όλες τις περιπτώσεις, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να ανιχνεύονται κατά μήκος της παράκτιας ζώνης που προκύπτει από τον πυκνό αστικό ιστό και οδικό δίκτυο, καθώς και από την έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα.

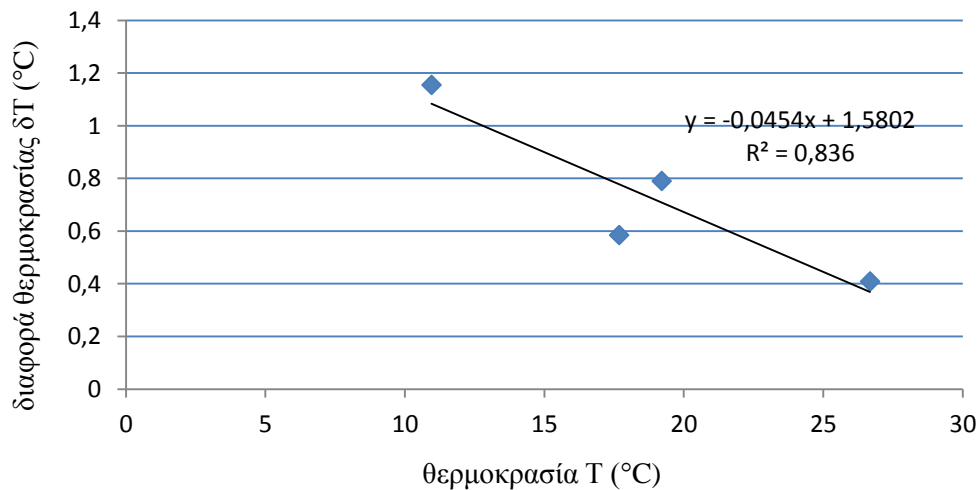
Πίνακας 9.1: Ένταση θερμικής νησίδας για το σύνολο των πόλεων που ερευνήθηκαν

Περιοχή	Προάστια	Κλίμακα	μέση απόκλιση ΔΤ (°C)				
			Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	μέσος όρος
Αττική	Κέντρο	μήνα	-0,04	-0,32	-0,15	-0,13	-0,16
	Προάστια- υψηλή δόμηση		-0,41	-0,39	-0,22	-0,26	-0,32
	Προάστια- χαμηλή δόμηση		0,63	0,01	0,19	0,25	0,27
	Εκτός λεκανοπεδίου		0,80	0,61	0,61	0,63	0,66
Αττική	Μαρούσι	10'	0,66	-0,19	0,27	0,05	0,20
	Κάντζα	10'	-0,25	0,67	0,70	1,05	0,54
Καλαμάτα		10'	1,34	0,65	0,09	0,94	0,76
Υπόλοιπες πόλεις Ελλάδας		μήνα	1,18	0,57	0,49	0,79	0,76

2. Σε όλους τους σταθμούς, η επίδραση της θερμικής νησίδας είναι πιο αισθητή τους χειμερινούς μήνες από ότι τους καλοκαιρινούς. Αυτό ήταν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν και οι Papanastasiou και Kittas (2011), Montánvez et al (2000), Kim και Baik (2002) και Zhou et al (2004). Επίσης, είναι πιο εμφανής στις ελάχιστες θερμοκρασίες από ότι στις μέγιστες, το οποίο συμβαίνει επειδή το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα, όπως έχουν ισχυριστεί και οι Oke (1974), Landsberg (1981), Ichinose et al. (1999), Boonjawat et al. (2000) και Kim και Baik (2002). Αυτά τα δύο μας επιτρέπουν να πούμε πως η κυριότερη επίδρασή της είναι ότι το κέντρο της Αθήνας δεν ψύχεται όσο θα έπρεπε τις βραδινές ώρες, με αποτέλεσμα ο πυρήνας της πόλης είναι θερμότερος το βράδυ, όπως διαπίστωσε και ο Deosthali (2000).
3. Όσον αφορά στην εξέλιξη της έντασης της ΑΘΝ μέσα στη μέρα, μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται το βράδυ, καθώς το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα, όπως προαναφέρθηκε. Μάλιστα, διαπιστώθηκε η ύπαρξη «αρνητικής» αστικής θερμικής νησίδας τις μεσημβρινές ώρες, όπου οι περιοχές στο κέντρο της Αθήνας είχαν χαμηλότερη θερμοκρασία από τις γύρω

λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές, το οποίο έχουν εισηγηθεί οι Stathoroulou et al (2009) και οι Klysik και Fortuniak (1999).

4. Όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι μία περιοχή και όσο περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες προσελκύει, τόσο περισσότερο αυξάνεται και η θερμοκρασία της. Για αυτό προέκυψε ότι η έντασή της είναι περισσότερο έντονη στις περιοχές με υψηλή δόμηση, λιγότερο στα προάστια με χαμηλή δόμηση/πράσινο και ακόμα λιγότερο στις περιοχές εκτός λεκανοπεδίου, το οποίο έχουν παρατηρήσει και οι Stathoroulou και Cartalis (2007). Το γεγονός πως οι περιοχές με υψηλή πυκνότητα, έχουν υψηλότερη θερμοκρασία έχουν αναφέρει και οι Oke και Maxwell (1975) και Connolly και Connolly (2014). Η μόνη περιοχή που ήταν σταθερά πιο ζεστή από το Γκάζι είναι η Νέα Σμύρνη, η οποία είναι και η περιοχή με την υψηλότερη πυκνότητα πληθυσμού.
5. Η μεγαλύτερη μεταβλητότητα (και συνεπώς και τυπική απόκλιση) καταγράφηκε στις εκτός λεκανοπεδίου περιοχές, μετά στα προάστια χαμηλής δόμησης, ενώ η μικρότερη στο κέντρο. Δηλαδή, στο κέντρο της πόλης παρατηρούνται υψηλότερες τιμές με μικρότερη τυπική απόκλιση. Η μέγιστη ένταση θερμικής νησίδας που καταγράφηκε στιγμιαία ήταν στις 23 Οκτωβρίου 2013 στις 7:30 πμ στο Μαρούσι με τιμή 6,3°C.
6. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 9.1, υπάρχει μία σχεδόν γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στην ένταση της θερμικής νησίδας και τη θερμοκρασία για κάθε εποχή, με τις μέγιστες τιμές το χειμώνα. Για αυτό και το διήμερο καταγραφών με τη χαμηλότερη θερμοκρασία (27- 28 Ιανουαρίου), η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας πήρε τις μεγαλύτερες τιμές.



Εικόνα 9.1: Συσχέτιση μέσης έντασης θερμικής νησίδας με τη μέση θερμοκρασία ανά εποχή για το σύνολο των σταθμών που εξετάστηκαν.

