



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΠΜΣ: Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων

Διερεύνηση της Αστικής Θερμικής Νησίδας των Ελληνικών Πόλεων



Νικόλαος Μπουντάς

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

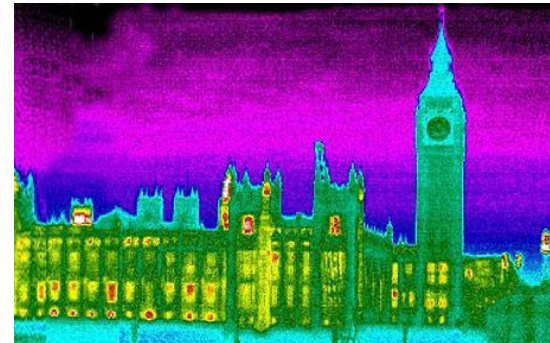
Αθήνα, Μάρτιος 2014

Διάρθρωση της Εργασίας

1. Εισαγωγή
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση
3. Εξέλιξη Παραγόντων Αστικοποίησης
4. Σταθμοί
5. Περιοχή Αττικής
6. Υπόλοιπες Ελληνικές Πόλεις
7. Μεταβλητότητα Θερμοκρασίας στην Ελλάδα
8. Επιπτώσεις της θερμικής νησίδας
9. Συμπεράσματα

1. Εισαγωγή

- Οι αστικές περιοχές καλύπτουν μόλις το 1% της επιφάνειας της Γης
- *“Θερμική νησίδα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένας χώρος είναι αισθητά πιο θερμός από το περιβάλλον του και μπορεί, επομένως, να παρομοιαστεί με μία νησίδα θερμότητας σε μια θάλασσα από δροσερό αέρα”* (Allaby, 2007).
- Πρώτη φορά: Luke Howard (1819)
στο κλίμα του Λονδίνου

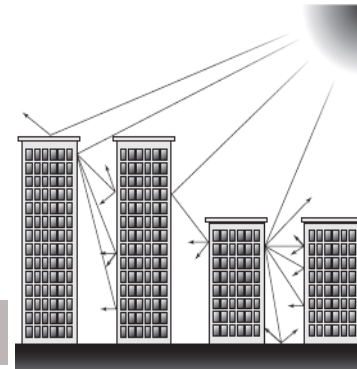


Φυσικοί μηχανισμοί δημιουργίας ΑΘΝ

- I. Μείωση της ταχύτητας του ανέμου
- II. Μείωση της βλάστησης στις αστικές περιοχές
- III. Υλικά δόμησης χαμηλού συντελεστή λευκαύγειας (albedo)
- IV. Αντανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας.

Αστικό ανάγλυφο- αστικό φαράγγι

Πηγή: Allaby 2007



- V. Κλιματιστικά (θέρμανση- ψύξη)
- VI. Δημιουργία θόλου ρυπαντών πάνω από μία πόλη

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

- Εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση σε 11 δημοσιεύσεις για την Ελλάδα και 35 για το εξωτερικό.
- Παράγοντες που επιδρούν στο σχηματισμό αστικής θερμικής νησίδας (ΑΘΝ), σύμφωνα με τους Oke et al, 1987, 1991· Papanastasiou και Kittas, 2011· Rosenzweig et al, 2005:
 1. Αύξηση πληθυσμού
 2. Θερμικές ιδιότητες των υλικών
 3. Απόσταση από τη θάλασσα (Katsoulis και Theoharatos, 1985)
 4. Μέγεθος, βιομηχανική ανάπτυξη, τοπογραφία, φυσική διάταξη, περιφερειακό κλίμα και μετεωρολογικές συνθήκες
 5. Κυκλωνικές ή αντικυκλωνικές συνθήκες (Kassomenos και Katsoulis, 2006· Mihalakakou et al, 2004)
 6. Μέγιστη ωριαία ένταση ΑΘΝ της προηγούμενης ημέρας

Βασικά Χαρακτηριστικά (1)

- Η μεγαλύτερη ένταση ΑΘΝ καταγράφεται:
 - Χειμερινούς μήνες (Papanastasiou και Kittas, 2011· Montávez et al, 2000· Kim και Baik, 2002 και Zhou et al, 2004)
 - Πιο εμφανής στις ελάχιστες θερμοκρασίες από ότι στις μέγιστες, επειδή το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα (Oke, 1974· Landsberg, 1981· Ichinose et al, 1999· Boonjawat et al, 2000 και Kim και Baik, 2002).
 - 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).

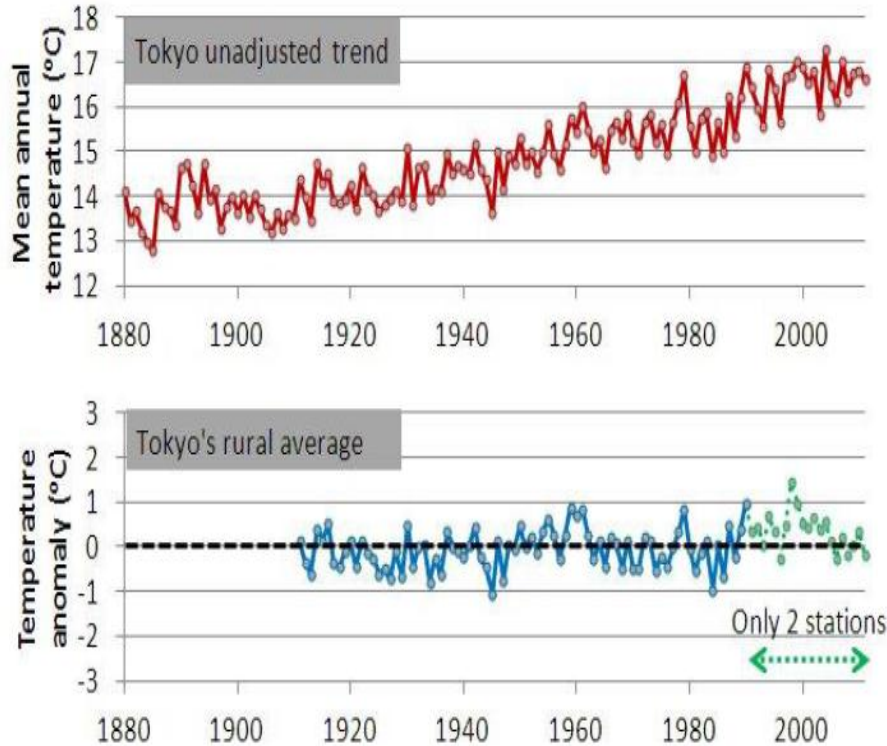
- Χαμηλές ταχύτητες ανέμου

Wind speed (kt)	ΔT_{U-R} (°C)
<5	4.9
> 10	2.8
> 15	2.3
> 20	2.1

Πηγή: Gedzelman et al, 2003

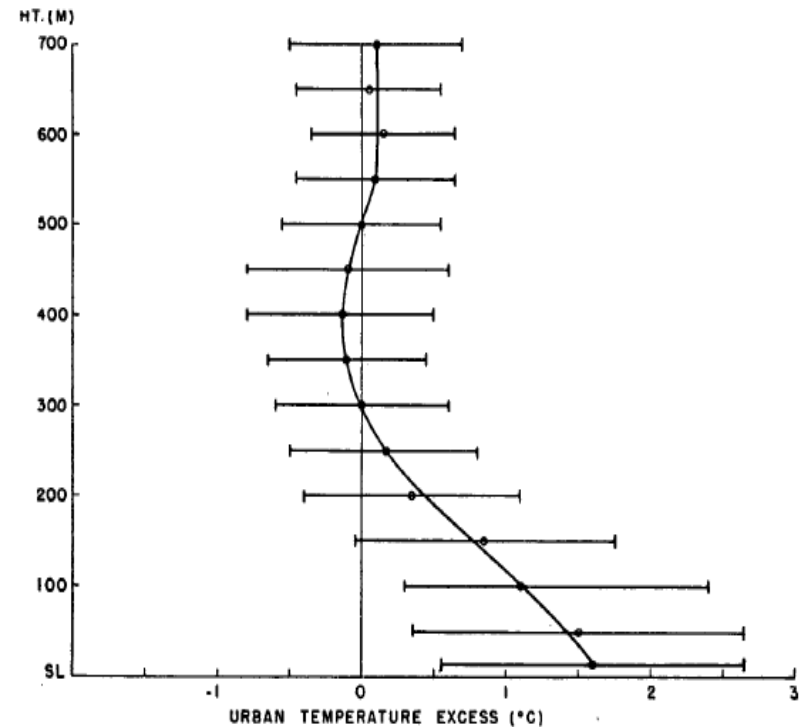
- Μειωμένη νεφοκάλυψη (Kim και Baik, 2002· Montávez et al, 2000).

Βασικά Χαρακτηριστικά (2)



Πηγή: Yamashita, 1996

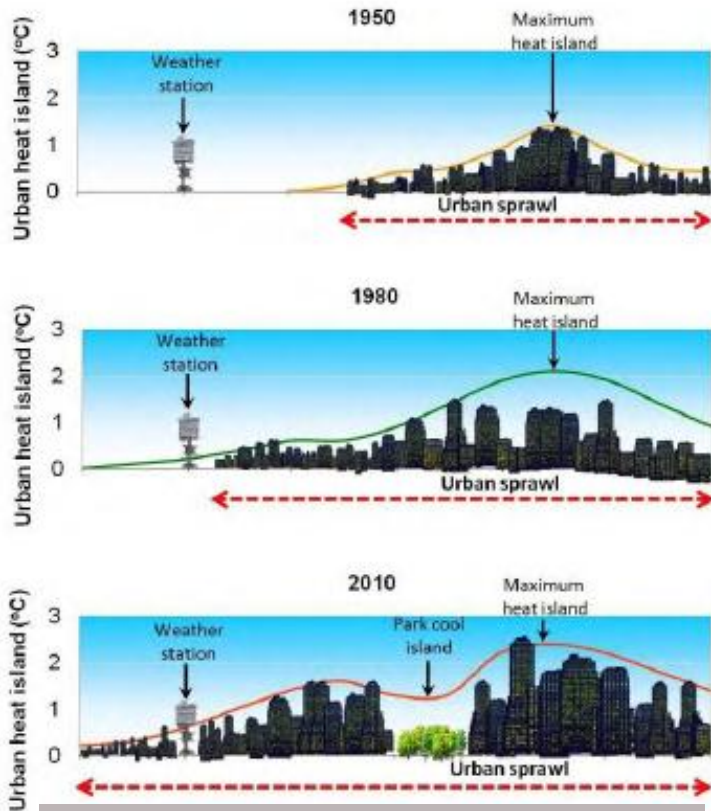
Η μέση ετήσια θερμοκρασία στο Τόκιο σε αστικούς και αγροτικούς σταθμούς



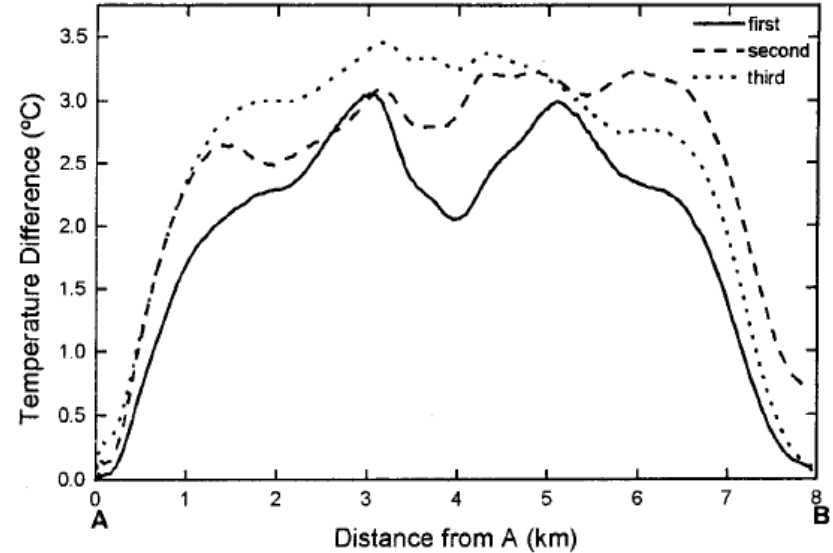
Πηγή: Bornstein, 1968

Η μεταβολή της έντασης της αστικής νησίδας με το ύψος στη Νέα Υόρκη τις ώρες κοντά στην ανατολή του ήλιου

Βασικά Χαρακτηριστικά (3)



Πηγή: Connolly και Connolly, 2014

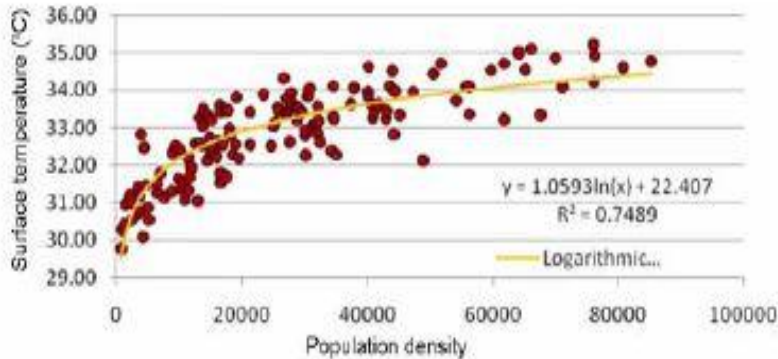


Πηγή: Montávez et al, 2000

Διατομή αστικής θερμικής νησίδας της Γρανάδας σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές το ίδιο βράδυ.

