



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Στρατηγικές ανθεκτικότητας απέναντι στο φαινόμενο
της αστικής θερμικής νησίδας: προκλήσεις και
προτάσεις για την περίπτωση της Αθήνας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Νικόλαου Πάτρα

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Στρατηγικές ανθεκτικότητας απέναντι στο φαινόμενο
της αστικής θερμικής νησίδας: προκλήσεις και
προτάσεις για την περίπτωση της Αθήνας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Νικόλαου Πάτρα

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τη 19^η Οκτωβρίου 2023.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

.....

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΤΡΑΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2023 – All rights reserved

Copyright © Πάτρας Νικόλαος ,2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επισκόπηση των στρατηγικών της ανθεκτικότητας των πόλεων απέναντι στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Ειδικότερα, η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια, όπου το πρώτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη σχέση της κλιματικής κρίσης με τις πόλεις. Ειδικότερα, προσδιορίζεται εννοιολογικά η κλιματική κρίση, ενώ παρουσιάζονται οι στρατηγικές αντιμετώπισής της. Ξεχωριστή αναφορά γίνεται στις πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης στις πόλεις και στον αστικό ιστό. Περαιτέρω, το κεφάλαιο δύο επικεντρώνεται στην αστική θερμική νησίδα, όπου προσδιορίζεται το φαινόμενο και λαμβάνει χώρα ιστορική αναδρομή σε αυτό. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται οι πλέον σημαντικοί τύποι της αστικής θερμικής νησίδας, οι μέθοδοι προσδιορισμού της Επιφανειακής Αστικής Θερμικής Νησίδας καθώς και αναλύεται η ένταση της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Επιπλέον, παρουσιάζεται η έκταση του φαινομένου σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και στην Ευρώπη. Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στους παράγοντες που συνδέονται με την εμφάνιση της αστικής θερμικής νησίδας, καθώς και στις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις που επάγει. Στο κεφάλαιο τρία, γίνεται προσδιορισμός των περιοχών όπου παρατηρείται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας και αναλύεται το πρόβλημα αυτό για την Ελλάδα και την Αθήνα. Στο κεφάλαιο 4 αναδεικνύονται οι προτάσεις αντιμετώπισης της θερμικής νησίδας, όπου δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη χώρων πρασίνου, καθώς επίσης και στη δημιουργία πράσινων ορόφων σε κτίρια. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα «δροσερά» πεζοδρόμια, στη χρήση υλικών που μετριάζουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, όπως επίσης και στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων. Τέλος, παρουσιάζονται σχετικές πρακτικές πολεοδομικού σχεδιασμού και ανάπτυξης και παρατίθενται κάποιες εμπειρικές και αριθμητικές μελέτες. Εν κατακλείδι, το κεφάλαιο πέντε παρουσιάζει συμπεράσματα και προτάσεις.

Λέξεις Κλειδιά: Αστική Θερμική Νησίδα, Πόλεις, Αστικός Σχεδιασμός, Βιωσιμότητα, Κλιματική Πολιτική

Abstract

The aim of this thesis is to review the strategies of urban resilience strategies against the urban heat island phenomenon. In particular, the thesis consists of five chapters, where the first chapter focuses on the relationship between the climate crisis and cities. In particular, the climate crisis is conceptually defined and strategies for dealing with it are presented. A specific reference is made to the policies for dealing with the climate crisis in cities and the urban fabric. Furthermore, chapter two focuses on the urban heat island, where the phenomenon is defined and a historical review of the phenomenon is provided. Subsequently, the most important types of urban heat island, the methods for determining the Surface Urban Heat Island and the intensity of the Urban Heat Island are presented and analysed. In addition, the extent of the phenomenon at the global level and in Europe is presented. Furthermore, this chapter discusses the factors associated with the occurrence of the urban heat island and the environmental and economic impacts it causes. Chapter three identifies the areas where the phenomenon of the Urban Heat Island is observed and analyses this problem for Greece and Athens. In chapter four, the proposals for dealing with the heat island are highlighted, where emphasis is placed on the development of green spaces, as well as the creation of green roofs in buildings. Particular reference is made to 'cool' pavements, the use of materials that mitigate the urban heat island effect, as well as to improving the energy efficiency of buildings. Finally, relevant urban planning and development practices are presented and some empirical and numerical studies are presented. In conclusion, chapter five presents conclusions and recommendations.

Keywords: Urban Heat Island, Cities, Urban Planning, Sustainability, Climate Policy

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023 υπό την επίβλεψη του κ. Δημήτρη Ασκούνη, Καθηγητή Ε.Μ.Π. στον οποίο και οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της.