7. Στον Υμηττό καταγράφηκε υψηλότερη θερμοκρασία από την Πάρνηθα. Αν και θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ο Υμηττός είναι πολύ πιο κοντά στο λεκανοπέδιο και επηρεάζεται από την πυκνή δόμηση των κοντινών περιοχών, κάτι τέτοιο δεν ισχύει καθώς ο Bornstein (1968) απέδειξε πως η

επίδραση της θερμικής νησίδας σε υψόμετρα μεγαλύτερα από 700 m είναι αμελητέα.

Από τη μελέτη των δεδομένων θερμοκρασίας στη μηνιαία κλίμακα, προέκυψαν πως:

1. Υπάρχουν ενδείξεις της επιρροής της αστικής θερμικής νησίδας καθώς οι σταθμοί στα κέντρα των πόλεων παρουσιάζουν κλίσεις 1°C ανά δεκαετία. Θετικές κλίσεις παρουσιάζουν και οι σταθμοί στα αεροδρόμια, το οποίο συμπίπτει με τα αποτελέσματα των Kukla et al. (1986) και Duchon (1986).
2. Υπάρχει μία ελαφρά ψύξη το χειμώνα και μία ήπια αύξηση στις θερινές θερμοκρασίες, το οποίο συμφωνεί με τα ευρήματα των Marougianni et al, 2012 και Bountas et al, 2013. Ωστόσο, καμία μεταβολή δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική, όπως πρότειναν επίσης οι Feidas et al, 2004.
3. Η κλίση των θερμοκρασιακών μεταβολών ανά δεκαετία είναι συνεχώς αυξανόμενη, το οποίο συμφωνεί με τα ευρήματα των Founda et al. (2004), αρχίζοντας από αρνητικές τιμές την περίοδο 1950- 1980, συνεχίζει με θετικές ως το 2000 και μειώνεται ως το 2013 (παραμένει θετικές τιμές). Ακολουθεί, δηλαδή, την αύξηση στον πληθυσμό και στην οικοδομική δραστηριότητα. Μάλιστα, η μείωση στην κλίση της θερμοκρασίας την τελευταία δεκαετία συμπίπτει με τη μείωση της οικοδομικής δραστηριότητας το ίδιο διάστημα.

Ως προς τις επιπτώσεις της θερμικής νησίδας, προέκυψε ότι προκαλεί μείωση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης και αμελητέα αύξηση της εξατμισοδιαπνοής τους θερινούς μήνες.

10 Αναφορές

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- ΑΔΜΗΕ, Φόρτιση Μονάδων Παραγωγής και Φορτία Συστήματος (<http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/ekkatharisi/fortisi-monadon-paragogis-kai-fortia-systimatos/>)
- Ανδρέου Γ., Εμπειρική διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ κύριων μεταβλητών της οικοδομικής δραστηριότητας με βασικούς οικονομικούς δείκτες στην Ελλάδα, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς, 2010
- Γιακουμέλος Λ., Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα, *Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*, Ελασσόνα, 22- 2-2013
- ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας), Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς περιόδου 2010-2014, σελ 144, (http://www.admie.gr/fileadmin/user_upload/Files/masm/masm_2010-2014-RAE.pdf)
- Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛΣΤΑΤ), Απογραφή Μόνιμου Πληθυσμού Ελλάδας, Αθήνα, έτη 1951, 1961, 1971, 1981, 1991, 2001, 2011
- Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛΣΤΑΤ), Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας, Αθήνα, έτη 1958, 1960, 1971, 1974, 1975, 1977-1982, 1983, 1984, 1990, 1995-1996, 1997, 2000, 2000-2004, 2008, 2009, 2012
- Κοτζαμάνης Β., Ε. Ανδρουλάκη, Οι δημογραφικές εξελίξεις στη νεώτερη Ελλάδα (1830- 2007), *Παν. Εκδόσεις Θεσσαλίας –ΕΔΚΑ*, Βόλος, 2007
- Κουτσογιάννης, Δ., Το κλίμα αλλάζει...εδώ και 4.5 δισεκατομμύρια χρόνια, ομιλία στο Ίδρυμα Ευγενίδου, 16 Νοεμβρίου 2011
- Νικολαΐδου, Σ., Η κοινωνική οργάνωση του αστικού χώρου, *Παπαζήση*, Αθήνα, 1993
- Παπαδάκης Μ., Μ. Κογεβίνας, Δ. Τριχόπουλος, Ο Πληθυσμός της Ελλάδας: Θεωρήσεις- Προοπτικές- Προσανατολισμοί, *Αθήνα, 2012*
- Πετράκης Μ., Κλιματική αλλαγή και αστικό περιβάλλον, *Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος*, Αθήνα, 2007
- Πρόγραμμα LIFE- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, Αειφόρος Κατασκευή στο Δημόσιο και Ιδιωτικό Τομέα μέσω της Ολοκληρωμένης Πολιτικής Προϊόντων: Ανασκόπηση της Κατασκευαστικής Δραστηριότητας σε Ελλάδα και Κύπρο, *1η έκδοση*, Φεβρουάριος 2006
- Στατιστική Επετηρίδα της Ελλάδος, *Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (ΕΛΣΤΑΤ)*, 1954- 2009
- Φράγκος, Χρήστος, Η οικοδομική δραστηριότητα στην Ελλάδα από το 1963 έως σήμερα, 2011 (http://www.realestatecorner.gr/el/article_groups/4/articles/89)

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Akbari H., Davis S., Dorsano S., Huang J. and Winert S., Cooling our Communities — A Guidebook on Tree Planting and Light Colored Surfacing, *US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division*, January 1992.
- Akbari, H., Taha, H., Huang, J., Rosenfeld, A., 1986: Undoing uncomfortable summer heat islands can save gigawatts of peak power. *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, Santa Cruz,