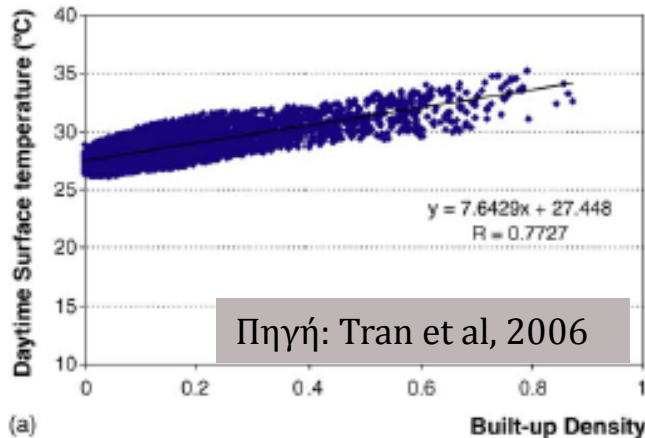
Σχηματικό διάγραμμα της ανάπτυξης της αστικής θερμικής νησίδας σε έναν υποθετικό σταθμό, ο οποίος ενώ ήταν αγροτικός, με την πάροδο των ετών περικυκλώθηκε από ένα αστικό περιβάλλον

Συσχέτιση επιφανειακής θερμοκρασίας- πυκνότητας πληθυσμού- κτισμάτων



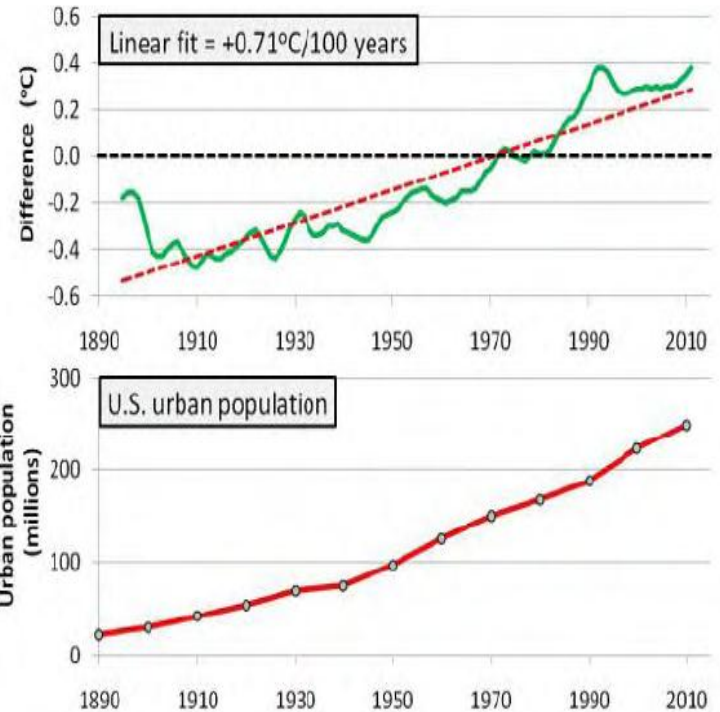
Πηγή: Mallick και Rahman, 2012

Θερμοκρασία- πυκνότητα πληθυσμού



Πηγή: Tran et al, 2006

Θερμοκρασία- πυκνότητα κτισμάτων



Κλίση θερμοκρασίας και της αύξησης αστικού πληθυσμού για τις ΗΠΑ

Πηγή: Connolly και Connolly, 2014

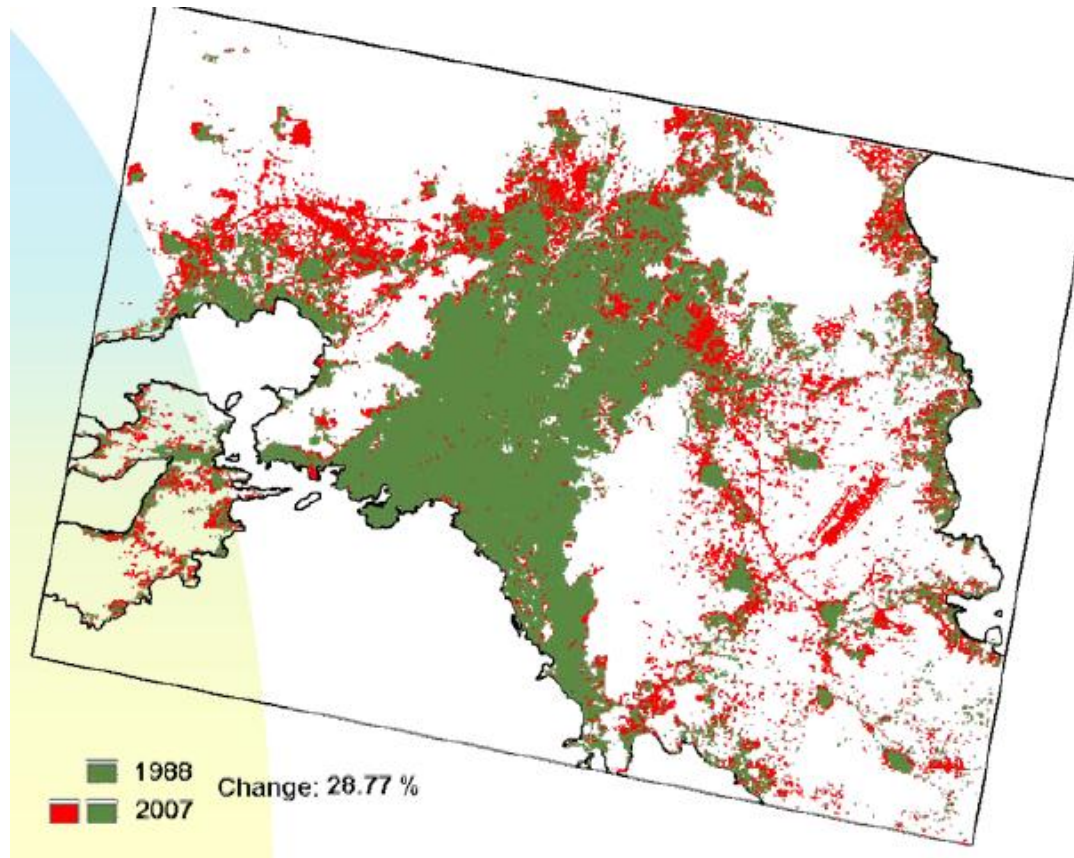
Συγκριτικός Πίνακας (Ελλάδα)

Πόλη	Πληθυσμός την εποχή μελέτης	Ένταση	Σχόλιο	Πηγή
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	δορυφορικές 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

Συγκριτικός Πίνακας (Υπόλοιπος κόσμος)

Πόλη	Χώρα	Πληθυσμός την εποχή μελέτης	Ένταση	Σχόλιο	Πηγή
Ασία					
Τόκιο	Ιαπωνία	12.017.000	8 °C	βράδια Ιουλίου	Ichinose et al., 1999
Σεούλ	N. 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	B. 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	Αργετινή	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					
Ρέγκιαβικ	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	Kłysik 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

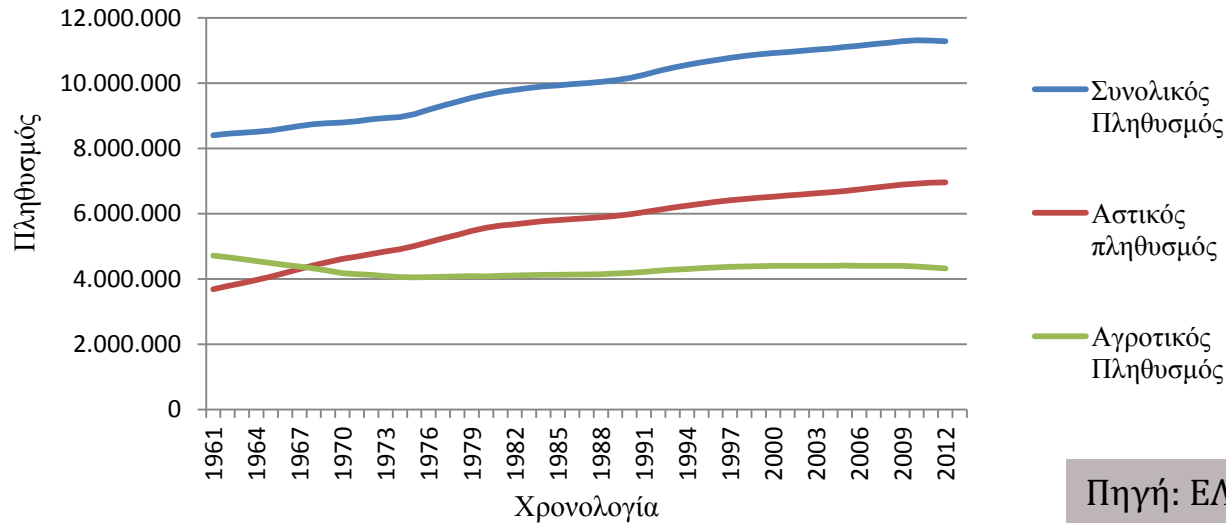
3. Εξέλιξη Παραγόντων Αστικοποίησης



Εξάπλωση αστικού
ιστού στην Αττική

Πηγή: Πετράκης, 2007

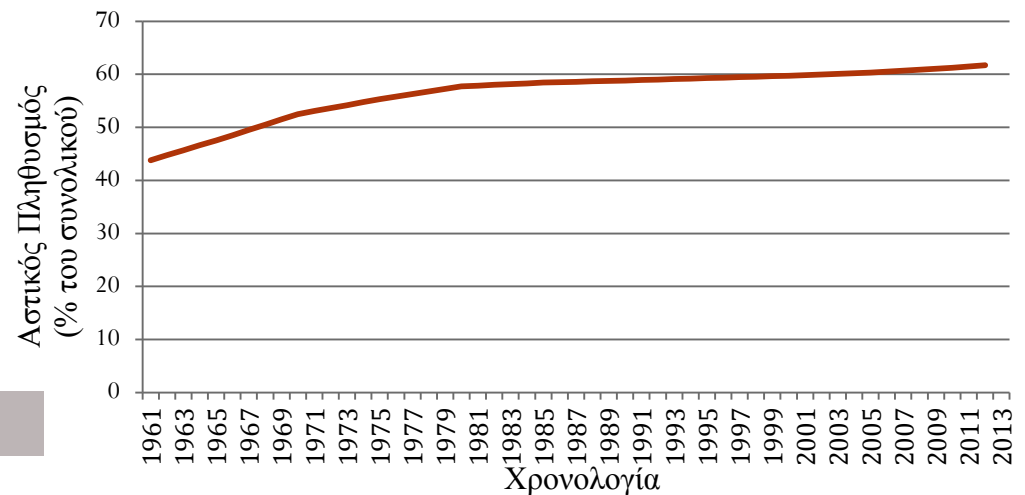
I. Αύξηση Πληθυσμού



Εξέλιξη
πληθυσμού
Ελλάδας,
1961- 2013

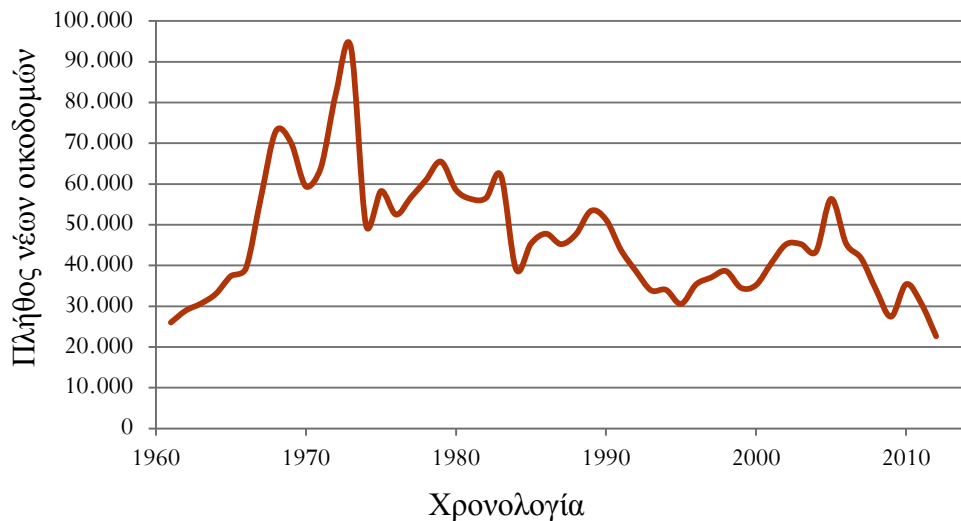
Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, σύνθεση τευχών