Επίσης, εκφράζω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τον κ. Γιώργο Τραχανά, για τη πολύτιμη καθοδήγηση, τις επιδοκιμαστικές παρατηρήσεις και την εμπειρογνωμοσύνη που προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συνεχή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

1	Κλιματική Κρίση και Πόλεις.....	1
1.1	Κλιματική Κρίση	1
1.2	Στρατηγικές Αντιμετώπισης της Κλιματικής Κρίσης	3
1.3	Κλιματική Κρίση και Πόλεις	4
1.4	Πολιτικές Αντιμετώπισης της Κλιματικής Κρίσης στις Πόλεις και το Παράδειγμα της Αθήνας.....	6
2	Αστική Θερμική Νησίδα.....	8
2.1	Εισαγωγή.....	8
2.2	Ορισμός του Φαινομένου.....	9
2.3	Ιστορική Αναδρομή	10
2.4	Τύποι Αστικής Θερμικής Νησίδας	10
2.5	Μέθοδοι προσδιορισμού της Επιφανειακής Αστικής Θερμικής Νησίδας.....	12
2.6	Ένταση αστικής θερμικής νησίδας (UHI)	14
2.7	Επιφανειακή Αστική Θερμική Νησίδα σε 419 Παγκόσμιες Μεγάλες Πόλεις.....	17
2.8	Παράγοντες που συνδέονται με την εμφάνιση του Αστικής Θερμικής Νησίδας	23
2.9	Περιβαλλοντικές και Οικονομικές Επιπτώσεις της Αστικής Θερμικής Νησίδας.....	30
3	Προσδιορισμός των περιοχών όπου παρατηρείται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας.....	32
3.1	Εισαγωγή.....	32
3.2	Το πρόβλημα της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Ελλάδα	33
3.3	Το πρόβλημα της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Αθήνα.....	39
4	Προτάσεις Αντιμετώπισης της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Αθήνα	41
4.1	Εισαγωγή.....	41
4.2	Ανάπτυξη Χώρων Πράσινου	41
4.3	Δημιουργία Πράσινων Ορόφων σε Κτήρια	45
4.4	‘Δροσερά’ Πεζοδρόμια	49
4.5	Χρήση Ψυχρών Υλικών.....	52

4.6	Πολεοδομικός Σχεδιασμός και Ανάπτυξη	61
4.7	Εμπειρικές Μελέτες	62
4.8	Αριθμητικές μελέτες.....	64
5	Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	66
6	Βιβλιογραφία	69