- California, 2, 7-22, August 1986.
- Allaby, M., Encyclopedia of Weather and Climate, *Facts on File Science Library*, Revised Edition, 2007
- Bärring, Lars, Jan O. Mattsson, και Sven Lindqvist. ‘Canyon Geometry, Street Temperatures and Urban Heat Island in Malmö, Sweden’. *Journal of Climatology* 5, τχ. 4, 433–444, 1985.
- Bejaran RA, Camiloni IA, Objective method for classifying air masses: an application to the analysis of Buenos Aires (Argentina) Urban Heat Island intensity. *Theoretical and Applied Climatology*, τεύχος 74: 93–103, 2003.
- Begert, M., T. Schlegel, and W. Kirchhofer, Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000, *International Journal of Climatolog* 25, pp. 65-80, 2005
- Bohm, R., Urban bias in temperature time series- A case study for the city of Vienna, Austria, *Clim. Change* 38, 1998
- Boonjawat, J., Niitsu, K., Kubo, S., Urban heat island: thermal pollution and climate change in Bangkok. *Report of the Southeast Asia START Regional Center*, 2000 (www address, <http://www.start.or.th/heatisland/>).
- Bornstein, Robert D. ‘Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City’. *Journal of Applied Meteorology* 7, τχ. 4: 575–582, Αύγουστος 1968.
- Bountas, N., N. Boboti, E. Feloni, L. Zeikos, Y. Markonis, A. Tegos, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, Temperature variability over Greece: Links between space and time, *5th EGU Leonardo Conference – Hydrofractals 2013 – STAHY ‘13*, Kos Island, Greece, European Geosciences Union, International Association of Hydrological Sciences, International Union of Geodesy and Geophysics, 2013.
- Cartalis, C., A. Synodinou, M. Proedrou, A. Tsangassoulis, M. Santamouris, Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for conceptual framework. In Environmental Management and Urban Vulnerability, World Bank *Discussion Paper* no. 168, 2001.
- Chen, Xiao-Ling, Hong-Mei Zhao, Ping-Xiang Li, και Zhi-Yong Yin. ‘Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes’. *Remote Sensing of Environment* 104, τχ. 2: 133–146, 2006.
- Connolly, R., and M. Connolly, Urbanization bias I. Is it a negligible problem for global temperature estimates?, *Open Peer Rev. J.*, 28 (*Clim. Sci.*), ver. 0.1 (non peer reviewed draft), 2014
- Connolly, R., and M. Connolly, Urbanization bias II. An assessment of the NASA GISS urbanization adjustment method, *Open Peer Rev. J.*, 31 (*Clim. Sci.*), ver. 0.1 (non peer reviewed draft), 2014
- Connolly, R. and M. Connolly (2014). Urbanization bias II. An assessment of the NASA GISS urbanization adjustment method, *Open Peer Rev. J.*, 31 (*Clim. Sci.*), ver. 0.1 (non peer reviewed draft), 2014 (URL: <http://oprj.net/articles/climate-science/31>)
- Coughlan, M. J., R. Tapp, and W. R. Kininmonth, Trends in Australian temperature records, In: Observed climate variations and change: Contributions in support of Section 7 of the 1990 IPCC Scientific Assessment, pp. 1-28
- Daniel, C.E.J., Krishnamurty, K., Urban temperature fields at Pune and Bombay. *Indian Journal of Meteorology and Geophysics* 24, 407- 412, 1973.
- Deosthali, Vrishali. ‘Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune City, India’. *Atmospheric Environment* 34, τχ. 17: 2745–2754, 2000.

- Dimoudi, A., M. Nikolopoulou. 'Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits'. *Energy and Buildings* 35, τχ. 1: 69–76, 2003.
- Duchon, C. E., Temperature trends at San Juan, Puerto Rico, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 67, pp. 1370-1377, 1986
- Eliasson, I., και B. Holmer. 'Urban Heat Island Circulation in Göteborg, Sweden'. *Theoretical and Applied Climatology* 42, τχ. 3: 187–196, 1 Σεπτέμβρη 1990.
- Fall, S., A. Watts, J. Nielsen, Gammon, E. Jones, D. Niyogi, J. R. Christy, and R. A. Pielke Sr, Analysis of the impacts of station exposure on the U.S. Historical Climatology Network temperatures and temperature trends, *Journal of Geophysical Research*, τεύχος 116, D14120, doi:10.1029/2010JD015146, 2011
- Feidas, H., T. Makrogiannis, και E. Bora-Senta. 'Trend Analysis of Air Temperature Time Series in Greece and Their Relationship with Circulation Using Surface and Satellite Data: 1955–2001'. *Theoretical and Applied Climatology* 79, τχ. 3–4: 185–208, 1 Δεκέμβρη 2004.
- Figuerola PI, Mazzeo NA, Urban–rural temperature differences in Buenos Aires. *International Journal of Climatology*, 18:1709–1723, 1998.
- Founda, D., K.H. Papadopoulos, M. Petrakis, C. Giannakopoulos, P. Good, Analysis of mean, maximum, and minimum temperature in Athens from 1897 to 2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events, and cold events, *Global and Planetary Change*, Volume 44, Issues 1–4, Pages 27–38, December 2004
- Fujibe, F., and K. Ishihara, Possible urban bias in gridded climate temperature data over the Japan area, *SOLA* 6, pp. 61-64, 2010
- Fujibe, F., Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan, *International Journal of Climatology* 29, pp. 1811-1822, 2009
- Gaffin, S. R. et al., Variations in New York City's urban heat island strength over time and space, *Theoretical and Applied Climatology*, 94, 2008
- Gallo, K.P., Tarpley, J.D., The comparison of vegetation index and surface temperature composites of urban heat-island analysis. *International Journal of Remote Sensing* 17, 3071–3076, 1996.
- Gao, W, Thermal effects of open space with a green area on urban environment, Part I: a theoretical analysis and its application, *J. Archit. Plan. Environ. Eng.*, AIJ, No. 448, 1993.
- Gedzelman, S. D., S. Austin, R. Cermak, N. Stefano, S. Partridge, S. Quesenberry, και D. A. Robinson. 'Mesoscale Aspects of the Urban Heat Island around New York City'. *Theoretical and Applied Climatology* 75, τχ. 1–2: 29–42, 1 Ιουνίου 2003.
- Giridharan, R, S Ganesan, και S.S.Y Lau. 'Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong'. *Energy and Buildings* 36, τχ. 6: 525–534, 2004.
- Goldreich, Y., Surridge, A. D., A case study of low level country breeze and inversion heights in the Johannesburg area. *International Journal of Climatology*, 8, 55-66, 1988.
- Good, P., C. Giannakopoulos, H. Flocas, K. Tolika, C. Anagnostopoulou, και P. Maheras. 'Significant Changes in the Regional Climate of the Aegean during 1961–2002'. *International Journal of Climatology* 28, τχ. 13: 1735–1749, 2008.
- Goodridge, J. D., Comments on Regional simulations of greenhouse warming including natural variability, *Bull. Amer., Meteor. Soc.* 77, pp. 1588-1589,