Ποσοστό του αστικού πληθυσμού
επί του συνόλου



Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, σύνθεση τευχών

II. Αύξηση Οικοδομικής Δραστηριότητας



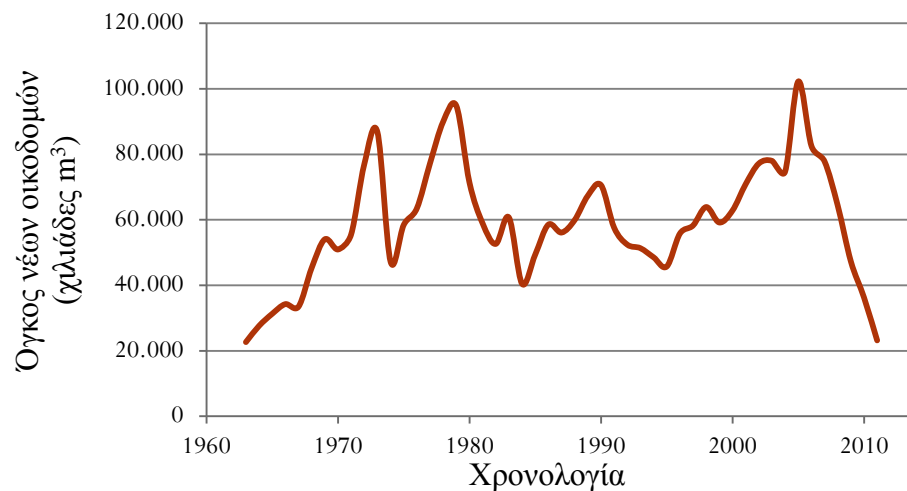
Αύξηση νέων οικοδομών

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, σύνθεση τευχών

<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>

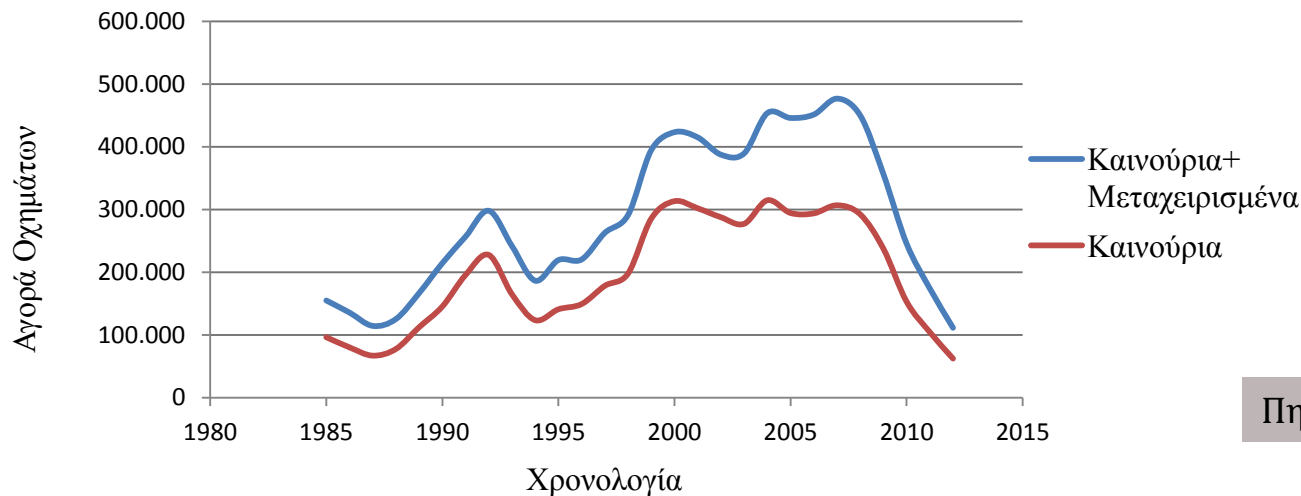
Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, σύνθεση τευχών

Εξέλιξη όγκου νέων οικοδομών



Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, σύνθεση τευχών

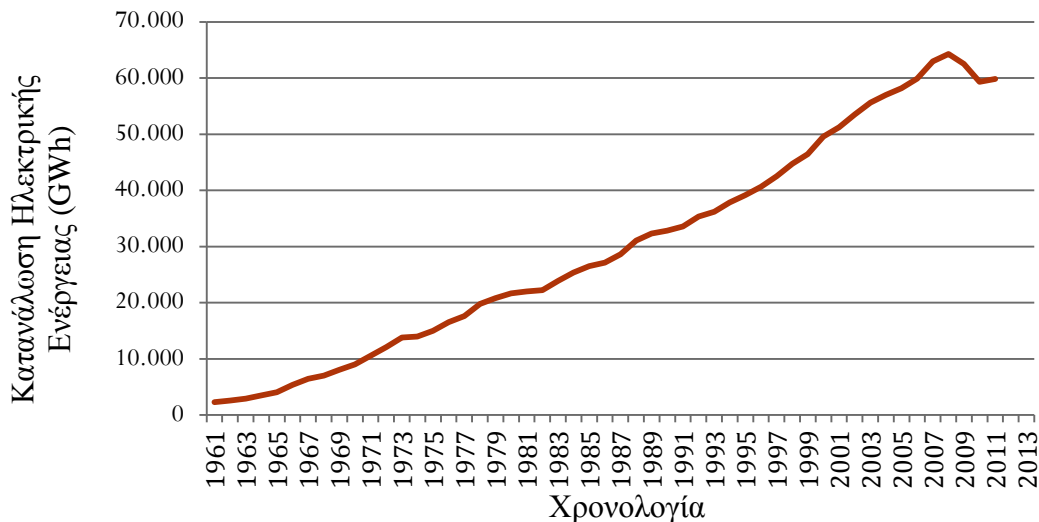
III. Αύξηση Οχημάτων



Εξέλιξη αγοράς αυτοκινήτων, 1983- 2013

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, σύνθεση τευχών

IV. Αύξηση Ενεργειακής Κατανάλωσης

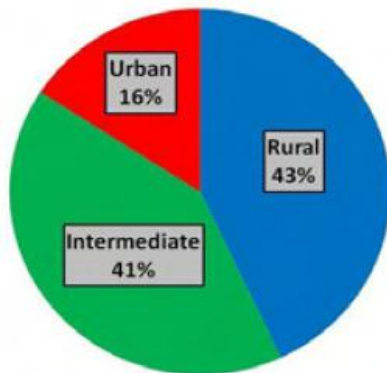


Εξέλιξη ενεργειακής κατανάλωσης, 1961- 2013

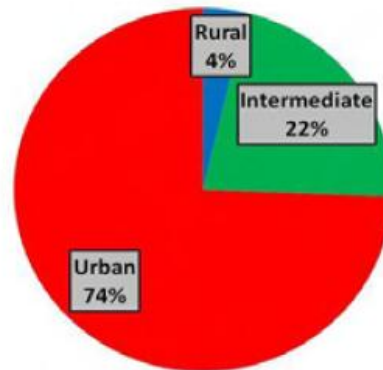
Πηγή:

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

4. Σταθμοί



Stations with less than 30 years of data



Stations with more than 120 years of data

Πηγή: Connolly και Connolly, 2014

Ποσοστά του βαθμού αστικοποίησης για τους σταθμούς του Δικτύου Παγκόσμιας Ιστορικής Κλιματολογίας

- Οι περισσότερες μελέτες καταλήγουν ότι τουλάχιστον ένα τρίτο έως και οι μισοί μετεωρολογικοί σταθμοί παγκοσμίως έχουν υποστεί κάποιο βαθμό αστικοποίησης (Connolly και Connolly, 2014).

Surface Stations Project

(<http://www.surfacestations.org/>)

- Δημιουργήθηκε από τον Καθηγητή Pielke από το Πανεπιστήμιο του Κολοράντο μαζί με τον Antony Watts και άλλους.
- 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"*.

Πέντε επίπεδα αξιοπιστίας των σταθμών (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.
- 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.
- 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.

Ενδεικτικές Θέσεις Σταθμών



Αθήνα- Γκάζι: CRN5



Νάξος: CRN5

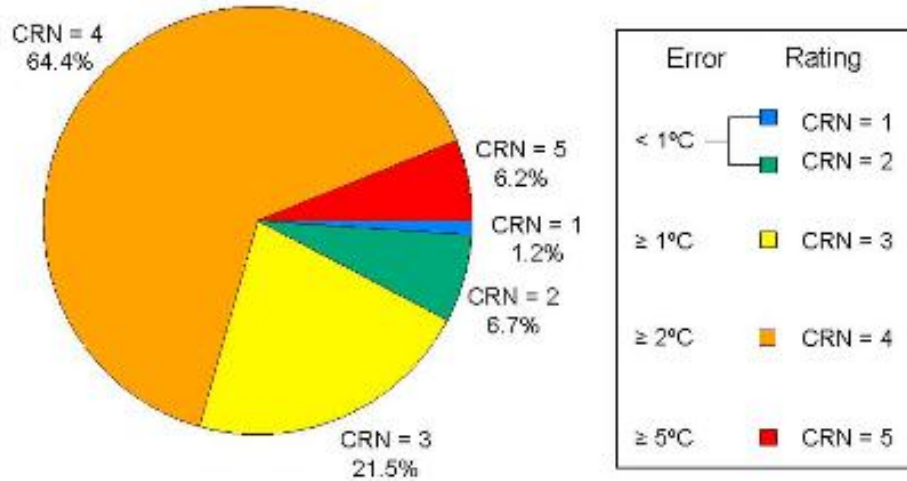


Ζωγράφου: CRN2



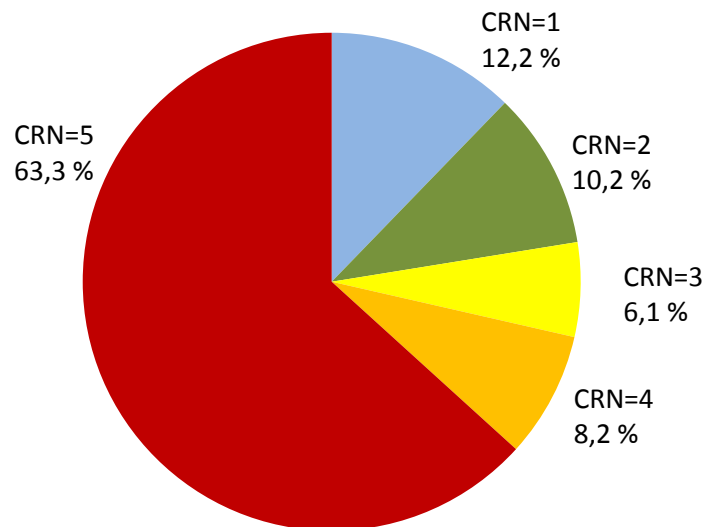
Μεθώνη: CRN1

Αποτελέσματα Κατάταξης



Τα αποτελέσματα της κατάταξης των 1007 από τους 1221 μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου των ΗΠΑ