1

Κλιματική Κρίση και Πόλεις

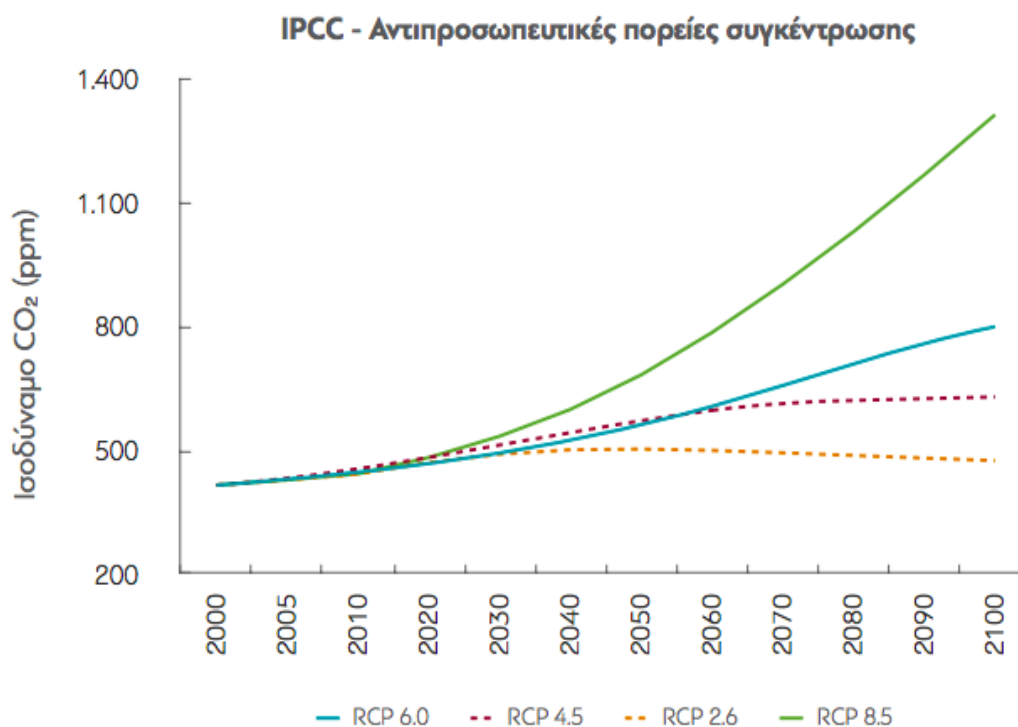
1.1 Κλιματική Κρίση

Εδώ και αρκετά χρόνια, σε ολόκληρο τον πλανήτη διαπιστώνεται η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως είναι τα οξεία πλημμυρικά φαινόμενα, οι μεγάλες και παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας κτλ. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών και του αέρα, με την αύξηση αυτή να είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη (Καρτάλης κ.α.,2021). Η αλλαγή αυτή του κλίματος επιτείνεται από την καύση των δασών, όπως επίσης και από την απώλεια της βιοποικιλότητας, ενώ κρίσιμη είναι και η διαρκής επιβάρυνση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαίο να υπάρξει μετριασμός της κλιματικής κρίσης και για αυτό λαμβάνονται αντίστοιχες πρωτοβουλίες σε εθνικό, ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Από την άλλη, η λήψη των μέτρων αυτών, συνδέεται και με το κόστος που υπάρχει από τη μη δράση, το οποίο αυξάνεται διαρκώς, αφενός σε περιβαλλοντικούς, αφετέρου δε, σε οικονομικούς και κοινωνικούς όρους (Καθρέπτης & Κωνσταντινίδης,2022).

Κατά τις εργασίες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) δημιουργήθηκαν σενάρια, τα οποία εστιάζουν στην επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας στο κλιματικό σύστημα (Καρτάλης et.al., 2021). Τα σενάρια αυτά, παρουσιάζονται στην Εικόνα 1, όπου

αποτυπώνονται οι αντιπροσωπευτικές πορείες συγκέντρωσης ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (ppm).

Εικόνα 1: Αντιπροσωπευτικές πορείες συγκέντρωσης ισοδύναμου CO₂ (ppm) (Πηγή: Καρτάλης κ.α., 2021)



Από το παραπάνω διάγραμμα, διαπιστώνονται τέσσερα σενάρια, όπου σύμφωνα με το σενάριο πολύ χαμηλών εκπομπών RCP 2.6, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), στις αρχές του 21^{ου} αιώνα διατηρούνται σταθερές και στη συνέχεια μειώνονται μέχρι να προσεγγίσουν τα αρνητικά επίπεδα. Προκειμένου να μπορέσει να επιτευχθεί το σενάριο αυτό, θα πρέπει να υπάρξει μεγάλη και συνάμα απότομη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων για βιοκαύσιμα, καθώς επίσης και μετριασμός των εκπομπών μεθανίου, περίπου κατά 40%. Όσον αφορά το σενάριο χαμηλών ή ήπιων εκπομπών RCP 4.5., λαμβάνοντας υπόψη αυτό, υπάρχει περιορισμένη αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, έως και τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, με τις εκπομπές αυτές εν συνεχεία να μειώνονται. Ωστόσο, για να μπορέσει να επιτευχθεί το εν λόγω σενάριο, θα πρέπει να μετριασθεί η κατανάλωση ενέργειας, ενώ θα πρέπει επίσης να γίνει αναδάσωση μεγάλης κλίμακας. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να μειωθεί το μέγεθος της καλλιεργήσιμης γης, εξαιτίας της αύξησης της απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί, ενώ θα πρέπει οι εκπομπές μεθανίου να διατηρηθούν σε σταθερά επίπεδα. Στο σενάριο RCP 8.5, υπάρχει πρόβλεψη ότι

οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, το 2100 θα βρίσκονται σε επίπεδα που είναι τρεις φορές υψηλότερα, σε σχέση με τα σημερινά, ενώ αντίστοιχα, η κατανάλωση ενέργειας θα είναι αυξημένη. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι σύμφωνα με το σενάριο αυτό, αναμένεται να υπάρξει περιορισμένη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα (Καρτάλης κ.α.,2021).