1996

- Hughes, W. S., and R. C. Jr. Balling, Urban influences on South African temperature trends, *International Journal of Climatology*. 16, pp. 935-940, 1996
- Ichinose, T., Shimodozono, K., Hanaki, K., Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo.. *Atmospheric Environment* 33, 3897–3909, 1999.
- Jones, Barclay G, Kandel, William A., Population growth, urbanization and disaster risk and vulnerability in metropolitan areas: a conceptual framework, *The World Bank*. Washington, D.C. US., 1992.
- Jones, P. D., et al., The effect of urban warming on the Northern Hemisphere temperature average, *J. Clim.* 2, pp. 285-290, 1989
- Kardinal Jusuf, Steve, N.H. Wong, Emlyn Hagen, Roni Anggoro, και Yan Hong. ‘The influence of land use on the urban heat island in Singapore’. *Habitat International* 31, τχ. 2: 232–242, 2007.
- Kassomenos, P. A., και B. D. Katsoulis. ‘Mesoscale and Macroscale Aspects of the Morning Urban Heat Island around Athens, Greece’. *Meteorology and Atmospheric Physics* 94, τχ. 1–4: 209–218, 1 Νοέμβρη 2006.
- Kataoka, K., et al. \Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years". *Sci. Tot. Environ.* 407, pp. 3112-3119, 2009
- Katsoulis, B. D., και G. A. Theoharatos. ‘Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece.’ *Journal of Applied Meteorology* 24: 1296–1302, 1985.
- Kawashima, S., Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter. *Energy and Buildings*, 15–16, 465–469, 1991.
- Kim, Y., και J. Baik. ‘Maximum Urban Heat Island Intensity in Seoul’. *Journal of Applied Meteorology* 41, τχ. 6: 651–659, Ιούνιος 2002.
- Kioutsoukis I, Melas D, Zerefos C., Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002). *International Journal of Climatology* 30:1723–1737, 2010.
- Kłysik, Kazimierz, και Krzysztof Fortuniak. ‘Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland’. *Atmospheric Environment* 33, τχ. 24–25: 3885–3895, 1999.
- Kolokotsa, D., A. Psomas, και E. Karapidakis. ‘Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete’. *Solar Energy* 83, τχ. 10: 1871–1883, 2009.
- Konopacki S, Akbari H, Energy savings for heat island reduction strategies in Chicago and Houston (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City), Draft Final Report, LBNL-49638, University of California, Berkeley, 2002.
- Koutsoyiannis, D., Scale of water resources development and sustainability: Small is beautiful, large is great, *Hydrological Sciences Journal*, 56 (4), 553–575, 2011.
- Kukla, G., J. Gavin, and T. R. Karl., Urban warming, *J. Clim. Appl. Meteor.* 25, pp. 1265-1270, 1986
- LaDochy, S., R. Medina, and W. Patzert, Recent California climate variability: spatial and temporal patterns in temperature trends, *Clim. Res.* 33, 2007
- Landsberg HE, The Urban Climate, *Academic Press*, New York, 1981.
- Li, Ying-ying, Hao Zhang, και Wolfgang Kainz. ‘Monitoring patterns of urban heat islands of the fast-growing Shanghai metropolis, China: Using time-series of Landsat TM/ETM+ data’. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 19: 127–138, 2012.
- Lin, Chuan-Yao, Fei Chen, J.C. Huang, W.-C. Chen, Y.-A. Liou, W.-N. Chen, και Shaw-C. Liu. ‘Urban heat island effect and its impact on boundary layer

- development and land–sea circulation over northern Taiwan’. *Atmospheric Environment* 42, τχ. 22: 5635–5649, 2008.
- Livada, M. Santamouris, K. Niachou, N. Papanikolaou, G. Mihalakakou, Determination of places in the great Athens area where the heat island is observed. *Theoretical and Applied Climatology*, 71, 219–230, 2002.
- Magee, N., J. Curtis, και G. Wendler. ‘The Urban Heat Island Effect at Fairbanks, Alaska’. *Theoretical and Applied Climatology* 64, τχ. 1–2: 39–47, 1 Οκτώβρη 1999.
- Mallick, J., and A. Rahman, Impact of population density on the surface temperature and micro-climate of Delhi, *Current Science*, 102 (12), 1708-1713, 2012.
- Markonis, Y., S.M. Papalexiou, and D. Koutsoyiannis, The role of teleconnections in extreme (high and low) precipitation events: The case of the Mediterranean region, European Geosciences Union General Assembly 2013, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, Vienna, EGU2013-5368, European Geosciences Union, 2013.
- Marougianni, G., Melas, D., Kioutsioukis, I., Feidas, H., Zanis P. and Anadranistakis, E. Trend Analysis for Climatic Time Series for Greece, *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Springer Atmospheric Sciences, 2012
- Metaxas, D.A., Bartzokas, A., Vitsas, A., Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the 120 last years, *International Journal of Climatology* 11, 897– 908, 1991
- Mihalakakou, G.· Santamouris, M.· Papanikolaou, N.· Cartalis, C.· Tsangrassoulis, A., Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates, *Pure and Applied Geophysics*, 161, 429–45, 2004.
- Mills, G., Luke Howard and The Climate of London, *Weather* 63, pp. 15-157, 2008
- Moberg, A., and H. Bergstrom, Homogenization of Swedish temperature data. Part III: The long temperature records from Uppsala and Stockholm, *International Journal of Climatology* 17, 1997
- Montávez JP, Rodríguez A, Jiménez JI, A study of the urban heat island of Granada, *International Journal of Climatology* 20:899–911, 2000.
- Oke, T. R., Boundary layer climates. *Methuen Press*, London, pp. 252-302, 1987.
- Oke, T. R., G. T. Johnson, D. G. Steyn, και I. D. Watson. ‘Simulation of Surface Urban Heat Islands under ‘ideal’ Conditions at Night Part 2: Diagnosis of Causation’. *Boundary-Layer Meteorology* 56, τχ. 4: 339–358, 1 Σεπτέμβρη 1991.
- Oke, T. R., City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7, 769-779, 1973.
- Oke, T.R., The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108, 1–24, 1982.
- Oke, T.R., και G.B. Maxwell. ‘Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver’. *Atmospheric Environment* 9, τχ. 2: 191–200, 1975.
- Papanastasiou, D., C. Kittas. ‘Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city’. *Theoretical and Applied Climatology* 107, τχ. 3–4: 407–416, 24 Ιουλίου 2011.
- Peterson, T. C., Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found, *J. Clim.* 16, pp. 2941-2959, 2003
- Pielke, R. A., Sr., C. Davey, D. Niyogi, S. Fall, J. Steinweg-Woods, K. Hubbard, X. Lin, M. Cai, Y. Lim, H. Li, J. Nielsen-Gammon, K. Gallo, R. Hale, R.