Πηγή: Fall et al, 2011

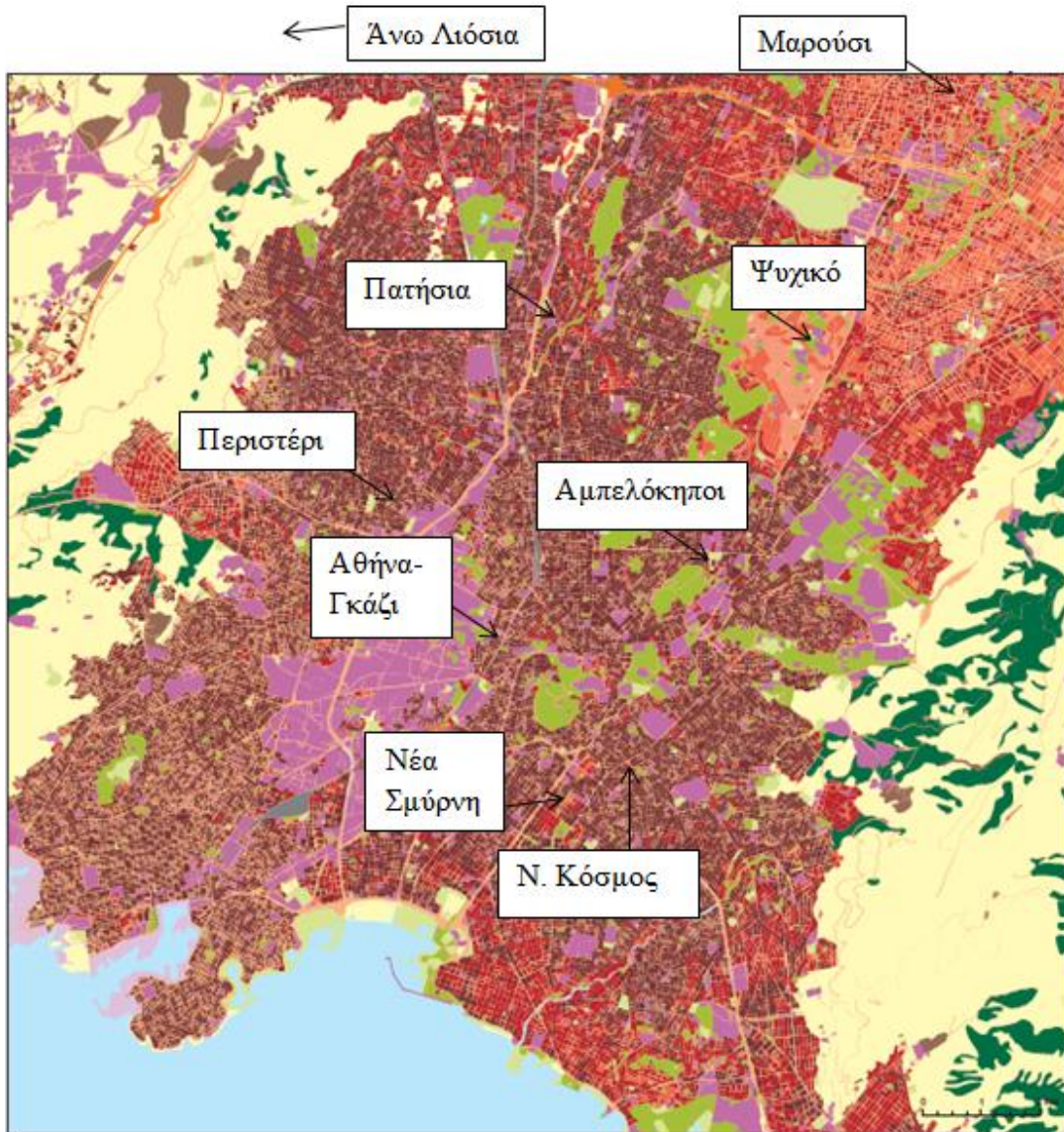


Τα αποτελέσματα της κατάταξης των 49 σταθμών μας

5. Μελέτη της θερμικής αστικής νησίδας 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
	Περιστερί	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

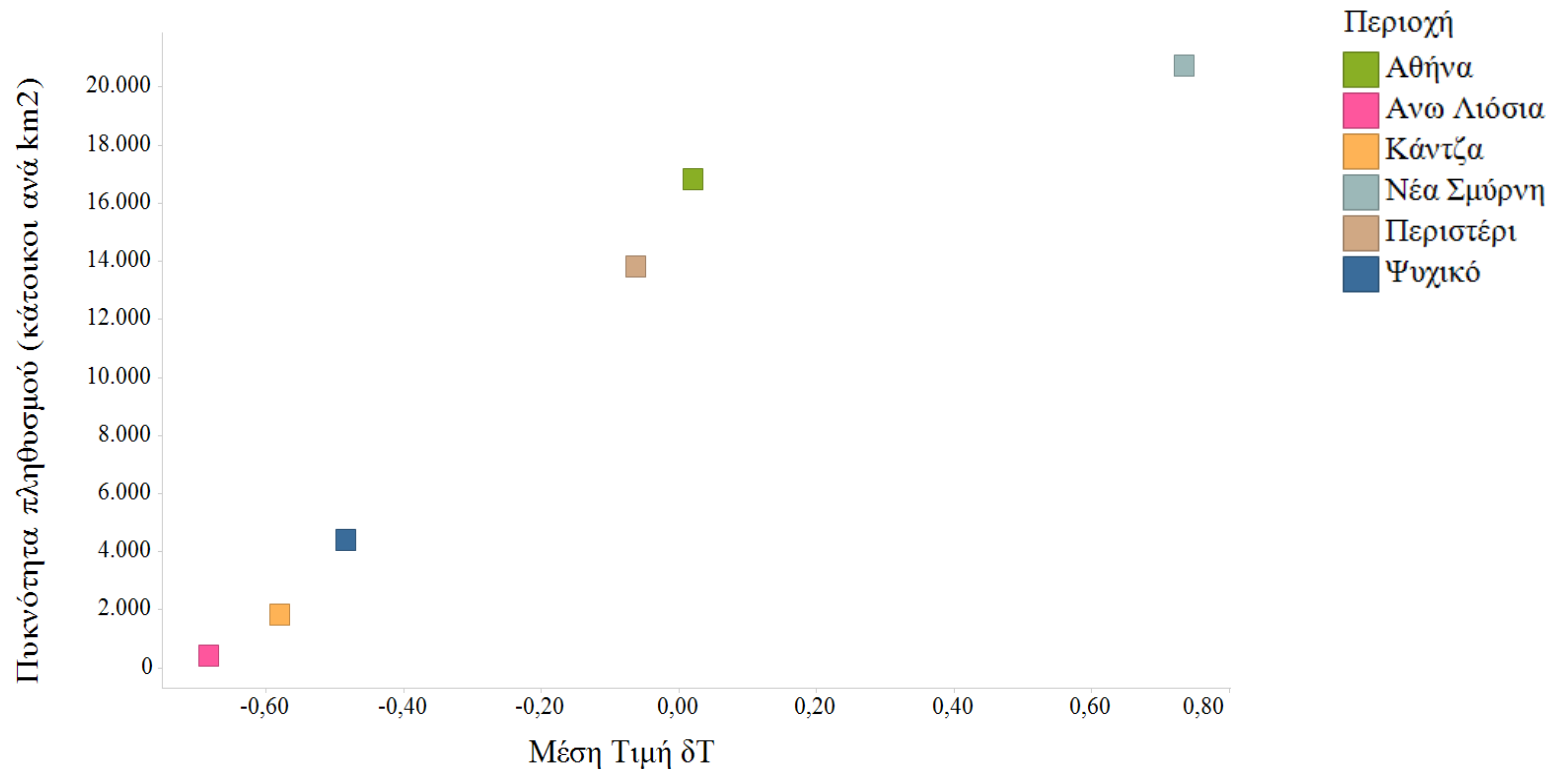
Τοποθεσία σταθμών Αττικής



Τοποθεσία των σταθμών της Αττικής, ανάλογα με την πυκνότητα του αστικού ιστού και τις δραστηριότητες κάθε περιοχής