1.2 Στρατηγικές Αντιμετώπισης της Κλιματικής Κρίσης

Συνεκτιμώντας την παγκόσμια διάσταση του φαινομένου της κλιματικής κρίσης, καθίσταται αναγκαίο να υπάρξει συνεργασία μεταξύ διεθνών φορέων και κρατών, έτσι ώστε να μπορέσει να αντιμετωπιστεί η εν λόγω κατάσταση, καθώς επίσης και οι συνέπειες που διαμορφώνονται εξαιτίας αυτής. Σημειώσιμη πρωτοβουλία για τον μετριασμό και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, είναι η Συμφωνία των Παρισίων, η εφαρμογή της οποίας αποφασίστηκε το 2015. Σύμφωνα με τη Συμφωνία αυτή, προβλέπονταν αναλυτικό σχέδιο δράσης για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη, με τις Κυβερνήσεις να συμφωνούν, έτσι ώστε η θερμοκρασία του πλανήτη να μην αυξηθεί περισσότερο από 2°C, σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα που βρίσκονταν κατά τη προ-βιομηχανική περίοδο, ενώ ταυτόχρονα, συμφώνησαν να συνεχίσουν τις προσπάθειες, έτσι ώστε η αύξηση της θερμοκρασίας να περιοριστεί κατά 1,5°C (United Nations Climate Change,2022).

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι και το γεγονός ότι οι χώρες που συμμετείχαν στη Συμφωνία αυτή, προχώρησαν στην υποβολή ολοκληρωμένων εθνικών σχεδίων δράσης για το κλίμα, για να περιορίσουν τις εκπομπές τους. Μάλιστα, συμφωνήθηκε από τις κυβερνήσεις, να κοινοποιούνται ανά πέντε έτη τα σχέδια δράσης τους, θέτοντας κάθε φορά ακόμη πιο φιλόδοξους στόχους. Τέλος, να σημειωθεί ότι, στα πλαίσια της Συμφωνίας των Παρισίων, αποφασίστηκε αλληλεγγύη, μεταξύ των αναπτυσσόμενων κρατών, προκειμένου να παρέχονται σχετικές χρηματοδοτήσεις για το κλίμα, έτσι ώστε να μπορέσει να υπάρξει η κατάλληλη βοήθεια προς τις αναπτυσσόμενες χώρες για να περιορίσουν τις εκπομπές τους και να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικότερα την κλιματική αλλαγή (United Nations Climate Change,2022).

Επιπρόσθετα, το ίδιο έτος (2015), οι παγκόσμιοι ηγέτες, προχώρησαν στην οριοθέτηση των στόχων που αφορούν τη βιώσιμη ανάπτυξη, με ορίζοντα εφαρμογής το έτος 2030. Να σημειωθεί ότι οι στόχοι αυτοί θεωρήθηκαν ότι εντάσσονται στην Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, η οποία και διαμορφώθηκε από τον ΟΗΕ. Οι στόχοι αυτοί, παρουσιάζονται στην Εικόνα 2 (Ηνωμένα Έθνη-Περιφερειακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ, 2023):

Εικόνα 2: Στόχοι που αφορούν τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (Πηγή: Ηνωμένα Έθνη-Περιφερειακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ, 2023)



Ξεχωριστή αναφορά, μιας που η παρούσα εργασία επικεντρώνεται σε πόλεις, θα πρέπει να γίνει στον Στόχο 11, που αφορά τις βιώσιμες πόλεις και κοινότητες. Σύμφωνα με τον στόχο αυτό, επιδιώκεται με ορίζοντα το 2030 να υπάρξει διασφάλιση της πρόσβασης όλων σε επαρκή, ασφαλή και προσιτή στέγαση, καθώς επίσης και σε βασικές υπηρεσίες, προκειμένου να μπορέσουν να αναβαθμιστούν οι υποβαθμισμένες περιοχές. Ταυτόχρονα, επιδιώκεται έως και το 2030 να υπάρχουν ασφαλή, προσβάσιμα, προσιτά, αλλά και βιώσιμα συστήματα μεταφορών για το σύνολο του πληθυσμού, εστιάζοντας στην επέκταση των δημοσίων συγκοινωνιών, ενώ παράλληλα επιδιώκεται μέσω του στόχου αυτού να υπάρξει βελτίωση της βιώσιμης αστικοποίησης, χωρίς αποκλεισμούς.

1.3 Κλιματική Κρίση και Πόλεις

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στην επίδραση της κλιματικής κρίσης στις πόλεις και στον αστικό ιστό, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κλιματική κρίση επηρεάζει το σύνολο των λειτουργιών και δραστηριοτήτων που συντελούνται εντός της πόλης. Ειδικότερα, σε περίπτωση που υπάρξει αύξηση της θερμοκρασίας εντός του αστικού ιστού, υπάρχουν συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, συνεκτιμώντας το γεγονός ότι οι υψηλές θερμοκρασίες, σε