- Mahmood, S. Foster, R. McNider and P. Blanken, Unresolved issues with the assessment of multidecadal global land surface temperature trends, *Journal of Geophysical Research*, τεύχος 112, D24S08, doi:10.1029/2006JD008229, 2007
- Pinho, O.S., Manso Orgaz, M.D., The urban heat island in a small city in coastal Portugal *International Journal of Biometeorology* 44, 198–203, 2000.
- Population Reference Bureau. 2001a. 2000 World Population Data Sheet. Population Reference Bureau. URL: <http://www.prb.org/pubs/wpds2000/wpds2000>DataAvailable-GovtViewBirthrate.html>, accessed 1 July 2001.
- Proedrou, M., G. Theoharatos, και C. Cartalis. ‘Variations and Trends in Annual and Seasonal Air Temperatures in Greece Determined from Ground and Satellite Measurements’. *Theoretical and Applied Climatology* 57, τχ. 1–2: 65–78, 1 Μαρτίου 1997.
- Rosenzweig, Cynthia, William D. Solecki, Lily Parshall, Mark Chopping, Gregory Pope, και Richard Goldberg. ‘Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey’. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* 6, τχ. 1: 51–62, 2005.
- Saaroni, Hadas, Eyal Ben-Dor, Arieh Bitan, και Oded Potchter. ‘Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel’. *Landscape and Urban Planning* 48, τχ. 1–2: 1–18, 2000.
- Sajani SZ, Tibaldi S, Scotto F, Lauriola P., Bioclimatic characterisation of an urban area: a case study in Bologna (Italy). *International Journal of Biometeorology* 52:779–785, 2008.
- Santamouris, M, N Papanikolaou, I Livada, I Koronakis, C Georgakis, A Argiriou, και D.N Assimakopoulos. ‘On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings’. *Solar Energy* 70, τχ. 3: 201–216, 2001.
- Santamouris, M., Energy and Climate in the Urban Built Environment, James and James, London, 2001.
- Santamouris, M., K. Paraponiaris, και G. Mihalakakou. ‘Estimating the Ecological Footprint of the Heat Island Effect over Athens, Greece’. *Climatic Change* 80, τχ. 3–4: 265–276, 1 Φεβρουαρίου 2007.
- Schwarz, Nina, Uwe Schlink, Ulrich Franck, και Katrin Großmann. ‘Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators—An application for the city of Leipzig (Germany)’. *Ecological Indicators* 18: 693–704, 2012.
- Simpson, J.R. and McPherson, E.G., The effect of roof albedo modification on cooling loads of scale residences in the southeast Mediterranean region, *Energy Conservation and Management*, 42, 1647–1656, 1997.
- Stathopoulos, V., Fotiadi, A., Houssos, E.E., Hatzianastassiou, N. and Vardavas, I. Day to Day Variability of Air Temperature over Greece for the Period 1957–2002, *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Springer Atmospheric Sciences, 2012
- Stathopoulou, M., A. Synnefa, C. Cartalis, M. Santamouris, T. Karlessi, και H. Akbari. ‘A surface heat island study of Athens using high-resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials’. *International Journal of Sustainable Energy* 28, τχ. 1–3: 59–76, 2009.
- Stathopoulou, M., C. Cartalis, και I. Keramitsoglou. ‘Mapping micro-urban heat islands using NOAA/AVHRR images and CORINE Land Cover: an application to coastal cities of Greece’. *International Journal of Remote*

- Sensing* 25, τχ. 12: 2301–2316, 2004.
- Stathopoulou, M., C. Cartalis. ‘Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece’. *Solar Energy* 81, τχ. 3: 358–368, 2007.
- Steinecke, K. ‘Urban climatological studies in the Reykjavík subarctic environment, Iceland’. *Atmospheric Environment* 33, τχ. 24–25: 4157–4162, 1999.
- Streutker, D. ‘Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas’. *Remote Sensing of Environment* 85, τχ. 3: 282–289, 2003.
- Taha, H., D. Sailor, και H. Akbari. High-Albedo Materials for Reducing Building Cooling Energy Use, *Lawrence Berkeley Lab., CA (United States)*, 1 Ιανουάριος 1992.
- Taha, H., H. Akbari, και A. Rosenfeld. ‘Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies: Micro-Meteorological Field-Measurements’. *Theoretical and Applied Climatology* 44, τχ. 2: 123–138, 1 Ιουνίου 1991.
- Taha, Haider. ‘Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat’. *Energy and Buildings* 25, τχ. 2: 99–103, 1997.
- Tegos, A., Efstratiadis, A. and Koutsoyiannis, D. A parametric model for potential evapotranspiration estimation based on a simplified formulation of the Penman-Monteith equation, *Evapotranspiration- An Overview*, edited by S. Alexandris, 143–165, doi:10.5772/52927, InTech, 2013
- Tran, Hung, Daisuke Uchihama, Shiro Ochi, και Yoshifumi Yasuoka. ‘Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities’. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8, τχ. 1: 34–48, 2006.
- Velazquez-Lozada, Alexander, Jorge E. Gonzalez, και Amos Winter. ‘Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico’. *Atmospheric Environment* 40, τχ. 9: 1731–1741, 2006.
- Yamashita, S., Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in Metropolitan Tokyo, *Atm. Environ.* 30, pp. 429-435, 1996
- Watts, A., Is the U.S. Surface Temperature Record Reliable?, *Chicago, IL: The Heartland Institute*, 2009.
- Weng, Qihao, Dengsheng Lu, και Jacquelyn Schubring. ‘Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies’. *Remote Sensing of Environment* 89, τχ. 4: 467–483, 2004.
- Wong, Nyuk Hien, και Chen Yu. ‘Study of green areas and urban heat island in a tropical city’. *Habitat International* 29, τχ. 3: 547–558, 2005.
- Xoplaki, E., J. F. González-Rouco, J. Luterbacher, και H. Wanner. ‘Mediterranean Summer Air Temperature Variability and Its Connection to the Large-Scale Atmospheric Circulation and SSTs’. *Climate Dynamics* 20, τχ. 7–8 : 723–739, 1 Μαΐου 2003.
- Zhou, L.· Dickinson, R.E.· Tian, Y.· Fang, J.· Li, Q.· Kaufmann, R.K.· Tucker, C.J.· Myneni, R.B., Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, 9540–9544, 2004.

Πηγές από τα Διαδίκτυο:

<http://rda.ucar.edu/datasets/ds131.1/#!description>

<http://system.deucalionproject.gr>

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/>

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas/greece>

<http://www.gallup.com/poll/147203/Fewer-Americans-Europeans-View-Global-Warming-Threat.aspx#2>