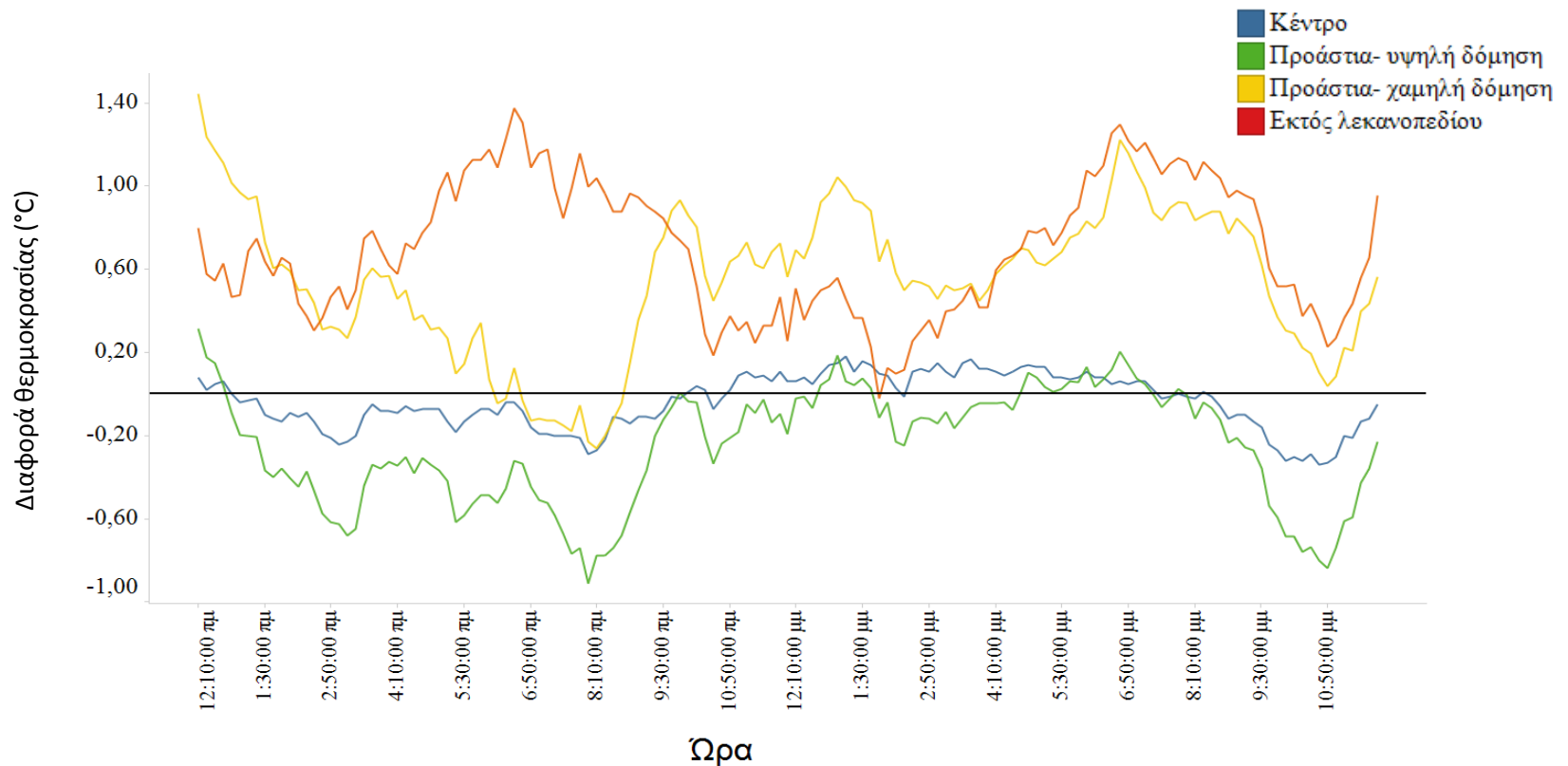


Συσχέτιση απόκλισης θερμοκρασίας με πυκνότητα πληθυσμού στην Αττική



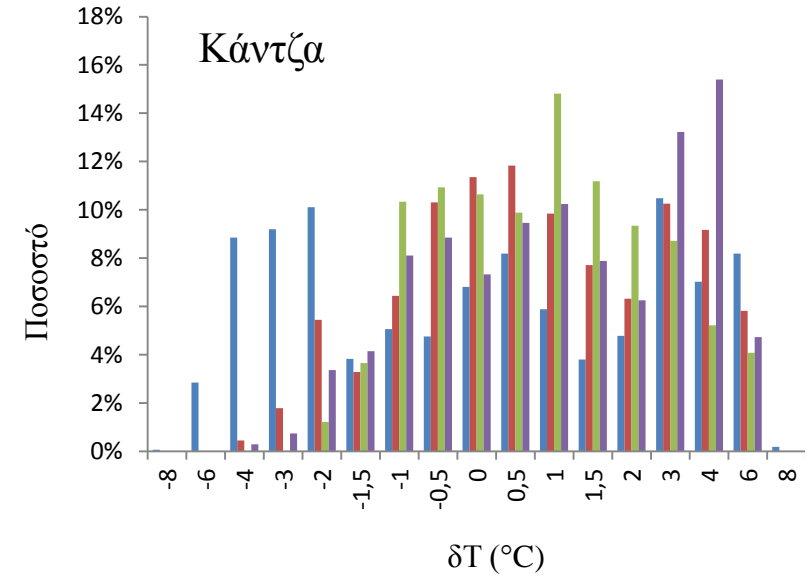
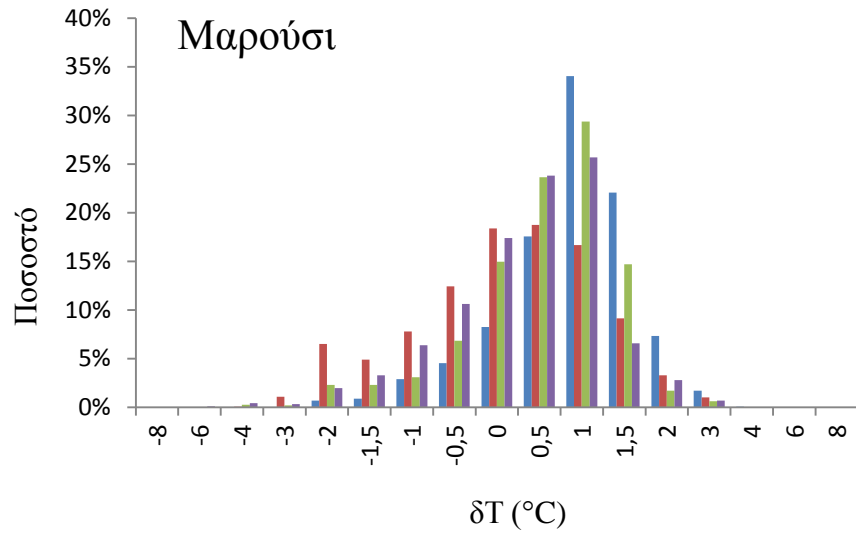
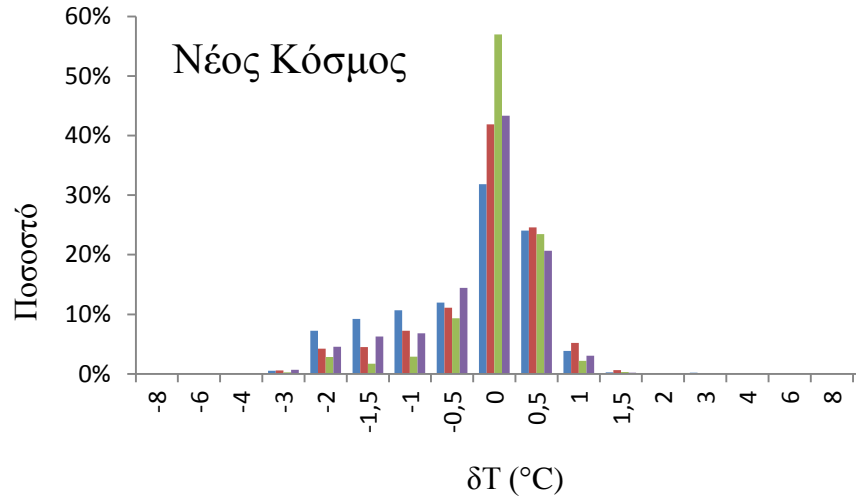
Περιοχές με υψηλή πυκνότητα, έχουν υψηλότερη θερμοκρασία, το οποίο είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Oke και Maxwell, 1975· Connolly και Connolly, 2014, και οι Stathoroulou και Cartalis (2007) για την Αθήνα.

Σε επίπεδο ημέρας (χρονικό βήμα 10 min)



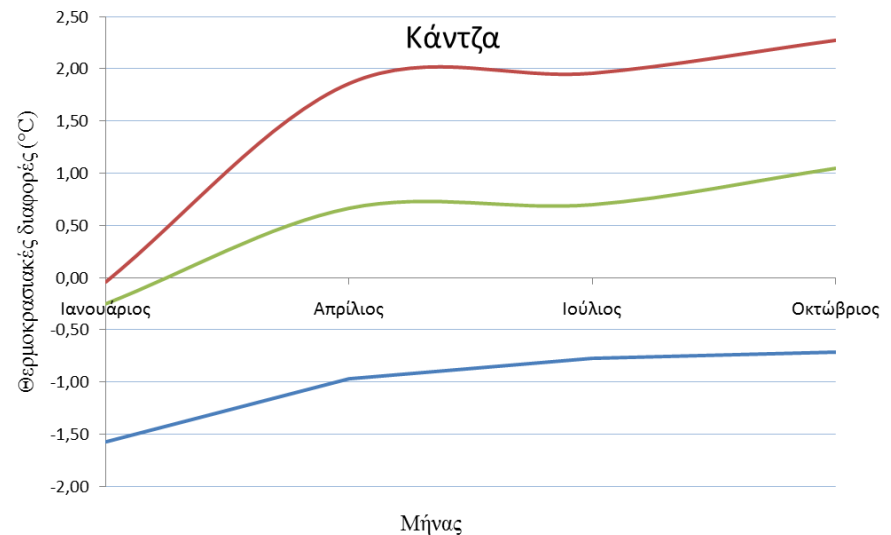
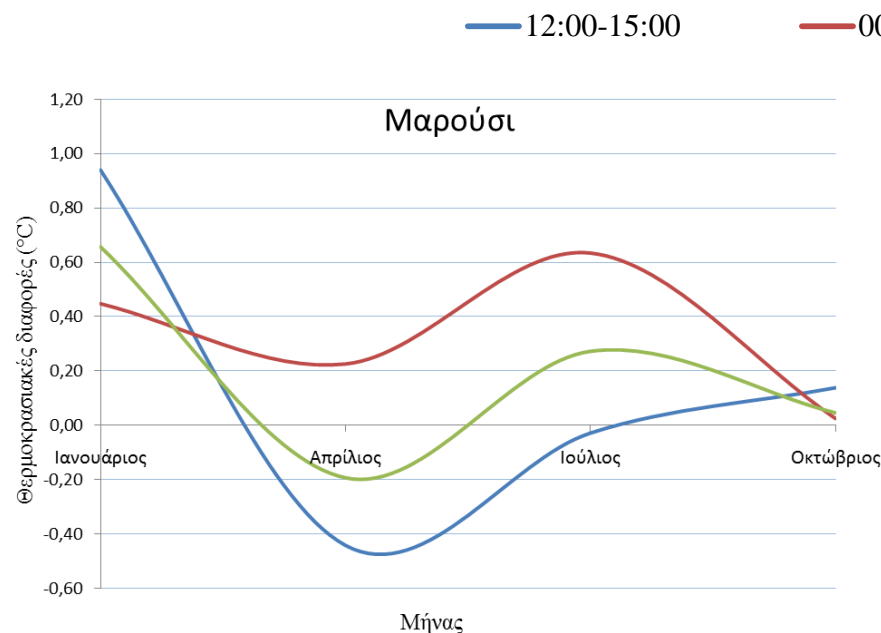
Η περιοχή της Αττικής εμφανίζει το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, όπως έχουν διαπιστώσει όσοι έχουν ερευνήσει τη θερμική νησίδα της Αθήνας (Cartalis et al 2001, Santamouris et al 2001, Livada et al 2002, Mihalakakou et al 2004).

Ιστογράμματα Διαφορών Θερμοκρασίας

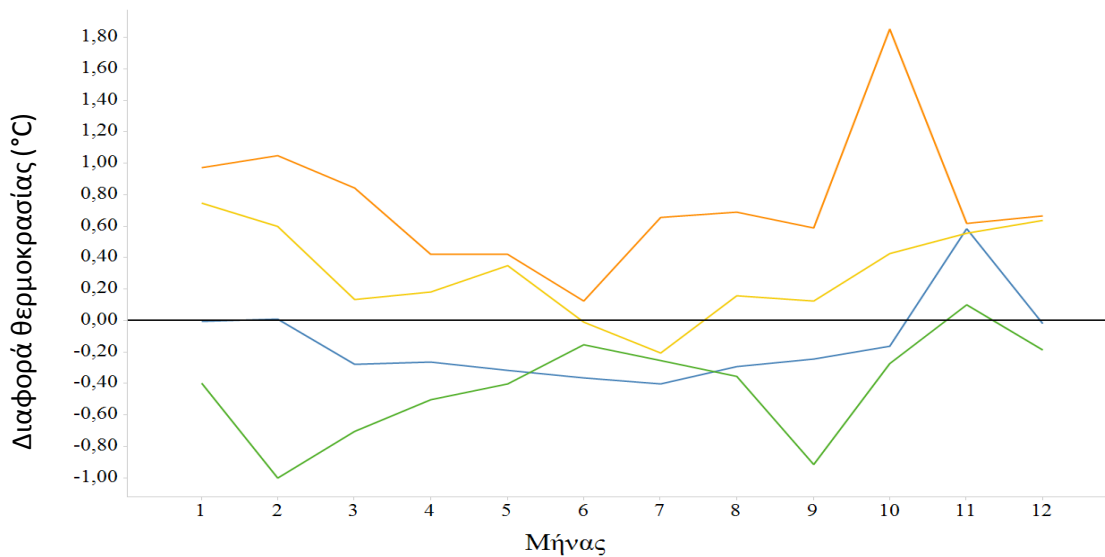


Εξέλιξη έντασης της ΑΘΝ μέσα στη μέρα

- Το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα. Ανάλογα αποτελέσματα έχουν βγάλει και οι Oke (1974), Landsberg (1981), Ichinose et al. (1999), Boonjawat et al. (2000), Kim και Baik (2002).
- «Αρνητική» αστική θερμική νησίδα τις μεσημβρινές ώρες, το οποίο συμφωνεί με τις μελέτες των Klysik και Fortuniak (1999) και Stathopoulou et al. (2009).



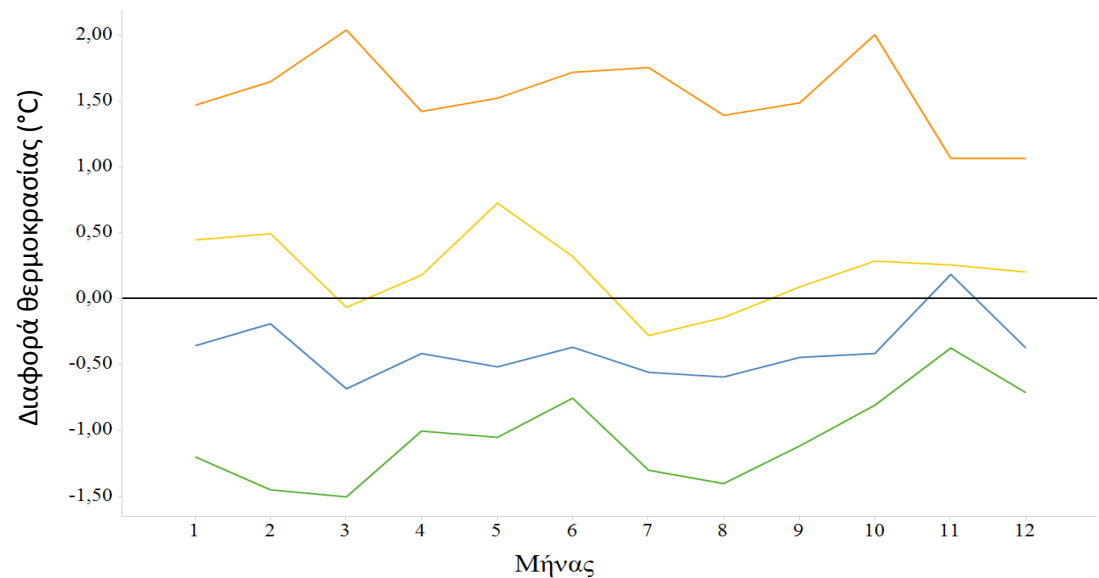
Σε επίπεδο έτους (χρονικό βήμα μήνα)