συνδυασμό με το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, το οποίο και θα αναλυθεί εκτενώς στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, δημιουργούν δυσφορία, δυσκολίες στην αναπνοή, καθώς επίσης και εξάντληση, τα οποία σε ακραίες συνθήκες, δύναται να οδηγήσουν ακόμη και σε θανάτους, ιδίως στις ευάλωτες ομάδες του πληθυσμού. Οι κατηγορίες αυτές περιλαμβάνουν τα άτομα ηλικίας άνω των 65 ετών, τα υπέρβαρα άτομα, καθώς και τα βρέφη και τα μικρά παιδιά. Κατά τη διάρκεια των ωρών όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, στην κατηγορία των ευάλωτων ατόμων συγκαταλέγονται αυτοί που πάσχουν από υπέρταση και λαμβάνουν σχετικές φαρμακευτικές αγωγές, όπως επίσης και οι έγκυες, αλλά και τα άτομα που αναπτύσσουν έντονη σωματική δραστηριότητα (Alexandri et al., 2016).

Παράλληλα, εξαιτίας της κλιματικής κρίσης, δημιουργούνται επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, ιδίως αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι οι υψηλές θερμοκρασίες εντός των πόλεων, ενισχύουν τη δημιουργία φωτοχημικής ρύπανσης, που έχει ως κύριο παράγωγο το όζον (O₃). Για κάθε 1°C πάνω από το όριο της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας που έχει οριστεί στα επίπεδα των 22°C, η πιθανότητα φωτοχημικού νέφους αυξάνεται κατά 6%. Ακόμη, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, υπάρχει αύξηση και της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, καθώς κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, οι ανάγκες για κλιματισμό είναι αυξημένες, ενώ υπάρχει και αύξηση του φορτίου αιχμής του ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμη, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, υπάρχει αρνητική επίδραση στην απόδοση των κλιματιστικών μηχανημάτων, όπου η εν λόγω μείωση της απόδοσης κυμαίνεται στα επίπεδα του 20-25%, σε σχέση με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής τους (Κατσογιάννη & Αναλυτής, 2016).

Λόγω της κλιματικής κρίσης, υπάρχουν επιπτώσεις στον αστικό ιστό, ιδίως δε, στον τομέα των μεταφορών, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι μεγάλο μέρος του πληθυσμού μετακινείται με οχήματα ΙΧ, αποφεύγοντας τη χρήση μέσων δημόσιας μεταφοράς. Ακόμη, η θερμοκρασία εντός του αστικού ιστού μπορεί να αυξηθεί περισσότερο εξαιτίας της αύξησης της ανθρωπογενούς θερμότητας, η οποία δημιουργείται από την κυκλοφορία των οχημάτων. Άλλες επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στις πόλεις συνδέονται με την οικονομία, καθώς κατά τις ημέρες όπου επικρατούν ακραία καιρικά φαινόμενα, περιορίζεται η κατανάλωση, ενώ αυξάνονται οι δημόσιες δαπάνες για την κάλυψη των σχετικών ζημιών. Σημαντικός κίνδυνος για τον αστικό ιστό αποτελούν και τα πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία είναι έντονα και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τις ζώες μεγάλου μέρους του πληθυσμού, δημιουργώντας την ίδια στιγμή προβλήματα στις υποδομές που καταστρέφονται. Ωστόσο και σε περίπτωση μειωμένης βροχόπτωσης, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, μπορεί να υπάρξουν αυξημένες ανάγκες για πόσιμο νερό και έτσι να υπάρξουν ακόμη μεγαλύτερες περιβαλλοντικές πιέσεις εντός του αστικού ιστού (Καρτάλης κ.α., 2021).

1.4 Πολιτικές Αντιμετώπισης της Κλιματικής

Κρίσης στις Πόλεις και το Παράδειγμα της

Αθήνας

Οι πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης στις πόλεις είναι απαραίτητες για να περιοριστούν οι επιπτώσεις της και να προσαρμοστούν οι πόλεις στις νέες κλιματικές συνθήκες. Οι πόλεις έχουν μεγάλη ευθύνη και δυνατότητα να λάβουν μέτρα για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, την προστασία της βιοποικιλότητας, τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, την προαγωγή της αειφορίας και την προστασία των φυσικών πόρων.

Μία από τις κύριες πολιτικές που εφαρμόζονται από τις πόλεις είναι η διαχείριση των αποβλήτων. Οι πόλεις προωθούν την ανακύκλωση, την αποτέφρωση αποβλήτων με ενεργειακή αξιοποίηση και την προώθηση της μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Αυτές οι πολιτικές βοηθούν στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από την αποσύνθεση των αποβλήτων.