<http://www.gapminder.org/data/>

<http://www.meteo.gr>

<http://www.ncep.noaa.gov/>

<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Διαπερατότητα και θερμοκρασίες της επιφάνειας για κάθε κατηγορία υλικού.	22
Πίνακας 2.2: Το μέγιστο δυναμικό κόστος της θερμότητας, οι μέγιστες εκπομπές CO ₂ , και το μέγιστο οικολογικό αποτύπωμα της αστικής θερμικής νησίδας στην Αθήνα.....	24
Πίνακας 2.3: Τιμή ΑΘΝ ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου στο JFK.....	33
Πίνακας 2.4: Οι κλάσεις αστικής θερμικής νησίδας, με βάση τις διαφορές θερμοκρασίας και το ποσοστό εμφάνισης για κάθε κατηγορία.	46
Πίνακας 2.5: Περιγραφικά στατιστικά	48
Πίνακας 2.6: Συγκεντρωτικός πίνακας για την ένταση της θερμικής νησίδας που παρατηρήθηκε σε όσες πόλεις έχουν ερευνηθεί.....	49
Πίνακας 3.1: Πληθυσμός και πυκνότητά του ανά γεωγραφικό διαμέρισμα και νομό τα έτη 1961 και 2001.....	56
Πίνακας 3.2: Εξέλιξη προσδόκιμου ζωής στην Ελλάδα, 1950- 2007	57
Πίνακας 3.3: Αριθμός νέων οικοδομών και όγκος οικοδομικής δραστηριότητας ανά έτος ...	59
Πίνακας 3.4: Κτίρια με βάση το κύριο υλικό κατασκευής.....	63
Πίνακας 3.5: Αριθμός κατασκευασθέντων κτιρίων βάσει του κύριου υλικού κατασκευής ανά χρονικές περιόδους.....	64
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά των σταθμών που αναλύθηκαν στην περιοχή της Αττικής	66
Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά των σταθμών που αναλύθηκαν σε κλίμακα 10' για τους τέσσερις χαρακτηριστικούς μήνες στην περιοχή της Αττικής	67
Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά των εκτός Αττικής σταθμών που αναλύθηκαν.....	67
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά επιπλέον σταθμών για τη σύγκριση σε κλίμακα 10'	68
Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά σταθμών EMY	68
Πίνακας 4.6: Προσεγγιστική κατάταξη των σταθμών σε επίπεδα CRN.....	79
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά σταθμών	82
Πίνακας 5.2: Τιμές της θερμοβαθμίδας για κάθε μήνα.....	83
Πίνακας 5.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά των διαφορών θερμοκρασίας από το Γκάζι των σταθμών που εξετάστηκαν	97
Πίνακας 5.4: Για κάθε έτος και μήνα, φαίνεται η μέση διαφορά από το Γκάζι της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας όλων των σταθμών.....	98
Πίνακας 5.5: Μέσος όρος διαφορών της μέσης θερμοκρασίας στα προάστια της Αθήνας, ανάλογα με την εποχή	99
Πίνακας 5.6: Μέσος όρος διαφορών της ελάχιστης θερμοκρασίας στα προάστια της Αθήνας, ανάλογα με την εποχή	101
Πίνακας 5.7: Μέσος όρος διαφορών της μέγιστης θερμοκρασίας στα προάστια της Αθήνας, ανάλογα με την εποχή	102
Πίνακας 5.8: Για κάθε μήνα του 2013, η μέση διαφορά της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας του Υμηττού από την Πάρνηθα.....	105
Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά της διαφοράς της θερμοκρασίας από το κέντρο της Θεσσαλονίκης για κάθε μήνα.....	108
Πίνακας 6.2: Κύρια στατιστικά μεγέθη θερμοκρασιακών αποκλίσεων στην Καλαμάτα	130
Πίνακας 6.3: Μέση απόκλιση θερμοκρασιακών διαφορών και μέση θερμοκρασία για κάθε εποχή για τις εκτός Αττικής περιοχές που εξετάστηκαν.	131
Πίνακας 7.1: Πλήθος σταθμών ανά κατηγορία.....	135
Πίνακας 7.2: Χαρακτηριστικά σταθμών ανά κατηγορία.....	135
Πίνακας 7.3: Τυπική απόκλιση για κάθε κατηγορία σταθμού	144

Πίνακας 8.1: Συνολική επίδραση της ΑΘΝ στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση.....	150
Πίνακας 8.2: Ένταση θερμικής νησίδας ελληνικών πόλεων το καλοκαίρι.....	151
Πίνακας 8.3: Μεταβολή της εξατμισοδιαπνοής σε μεγάλες ελληνικές πόλεις	152
Πίνακας 9.1: Ένταση θερμικής νησίδας για το σύνολο των πόλεων που ερευνήθηκαν	153

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1: Αντανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας από τα κτίρια	13
Εικόνα 1.2: Επίδραση της θερμοκρασιακής αναστροφής	14
Εικόνα 2.1: Σύγκριση ανάμεσα σε δεδομένα από πολλαπλούς μετεωρολογικούς σταθμούς, σε σχέση με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού από το 1880 και την αύξηση του αστικού πληθυσμού.....	17
Εικόνα 2.2: Συσχέτιση διαφορών θερμοκρασίας με υψόμετρο και γεωγραφικό πλάτος.....	19
Εικόνα 2.3: Διάγραμμα πυκνότητας κτισμάτων - επιφανειακής θερμοκρασίας τη μέρα.....	25
Εικόνα 2.4: Συσχέτιση μέσης ετήσιας LST και πληθυσμιακής πυκνότητας.....	26
Εικόνα 2.5: Η μέση ετήσια θερμοκρασία στο Τόκιο σε αστικούς και αγροτικούς σταθμούς	27
Εικόνα 2.6: Συσχέτιση επιφανειακής θερμοκρασίας και πυκνότητας του πληθυσμού.....	29
Εικόνα 2.7: Η αύξηση του πληθυσμού και οχημάτων στην πόλη Pune.....	30
Εικόνα 2.8: Η μέση θερμοκρασία για τα υποσύνολα των αγροτικών σταθμών και των αστικών στις ΗΠΑ.....	32
Εικόνα 2.9: Σύγκριση των διαφορών ανάμεσα στις κλίσεις των αστικών και αγροτικών σταθμών και της αύξησης του αστικού πληθυσμού για τις ΗΠΑ	32
Εικόνα 2.10: Ωριαίες τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας αστικών – αγροτικών περιοχών, για κάθε μία από τις τέσσερις εποχές.....	33
Εικόνα 2.11: Η μεταβολή της έντασης της αστικής νησίδας με το ύψος στη Νέα Υόρκη.	34
Εικόνα 2.12: Διαφορές θερμοκρασίας για CSLW και NCSLW καταστάσεις	40
Εικόνα 2.13: Διατομή αστικής θερμικής νησίδας της Γρανάδας.....	40
Εικόνα 2.14: Ο χάρτης Corine για την περίπτωση της Αθήνας.	42
Εικόνα 2.15: Οπτική επιθεώρηση της χωρικής κατανομής της Ts για το λεκανοπέδιο.....	43
Εικόνα 2.16: Εξάπλωση αστικού ιστού στην Αττική.....	47
Εικόνα 2.17: Η ώρα που παρατηρήθηκε η μέγιστη ΑΘΝ μέσα στη μέρα	48
Εικόνα 2.18: Οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες όλων των αστικών και των αγροτικών τοποθεσιών.	49
Εικόνα 3.1: Εξέλιξη πληθυσμού Ελλάδας.....	54
Εικόνα 3.2: Ποσοστό του αστικού πληθυσμού επί του συνόλου, 1961 - 2013	55
Εικόνα 3.3: Ετήσια αύξηση αστικού πληθυσμού (%), 1961 -2013.....	55
Εικόνα 3.4: Φυσική μεταβολή του πληθυσμού της Ελλάδας, 1985 - 2001.....	57
Εικόνα 3.5: Απεικόνιση του αριθμού των νέων οικοδομών ανά έτος.....	62
Εικόνα 3.6: Απεικόνιση του όγκου των νέων οικοδομών ανά έτος.....	62
Εικόνα 3.7: Ποσοστό συμμετοχής (%) κάθε κατηγορίας στην οικοδομική δραστηριότητα...	63
Εικόνα 3.8: Εξέλιξη αγοράς οχημάτων στην Ελλάδα	64
Εικόνα 3.9: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα την περίοδο 1961 - 2013	65
Εικόνα 3.10: Κατανάλωση καυσίμου diesel στον τομέα των οδικών μεταφορών.....	65
Εικόνα 4.1: Σχηματικό διάγραμμα της ανάπτυξης της αστικής θερμικής νησίδας σε έναν υποθετικό σταθμό, ο οποίος ενώ ήταν αγροτικός, με την πάροδο των ετών περικυκλώθηκε από ένα αστικό περιβάλλον.....	69
Εικόνα 4.2: Ποσοστά του βαθμού αστικοποίησης για τους σταθμούς του Δικτύου Παγκόσμιας Ιστορικής Κλιματολογίας.....	71
Εικόνα 4.3: Χάρτης με τις θέσεις όλων των σταθμών της NASA για την Ινδία και κατά πόσο άλλαξε η κατηγοριοποίησή τους τα τελευταία 10 χρόνια	72
Εικόνα 4.4: Το ποσοστό των σταθμών του Παγκόσμιου Δικτύου που έχουν χαρακτηριστεί ως αστικοί, ημιαστικοί και αγροτικοί για κάθε έτος	72