Διακύμανση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας

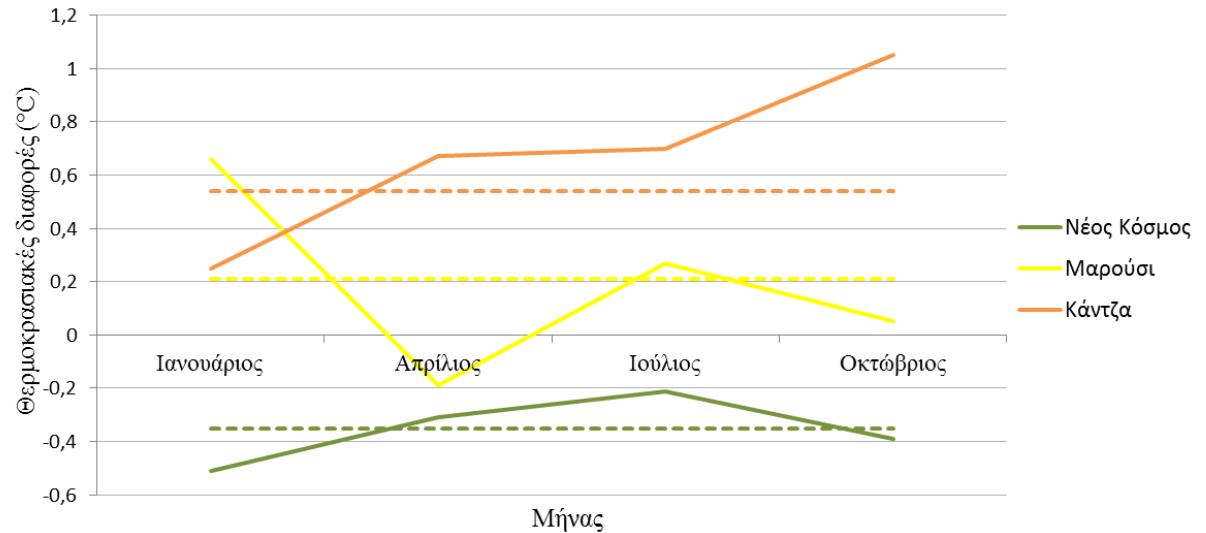
- Κέντρο
- Προάστια- υψηλή
- Προάστια- χαμηλή
- Εκτός λεκανοπεδίου

Διακύμανση της διαφοράς της ελάχιστης θερμοκρασίας

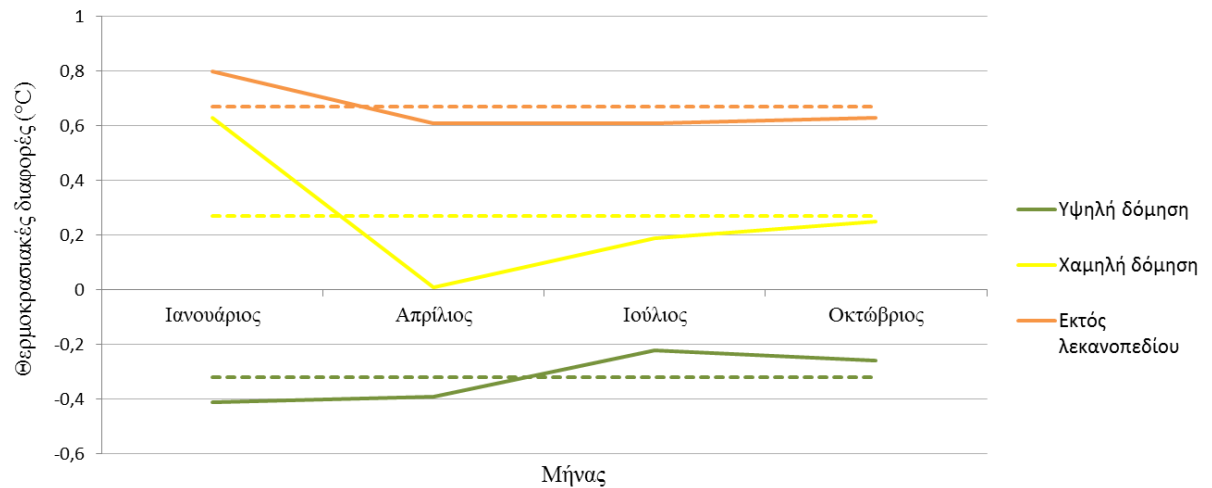


Συνολικό για τα προάστια

Χρονικό βήμα 10 min



Χρονικό βήμα μήνα

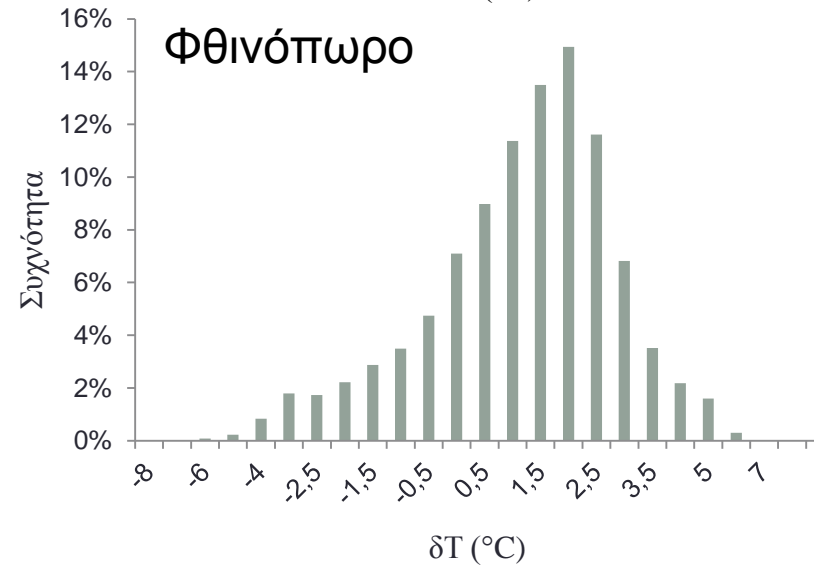
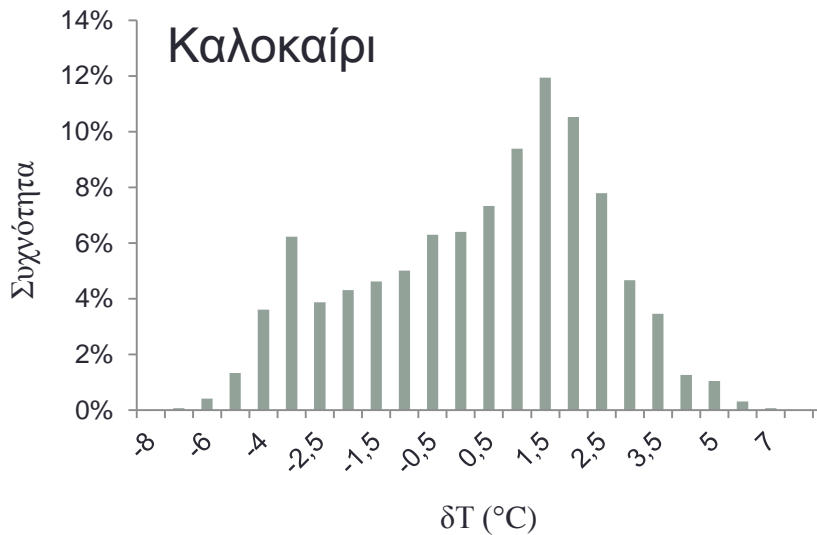
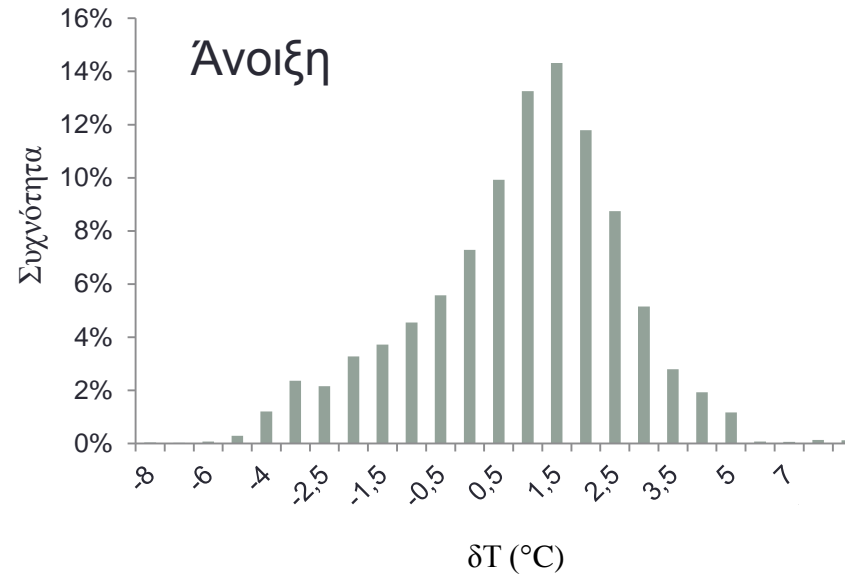
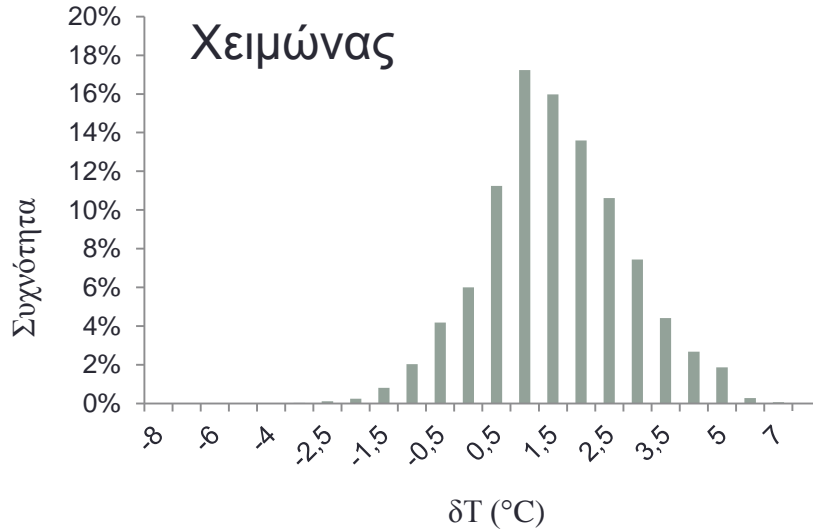


6. Μελέτη της θερμικής αστικής νησίδας στην υπόλοιπη Ελλάδα

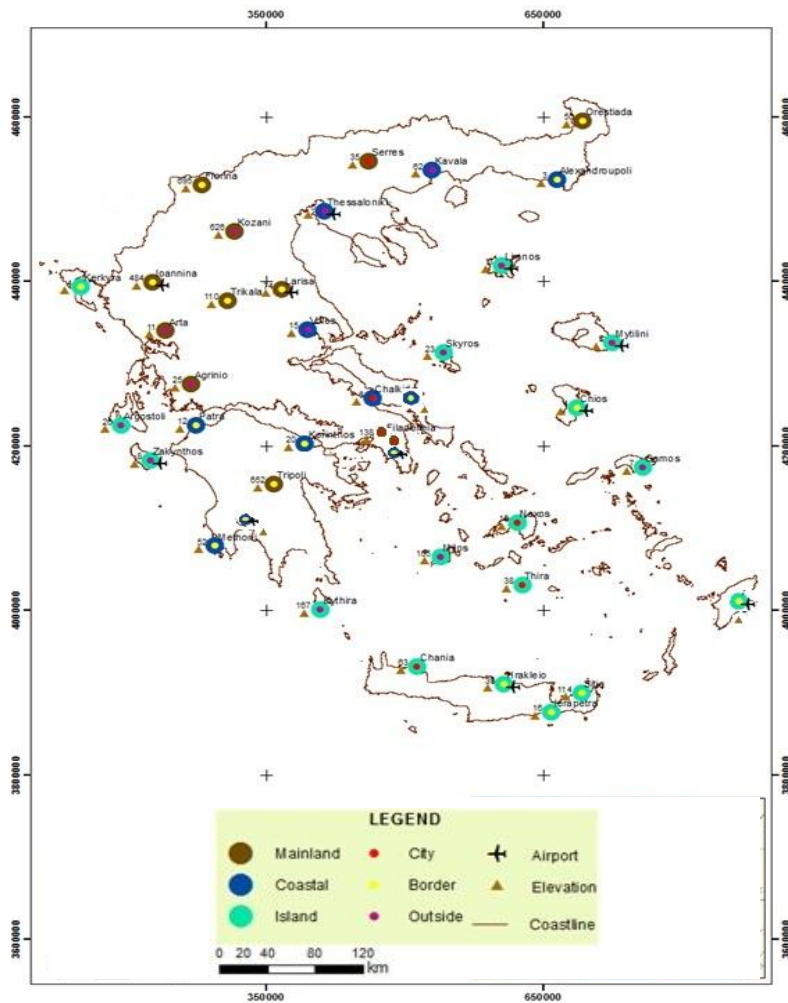
- Για τις πόλεις της Θεσσαλονίκης, Πάτρας, Βόλου και Ηρακλείου, που αποτελούν τις σημαντικότερες πόλεις με λιμάνια στην Ελλάδα οι υψηλότερες θερμοκρασίες ανιχνεύονται κατά μήκος της παράκτιας ζώνης (Stathoroulou et al., 2004)