Επίσης, οι πόλεις επενδύουν στη βελτίωση των μέσων μαζικής μεταφοράς και την προώθηση της χρήσης βιώσιμων μεταφορικών μέσων όπως το ποδήλατο και η πεζοπορία. Μειώνοντας την ανάγκη για ιδιωτικά οχήματα και προωθώντας τη χρήση των δημόσιων μεταφορικών μέσων, μπορούν να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η ατμοσφαιρική ρύπανση.

Επιπλέον, οι πόλεις αναπτύσσουν προγράμματα ενεργειακής αποδοτικότητας για τα κτίρια, προωθούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εφαρμόζουν πρότυπα οικοδόμησης με χαμηλό οικολογικό αποτύπωμα. Αυτές οι προσεγγίσεις συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στο παράδειγμα της πόλης των Αθηναίων, υπάρχουν πολλές πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Ένα από τα πιο σημαντικά προγράμματα είναι το "Αθήνα 2025" (Εταιρία Ανάπτυξης & Τουριστικής Προβολής Αθηνών-Βιώσιμη Ανάπτυξη), το οποίο αποσκοπεί στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και της αειφορίας στην πόλη. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, την ανάπτυξη χώρων πρασίνου, την προώθηση της αειφόρου κινητικότητας και την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων.

Επιπλέον, η πόλη των Αθηναίων έχει θέσει στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έχουν εφαρμοστεί

προγράμματα για την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών σε κτίρια, την προώθηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων και την ανάπτυξη πράσινων ενεργειακών υποδομών.

Μία ακόμη πολιτική που έχει εφαρμοστεί στην πόλη είναι η προώθηση της πράσινης οικονομίας και της κυκλικής οικονομίας. Έχουν δημιουργηθεί προγράμματα που υποστηρίζουν την αειφόρο επιχειρηματικότητα, την ανακύκλωση και την ανανέωση πόρων (Εταιρία Ανάπτυξης & Τουριστικής Προβολής Αθηνών-Βιώσιμη Ανάπτυξη).

Με αυτές τις πολιτικές, οι πόλεις, όπως η πόλη των Αθηναίων, προσπαθούν να αντιμετωπίσουν την κλιματική κρίση και να επιτύχουν την αειφόρο ανάπτυξη. Οι παραπάνω προσπάθειες αντιπροσωπεύουν μόνο μερικές από τις πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί, με σκοπό να μειωθεί ο αντίκτυπος των πόλεων στην κλιματική αλλαγή και να διασφαλιστεί η βιωσιμότητά τους στο μέλλον.

2

Αστική Θερμική Νησίδα

2.1 Εισαγωγή

Η αστική θερμική νησίδα (ΑΘΝ) είναι ένα φαινόμενο που συνδέεται με την αστική ανάπτυξη και έχει σημαντικές επιπτώσεις στο κλίμα και την ποιότητα ζωής στις πόλεις. Το φαινόμενο αυτό περιγράφει την αύξηση της θερμοκρασίας σε αστικά κέντρα, σε σχέση με τις περιβαλλοντικά πιο αγροτικές ή φυσικές περιοχές γύρω τους (Gartland,L., 2008).

Η αστική θερμική νησίδα προκαλείται από την αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων, όπως οι ασφαλτωμένες επιφάνειες, τα κτίρια, η έλλειψη φυτών και πρασίνου, η πυκνή αστική δόμηση και η αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν σε αυξημένη απορρόφηση και εκπομπή θερμότητας, καθώς και σε περιορισμένη κυκλοφορία αέρα και ανεπαρκή διασπορά της θερμότητας (Gartland,L., 2008).