Εικόνα 4.5: Τα αποτελέσματα της κατάταξης των μετεωρολογικών σταθμών του δικτύου των ΗΠΑ σε επίπεδα αξιοπιστίας.....	74
Εικόνα 4.6: Ο μετεωρολογικός σταθμός στα Πατήσια, Αθήνα.....	74
Εικόνα 4.7: Ο μετεωρολογικός σταθμός στο Γκάζι.	75
Εικόνα 4.8: Η τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή Ζωγράφου.....	75
Εικόνα 4.9: Η ομάδα του έργου.	76
Εικόνα 4.10: Ο μετεωρολογικός σταθμός στους Αμπελόκηπους, Αθήνα.....	76
Εικόνα 4.11: Ο μετεωρολογικός σταθμός στα Άνω Λιόσια.....	77
Εικόνα 4.12: Ο μετεωρολογικός σταθμός στις Σέρρες.	77
Εικόνα 4.13: Ο μετεωρολογικός σταθμός στην Κάντζα.	78
Εικόνα 4.14: Ο μετεωρολογικός σταθμός στη Νάξο.....	79
Εικόνα 4.15: Ο μετεωρολογικός σταθμός στη Μεθώνη Μεσσηνίας.	79
Εικόνα 4.16: Τα αποτελέσματα της κατάταξης των 49 σταθμών μας.....	81
Εικόνα 5.1: Συσχέτιση πυκνότητας πληθυσμού για διάφορα προάστια της Αττικής με τη μέση διαφορά θερμοκρασίας από το σταθμό στο Γκάζι.	83
Εικόνα 5.2: Συσχέτιση πυκνότητας πληθυσμού με τη μέση διαφορά θερμοκρασίας μόνο για τους σταθμούς που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί.....	84
Εικόνα 5.3: Γραμμική συσχέτιση πυκνότητας πληθυσμού με τη μέση διαφορά θερμοκρασίας μόνο για τους σταθμούς που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί.....	85
Εικόνα 5.4: Εκθετική συσχέτιση της μέσης τιμής δT μετά από προσαρμογή με την πυκνότητα πληθυσμού.....	85
Εικόνα 5.5: Τοποθεσία των σταθμών της Αττικής, ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες κάθε περιοχής.....	86
Εικόνα 5.6: Λεζάντα για τα χρώματα που ακολουθούνται στις εικόνες 5.7 -5.13.....	87
Εικόνα 5.7: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 14 - 15 Νοέμβρη 2013.....	87
Εικόνα 5.8: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 10 - 11 Δεκέμβρη 2013.....	88
Εικόνα 5.9: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 1 -2 Ιανουαρίου 2014.....	88
Εικόνα 5.10: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 22 -23 Ιανουαρίου 2014.....	89
Εικόνα 5.11: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 16 -17 Φεβρουαρίου 2014.....	91
Εικόνα 5.12: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τις 5 - 6 Μαρτίου 2014.....	91
Εικόνα 5.13: Διακύμανση του μέσου όρου της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι, για το σύνολο των διήμερων καταγραφών που έχουν συλλεχθεί.....	92
Εικόνα 5.14: Η λεζάντα για τα χρώματα που ακολουθούνται στις εικόνες 5.15 - 5.19.....	93
Εικόνα 5.15: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Ιανουάριο 2013.....	93
Εικόνα 5.16: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Απρίλιο 2013.....	94
Εικόνα 5.17: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Ιούλιο 2013.....	94
Εικόνα 5.18: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για τον Οκτώβριο 2013.....	95

Εικόνα 5.19: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας του Νέου Κόσμου από το Γκάζι.....	95
Εικόνα 5.20: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας του Αμαρουσίου από το Γκάζι.....	96
Εικόνα 5.21: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας της Κάντζας από το Γκάζι.....	96
Εικόνα 5.22: Ένταση της θερμικής νησίδας το μεσημέρι σε σχέση με το βράδυ για το Μαρούσι.....	96
Εικόνα 5.23: Ένταση της θερμικής νησίδας το μεσημέρι σε σχέση με το βράδυ για την Κάντζα.....	97
Εικόνα 5.24: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο για κάθε μήνα τα έτη 2012 και 2013.....	99
Εικόνα 5.25: Διακύμανση της διαφοράς της ελάχιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο για κάθε μήνα τα έτη 2012 και 2013.....	101
Εικόνα 5.26: Διακύμανση της διαφοράς της μέγιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το Γκάζι για κάθε μήνα το 2012.....	102
Εικόνα 5.27: Μέση ένταση θερμικής νησίδας για ανάλυση με χρονικό βήμα 10 λεπτών	103
Εικόνα 5.28: Μέση ένταση θερμικής νησίδας για ανάλυση με χρονικό βήμα μηνιαίο	103
Εικόνα 5.29: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Πάρνηθας από τον Υμηττό ανά 10 λεπτά για τις 29 -30 Νοεμβρίου και 10 -11 Δεκεμβρίου 2013.....	104
Εικόνα 5.30: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Πάρνηθας από τον Υμηττό για τους 4 μήνες του 2013.....	105
Εικόνα 5.31: Διακύμανση της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης διαφοράς θερμοκρασίας της Πάρνηθας από τον Υμηττό για τους όλους τους μήνες το 2012.....	106
Εικόνα 6.1: Τοποθεσία των σταθμών στη Θεσσαλονίκη.....	108
Εικόνα 6.2: Τοποθεσία των σταθμών στην περιοχή της Πάτρας.....	109
Εικόνα 6.3: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι της Πάτρας για τις 29 -30 Ιανουαρίου 2014.....	110
Εικόνα 6.4: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι της Πάτρας για τις 5 -6 Μαρτίου 2014.....	110
Εικόνα 6.5: Τοποθεσία των σταθμών στο Ηράκλειο, ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες κάθε περιοχής.....	111
Εικόνα 6.6: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι του Ηρακλείου για τις 27 -28 Ιανουαρίου 2014.....	112
Εικόνα 6.7: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι του Ηρακλείου για τις 29 -30 Ιανουαρίου 2014.....	112
Εικόνα 6.8: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το Λιμάνι του Ηρακλείου για τις 5 -6 Μαρτίου 2014.....	113
Εικόνα 6.9: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης -μέγιστης -ελάχιστης θερμοκρασίας της Κνωσού από το Λιμάνι του Ηρακλείου για το 2013.....	113
Εικόνα 6.10: Τοποθεσία των σταθμών στα Χανιά.....	114
Εικόνα 6.11: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για τις 27 -28 Ιανουαρίου 2014.....	115
Εικόνα 6.12: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για τις 29 -30 Ιανουαρίου 2014.....	115
Εικόνα 6.13: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για τις 5 -6 Μαρτίου 2014.....	115
Εικόνα 6.14: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για όλους τους μήνες του 2013.....	116

Εικόνα 6.15: Διακύμανση της διαφοράς της ελάχιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο των Χανίων για όλους τους μήνες του 2013	116
Εικόνα 6.16: Τοποθεσία των σταθμών στον Πύργο.....	117
Εικόνα 6.17: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για τις 27 -28 Ιανουαρίου 2014.....	118
Εικόνα 6.18: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για τις 29 -30 Ιανουαρίου 2014.....	118
Εικόνα 6.19: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για τις 5 -6 Μαρτίου 2014.....	118
Εικόνα 6.20: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για όλους τους μήνες του 2013	119
Εικόνα 6.21: Διακύμανση της διαφοράς της ελάχιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για όλους τους μήνες του 2013	119
Εικόνα 6.22: Διακύμανση της διαφοράς της μέγιστης θερμοκρασίας των περιοχών από το κέντρο του Πύργου για όλους τους μήνες του 2013	120
Εικόνα 6.23: Τοποθεσία των δύο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή του Βόλου συγκριτικά με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες περιοχής	121
Εικόνα 6.24: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Πορταριάς από το Βόλο για τα διήμερα καταγραφών ανά 10'	121
Εικόνα 6.25: Τοποθεσία των μετεωρολογικών σταθμών στην Πρέβεζα και τη Λευκάδα... ..	122
Εικόνα 6.26: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Λευκάδας από την Πρέβεζα για τα διήμερα καταγραφών ανά 10'	122
Εικόνα 6.27: Τοποθεσία των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Άρτας.	123
Εικόνα 6.28: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας στο Κομπότι από την Άρτα για τα διήμερα καταγραφών ανά 10'	124
Εικόνα 6.29: Τοποθεσία των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Μεγαλόπολης. .	124
Εικόνα 6.30: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας της Λυκόχειας από τη Μεγαλόπολη για τα διήμερα καταγραφών ανά 10'	125
Εικόνα 6.31: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης -μέγιστης -ελάχιστης θερμοκρασίας της Λυκόχειας από τη Μεγαλόπολη για το 2013.....	125
Εικόνα 6.32: Τοποθεσία των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Πτολεμαΐδας... ..	126
Εικόνα 6.33: Διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας στα Άδρασα από την Πτολεμαΐδα για τα διήμερα καταγραφών ανά 10'	127
Εικόνα 6.34: Διακύμανση της διαφοράς της μέσης -μέγιστης -ελάχιστης θερμοκρασίας στα Άδρασα από την Πτολεμαΐδα για το 2013	127
Εικόνα 6.35: Τοποθεσία των δύο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Καλαμάτας συγκριτικά με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις δραστηριότητες περιοχής	128
Εικόνα 6.36: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας - Αρφαρών για τους χειμερινούς μήνες 2013 -2014.....	129
Εικόνα 6.37: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας - Αρφαρών για την άνοιξη του 2013	129
Εικόνα 6.38: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας - Αρφαρών για τους καλοκαιρινούς μήνες του 2013	129
Εικόνα 6.39: Ιστόγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας Καλαμάτας - Αρφαρών για τους φθινοπωρινούς μήνες του 2012 -2013.....	130
Εικόνα 7.1: Δίκτυο σταθμών.....	133
Εικόνα 7.2: Πλήθος καταγραφών θερμοκρασίας ανά σταθμό	134

Εικόνα 7.3: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Τρίπολης	136
Εικόνα 7.4: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για την Τρίπολη.....	136
Εικόνα 7.5: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού Αλεξανδρούπολης.....	137
Εικόνα 7.6: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για την Αλεξανδρούπολη.	137
Εικόνα 7.7: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού του Ηρακλείου	138
Εικόνα 7.8: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για το Ηράκλειο.....	138
Εικόνα 7.9: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Χαλκίδας.....	139
Εικόνα 7.10: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για τη Χαλκίδα	139
Εικόνα 7.11: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Λάρισας	140
Εικόνα 7.12: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για τη Λάρισα.....	140
Εικόνα 7.13: Ακριβής τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού της Σκύρου	141
Εικόνα 7.14: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας για τη Σκύρο.....	141
Εικόνα 7.15: Μέσα μεγέθη θερμοκρασίας για κάθε μήνα	142
Εικόνα 7.16: Μέσα μεγέθη θερμοκρασίας για κάθε σταθμό.....	142
Εικόνα 7.17: Ενδοετήσια μεταβλητότητα της θερμοκρασίας.....	143
Εικόνα 7.18: Για κάθε κατηγορία σταθμών απεικονίζεται η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας για κάθε μήνα.....	144
Εικόνα 7.19: Μεταβολές στη μηνιαία μέση θερμοκρασία για κάθε μήνα	145
Εικόνα 7.20: Κλίσεις δT , ανάλογα με κάθε κατηγορία σταθμού	146
Εικόνα 7.21: Συνολική κλίση δT ανά δεκαετία για όλους τους σταθμούς.....	146
Εικόνα 7.22: Συσχέτιση των κλίσεων της θερμοκρασίας ανά δεκαετία με την αύξηση του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας και για τους 40 σταθμούς της ανάλυσης.	147
Εικόνα 8.1: Ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα στην Ελλάδα.....	148
Εικόνα 8.2: Συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας με τη θερμοκρασία για το 2012	149
Εικόνα 8.3: Συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας με τη θερμοκρασία για όλες τις εποχές του 2012	150
Εικόνα 8.4: Μέση μηνιαία αιχμή φορτίου και αντίστοιχη θερμοκρασία για την περίοδο 2007 - 2010.....	151
Εικόνα 9.1: Συσχέτιση μέσης έντασης θερμικής νησίδας με τη μέση θερμοκρασία ανά εποχή για το σύνολο των σταθμών που εξετάστηκαν.....	154