Πόλη	μέση απόκλιση δT (°C)				Μέση θερμοκρασία T (°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

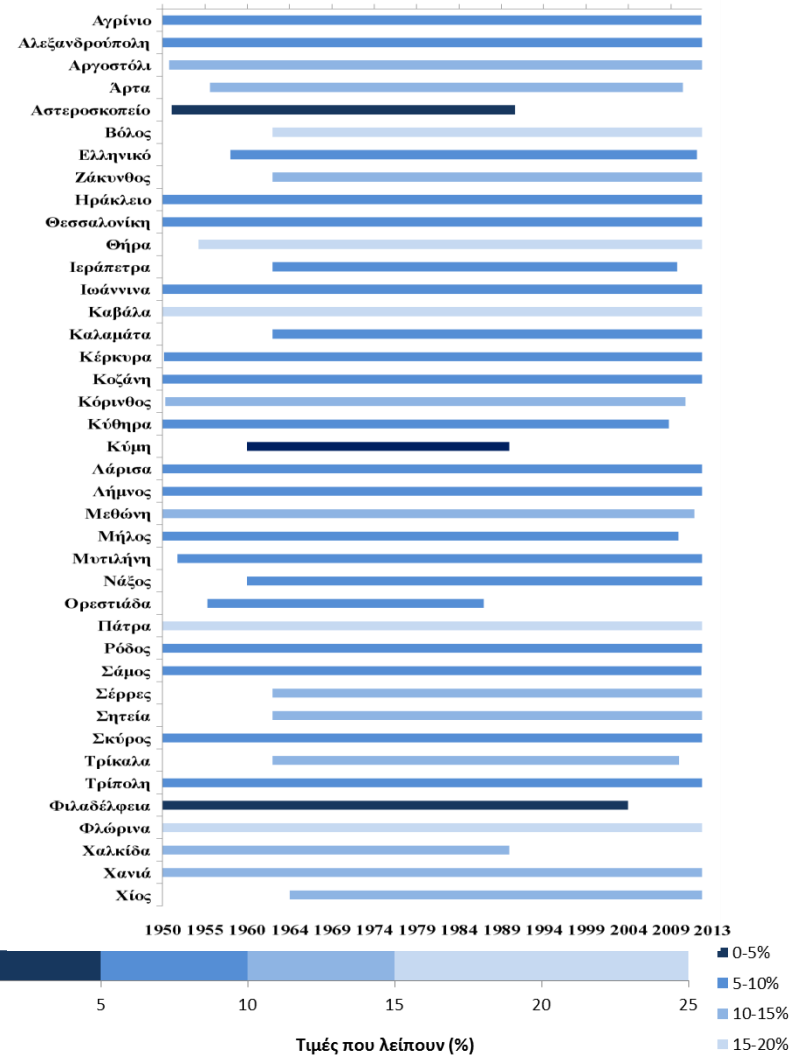
Καλαμάτα



7. Μεταβλητότητα Θερμοκρασίας στην Ελλάδα

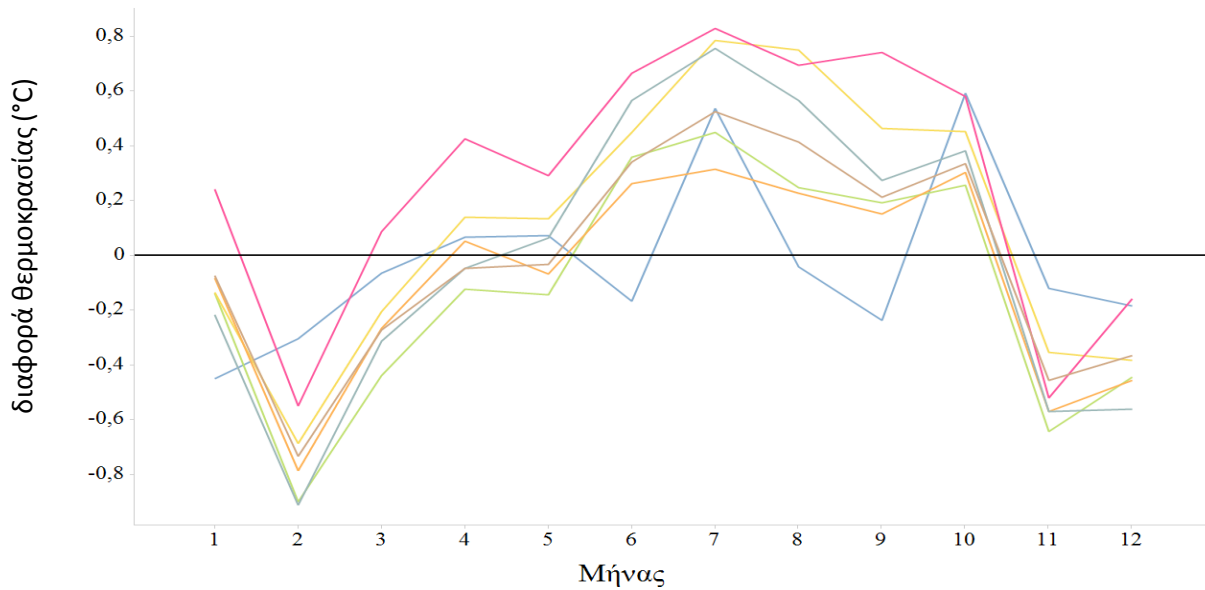


Δίκτυο σταθμών



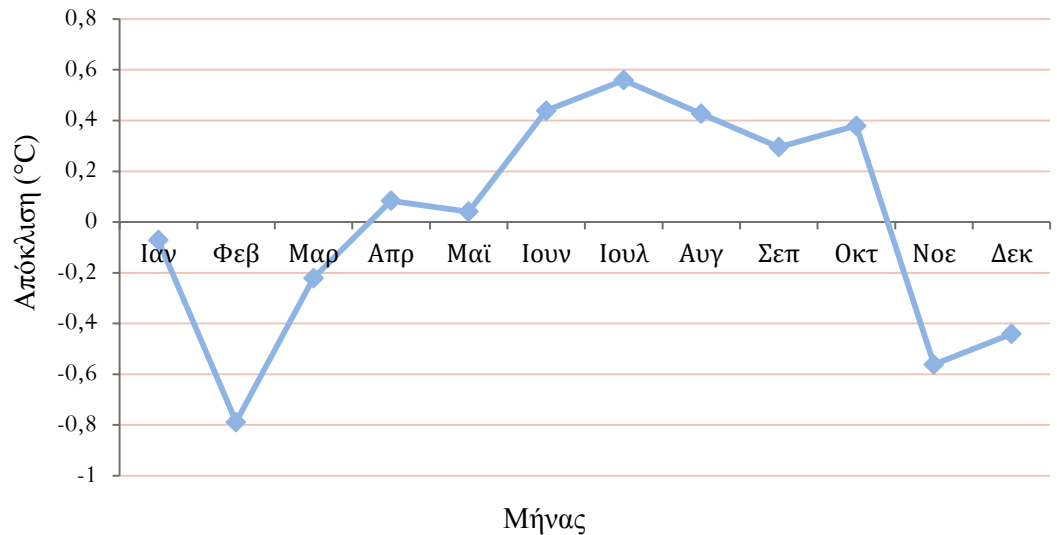
Χρονικές περιόδους σταθμών

Μεταβολή στο χρόνο

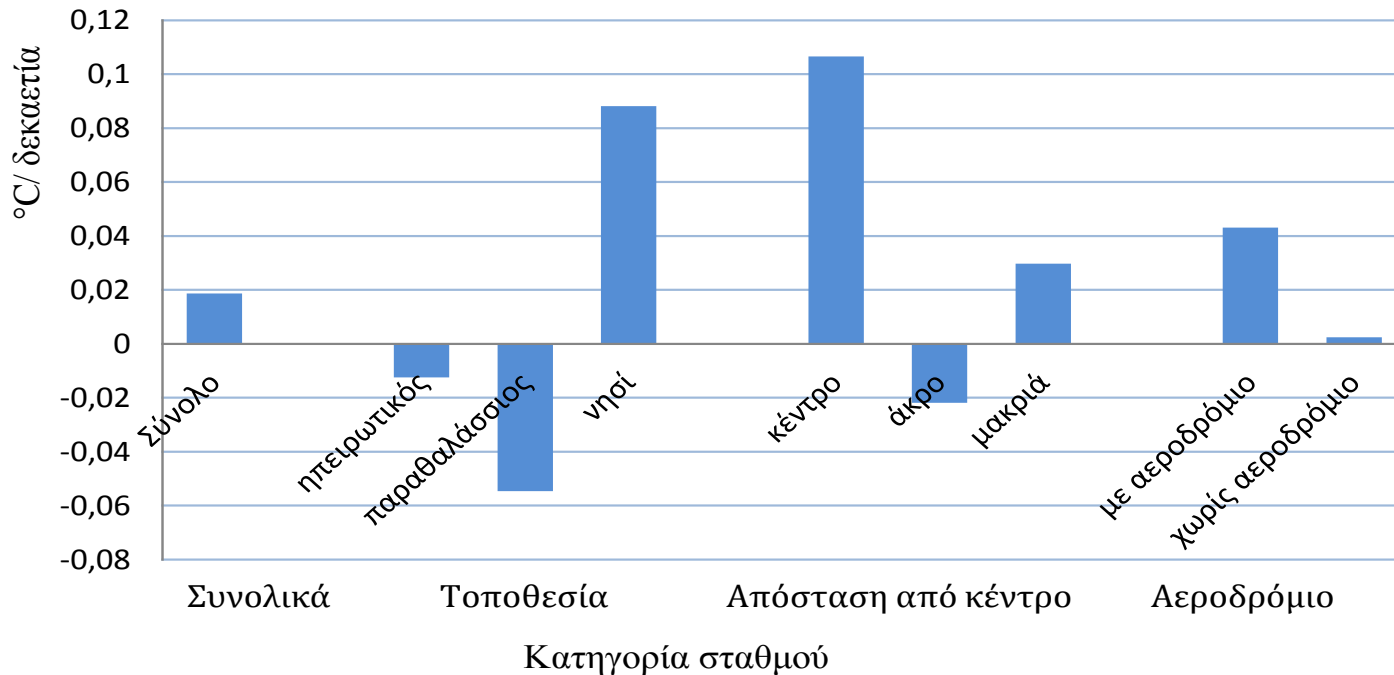


Υπάρχει μία ελαφρά ψύξη το χειμώνα και μία ήπια αύξηση στις θερινές θερμοκρασίες, το οποίο συμφωνεί με τα ευρήματα των Marougianni et al, 2012 και Bountas et al, 2013. Ωστόσο, καμία μεταβολή δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική, όπως πρότειναν επίσης οι Feidas et al, 2004.

Συνολικά για την Ελλάδα



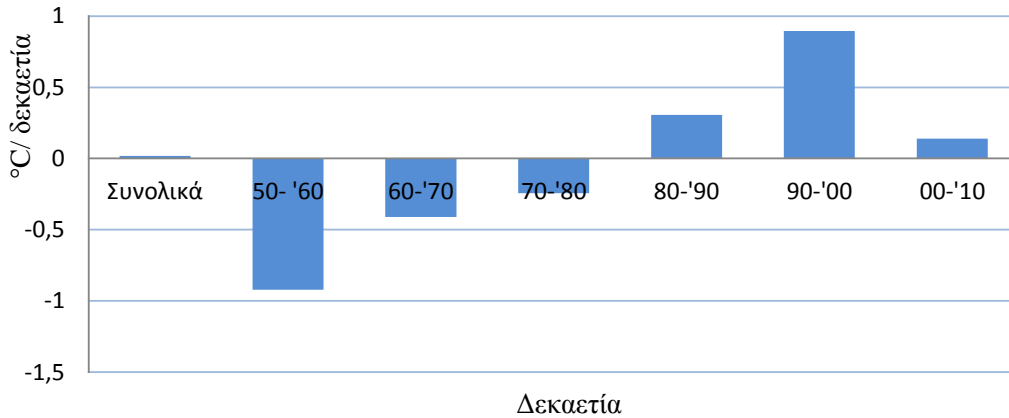
Κλίσεις θερμοκρασίας (1)



Κλίσεις δT , ανάλογα με κάθε κατηγορία σταθμού

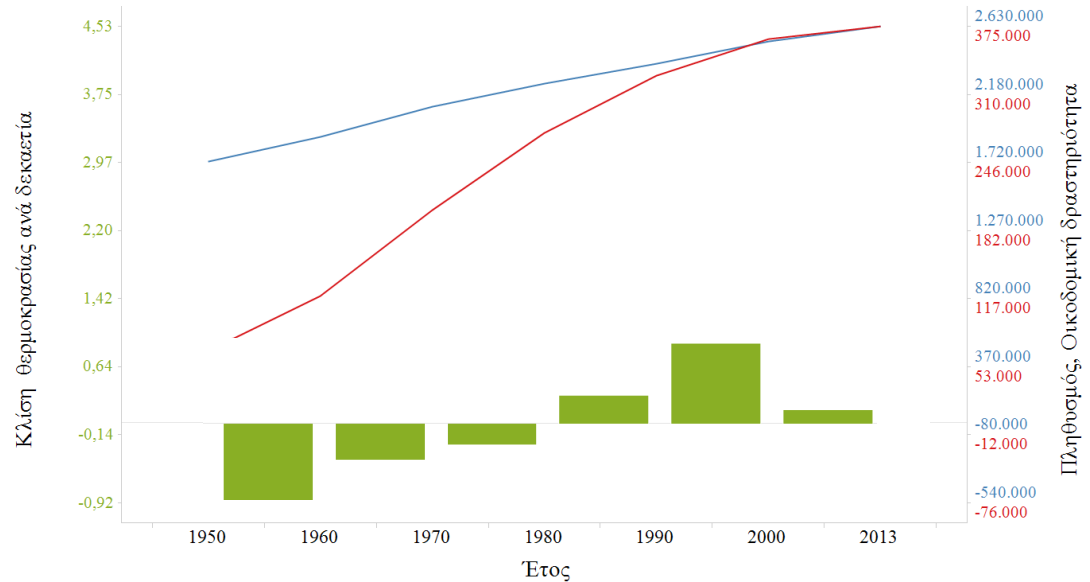
Θετικές κλίσεις παρουσιάζουν οι σταθμοί στο κέντρο των πόλεων, το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη ΑΘΝ, καθώς επίσης και οι σταθμοί στα αεροδρόμια, το οποίο συμπίπτει με τα αποτελέσματα των Kukla et al. (1986) και Duchon (1986).

Κλίσεις θερμοκρασίας (2)



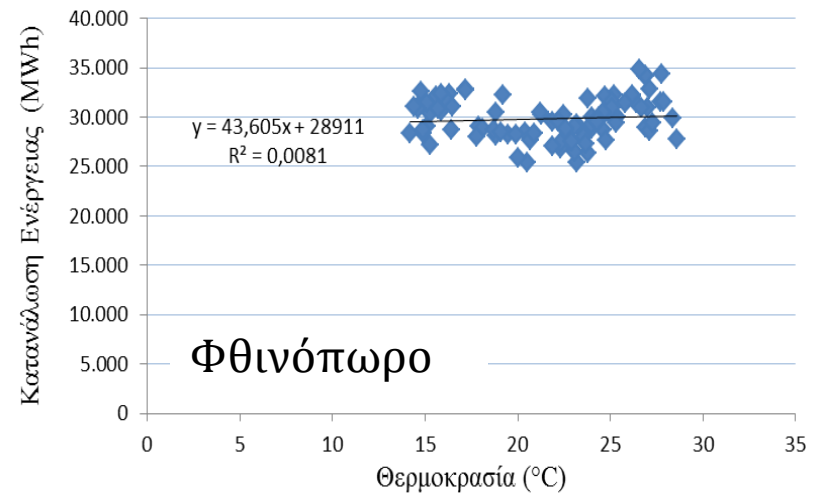
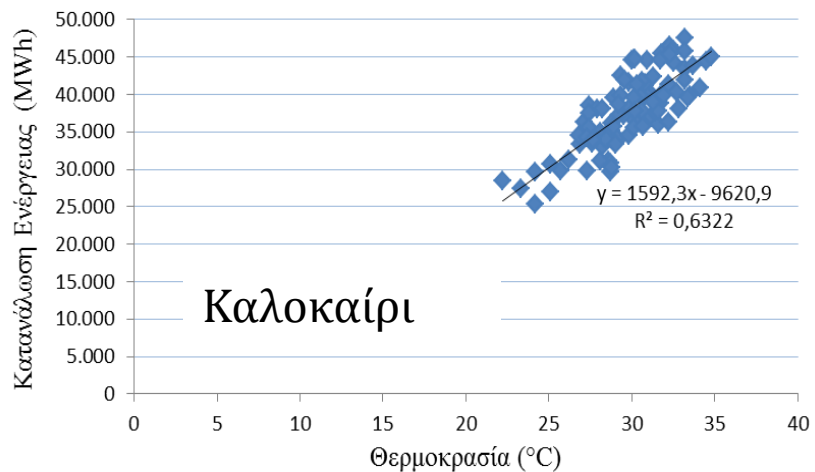
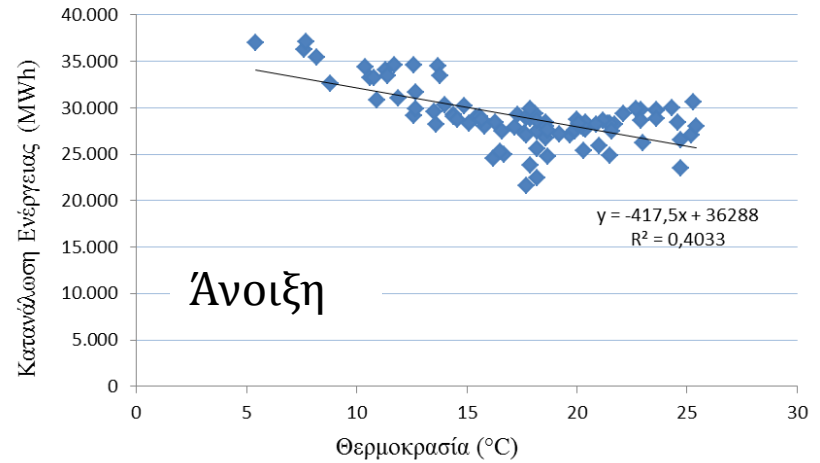
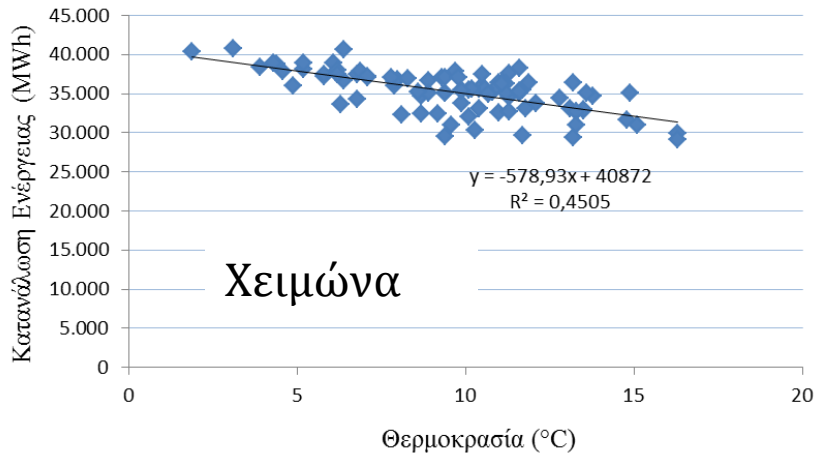
Συνολικά για όλους τους σταθμούς

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

A) Στην ενεργειακή κατανάλωση



A) Επίδραση στην 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			

B) Επίδραση στην Εξατμισοδιαπνοή

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

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

Πόλη	T με ΑΘΝ (°C)	T χωρίς ΑΘΝ (°C)	α	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 (1)

- Η επίδραση της θερμικής νησίδας είναι πιο αισθητή τους χειμερινούς μήνες.
- Πιο εμφανής στις ελάχιστες θερμοκρασίες από ότι στις μέγιστες, το οποίο συμβαίνει επειδή το φαινόμενο είναι πιο εμφανές το βράδυ από ότι τη μέρα.
- Όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι μία περιοχή και όσο περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες προσελκύει, τόσο περισσότερο αυξάνεται και η θερμοκρασία της.
- Εμφανής η παρουσία ΑΣΘ στον ελληνικό χώρο.

Περιοχή	Προάστια	Κλίμακα	μέση απόκλιση ΔT ($^{\circ}\text{C}$)				
			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		-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

- Στο κέντρο της πόλης παρατηρούνται υψηλότερες τιμές με μικρότερη τυπική απόκλιση.

9. Συμπεράσματα (2)

- Ύπαρξη «αρνητικής» αστικής θερμικής νησίδας τις μεσημβρινές ώρες, όπου οι περιοχές στο κέντρο της Αθήνας είχαν χαμηλότερη θερμοκρασία από τις γύρω λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές.
- Στη θερμοκρασία σε όλη την Ελλάδα, υπάρχουν ενδείξεις της επιρροής της αστικής θερμικής νησίδας καθώς οι σταθμοί στα κέντρα των πόλεων παρουσιάζουν κλίσεις $0,1^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία. Θετικές κλίσεις παρουσιάζουν και οι σταθμοί στα αεροδρόμια.
- Ελαφρά ψύξη το χειμώνα και μία ήπια αύξηση στις θερινές θερμοκρασίες, ωστόσο καμία μεταβολή δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική.
- 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 (παραμένει θετικές τιμές). Ακολουθεί, δηλαδή, την αύξηση στον πληθυσμό και στην οικοδομική δραστηριότητα.
- Τέλος, η ύπαρξη αστικής θερμικής νησίδας προκαλεί μείωση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης και αμελητέα αύξηση της εξατμισοδιαπνοής τους θερινούς μήνες.

Βιβλιογραφία (1)

- 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
- Πετράκης Μ., Κλιματική αλλαγή και αστικό περιβάλλον, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2007
- Allaby, M., Encyclopedia of Weather and Climate, *Facts on File Science Library*, Revised Edition, 2007
- 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/](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.
- 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
- Daniel, C.E.J., Krishnamurty, K., Urban temperature fields at Pune and Bombay. *Indian Journal of Meteorology and Geophysics* 24, 407- 412, 1973.
- 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.
- 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.
- Ichinose, T., Shimodozono, K., Hanaki, K., Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo.. *Atmospheric Environment* 33, 3897–3909, 1999.
- Ichinose, T., Shimodozono, K., Hanaki, K., Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo.. *Atmospheric Environment* 33, 3897–3909, 1999.
- 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.

Βιβλιογραφία (2)

- Katsoulis, B. D., και G. A. Theoharatos. 'Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece.' *Journal of Applied Meteorology* 24: 1296–1302, 1985.
- Kim, Y., και J. Baik. 'Maximum Urban Heat Island Intensity in Seoul'. *Journal of Applied Meteorology* 41, τχ. 6: 651–659, Ιούνιος 2002.
- Klysik, 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.
- Kukla, G., J. Gavin, and T. R. Karl., Urban warming, *J. Clim. Appl. Meteor.* 25, pp. 1265-1270, 1986
- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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, 1974.
- 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.
- 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

Βιβλιογραφία (3)

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Watts, A., Is the U.S. Surface Temperature Record Reliable?, *Chicago, IL: The Heartland Institute*, 2009.
- 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.
- 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
- 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.
- <http://www.gapminder.org/data/>

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας