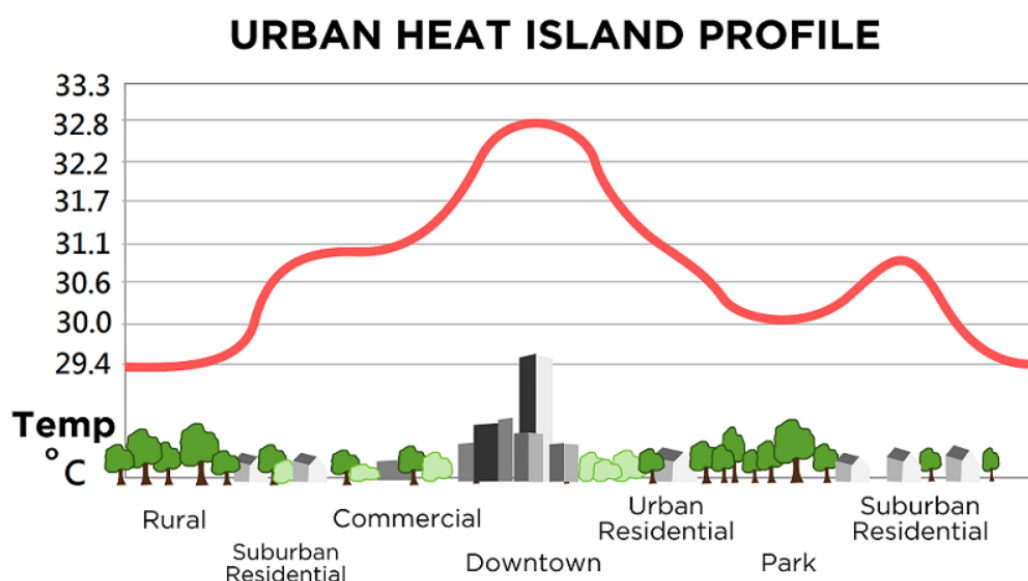
Οι συνέπειες της ΑΘΝ είναι πολλαπλές και αντικατοπτρίζονται στην υγεία και την ευεξία των ανθρώπων, καθώς και στον φυσικό και κλιματικό περιβάλλον. Η υπερθέρμανση των πόλεων έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, την ενεργειακή κατανάλωση, την υδρολογία, την καλλιέργεια και τη βιοποικιλότητα (Roa-Espinosa et al.,2003).

Για την αντιμετώπιση της αστικής θερμικής νησίδας, οι πόλεις υιοθετούν πολιτικές και μέτρα που στοχεύουν στη μείωση της θερμοκρασίας, τη βελτίωση της κυκλοφορίας του αέρα, την ανάπτυξη χώρων πρασίνου και την προαγωγή της ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτές οι πολιτικές περιλαμβάνουν τη δημιουργία πράσινων οροφών, τη φύτευση δέντρων και φυτών, την ανάπτυξη υδροφυτευτικών συστημάτων, την εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του πληθυσμού και τη σχεδίαση αειφόρων αστικών περιοχών.

2.2 Ορισμός του Φαινομένου

Μια "αστική θερμική νησίδα (UHI)" είναι μια αστική περιοχή που είναι σημαντικά θερμότερη από το αγροτικό περιβάλλον της λόγω των τεχνητών υποδομών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Oke, 1982). Ενώ οι αστικές περιοχές έχουν μεγαλύτερο ποσοστό πλακόστρωτου εδάφους, οι αγροτικές περιοχές καλύπτονται από γρασίδι, καλλιέργειες, θάμνους ή δάση. Αυτή η βλάστηση συμβάλλει στην ψύξη του αέρα, ενώ η άσφαλτος και το σκυρόδεμα απορροφούν θερμότητα, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, τα κτίρια και οι στενοί δρόμοι παγιδεύουν τη θερμότητα μειώνοντας τη ροή του αέρα. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η θέρμανση των κτιρίων και η οδήγηση αυτοκινήτων, προσθέτουν επίσης θερμότητα στο περιβάλλον.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, το οποίο είναι πιο έντονο κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν οι θερμοκρασίες στις αστικές περιοχές μπορεί να είναι έως και 10°C υψηλότερες από ό,τι στις αγροτικές περιοχές, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. Αυτό οφείλεται στην κατακρατούμενη θερμότητα σε δομές όπως τα κτίρια και οι δρόμοι που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας (Climate.Copernicus).



Profile of an urban heat island.

Εικόνα 3: Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας

(Πηγή: Climate Copernicus)

Οι μεγαλύτερες πόλεις τείνουν να βιώνουν εντονότερη θερμική καταπόνηση. Το κέντρο του Λονδίνου και του Παρισιού, για παράδειγμα, καταγράφουν τακτικά θερμοκρασίες περίπου 4°C υψηλότερες από ό,τι οι αγροτικές περιοχές τη νύχτα (Climate.Copernicus). Και οι δύο

αυτές πόλεις, καθώς και πολλές άλλες σε όλη την Ευρώπη και τον κόσμο, βιώνουν θερμική καταπόνηση που οδηγεί σε προβλήματα δημόσιας υγείας.

2.3 Ιστορική Αναδρομή

Ο Luke Howard ήταν ο πρώτος που διερεύνησε το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας το 1810. Ωστόσο η ονομασία του φαινομένου αποδόθηκε πολύ αργότερα, το 1981 από τον Landsberg (Gartland, 2008).

Το 1855 στο Παρίσι πραγματοποιήθηκε μια έρευνα από τον E.Repou (1855) η οποία ανέδειξε τις αποκλίσεις θερμοκρασίας ανάμεσα στο κέντρο της πόλης και των περιοχών γύρω από αυτή. Στη συνέχεια, ο W.C. Wittwer επισήμανε την απόκλιση σε θερμοκρασία ανάμεσα στο Μόναχο και της περιοχής Bogenhausen ως απόρροια του μεγάλου αριθμού πετρώκτιστων κατοικιών στο Μόναχο (Wittwer, 1860). Μετά από 25 χρόνια, ο J.V.Hann(1885) παρατήρησε πως οι θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στην ύπαιθρο και την πόλη έχουν διακύμανση από 0.4 έως 1.1 °C (Hann, 1885).

Εν συνεχεία το 1925, τα ζητήματα που προκαλούν η ατμοσφαιρική ρύπανση και η αστική ομίχλη ανέπτυξαν οι J.S.Owens & N.Shaw στην έρευνα τους με τίτλο "Προβλήματα καπνού από τις μεγάλες πόλεις"(J.S.Owens & N.Shaw, 1925). Έκτοτε, πλειάδα ερευνητών ασχολήθηκαν με την έρευνα των λυμάτων που παρεμβάλλονται στον αέρα των πόλεων.

Το ζήτημα της υγρασίας δεν εξετάστηκε μέχρι το 1908, όταν ο V. Kremser διεξήγαγε μια έρευνα στο Βερολίνο (Kremser, 1908). Έναν χρόνο αργότερα, το 1909, ο ίδιος ερευνητής μελέτησε το πώς οι πόλεις επιδρούν στη δημιουργία σύννεφων (Kremser, 1909). Ο F. Augustin εξέτασε τη βροχόπτωση στην Πράγα (Augustin, 1906), και αργότερα, ο A. Schmauss διερεύνησε την ποικιλομορφία της έντασης και της συχνότητας της βροχόπτωσης στο Μόναχο (Schmauss, 1927). Ένα σημαντικό κίνητρο υπήρξε η νεοεμφανιζόμενη επιστήμη των πόλεων. Στη Βιέννη ο H.Schmidt(1927) πραγματοποίησε τις πρώτες μελέτες (Schmidt, 1927) ενώ ακολούθησε στην Καρλσρούη ο A.Peppler(Peppler, 1929). Αργότερα, οι Budel & Wolf(1932) έλαβαν υπόψιν και τη σχετική υγρασία στην έρευνα τους (Kratzer, 1956).

2.4 Τύποι Αστικής Θερμικής Νησίδας

Η ΑΘΝ σχηματίζεται με πολλαπλούς τρόπους και έχει επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στους ανθρώπους. Ως εκ τούτου, απαιτούνται πολύ-ποικίλες μέθοδοι και πρακτικές για τη μελέτη της και την πιθανή αντιμετώπιση των επιπτώσεών της. Ο Oke το 1995 κατηγοριοποίησε τους διάφορους τύπους αστικής θερμικής νησίδας στο βιβλίο του 'Urban Climates' (Oke et al., 2017):

- ΑΘΝ υπο-επιφάνειας (Subsurface Urban Heat Island): Παρατηρούνται αποκλίσεις στα θερμοκρασιακά μοτίβα του εδάφους κάτω από τις αστικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των αστικών εδαφών και των υπόγειων κατασκευών, σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές.
- ΑΘΝ επιφάνειας (Surface Urban Heat Island - SUHI): Παρατηρούνται αποκλίσεις στη θερμοκρασία ανάμεσα στις τεχνητές επιφάνειες και στην εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, σε σχέση με τις αγροτικές τοποθεσίες και το έδαφος. Χρησιμοποιείται θερμική τηλεπισκόπηση για να εξεταστεί το συγκεκριμένο φαινόμενο.
- Θερμική νησίδα αστικής χαράδρας (Canopy layer urban heat island - UCL): Παρατηρούνται αποκλίσεις στη θερμοκρασία ανάμεσα στον άνεμο ο οποίος περιβάλλει την αστική χαράδρα (UCL) και τον αέρα ανάμεσα στην αστική επιφάνεια και την κορυφή της, σε σχέση με τον αέρα σε παρόμοιο υψόμετρο στην ύπαιθρο.
- ΑΘΝ οριακού στρώματος (Boundary layer urban heat island - UBL): Παρατηρούνται αποκλίσεις στη θερμοκρασία ανάμεσα στον αέρα του ανώτατου σημείου της αστικής χαράδρας και στον αέρα του ανώτατου σημείου του οριακού στρώματος, σε σύγκριση με παραπλήσιες αυξήσεις του υψομέτρου στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας στις κοντινές αγροτικές περιοχές.

Καθώς αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται σε διάφορα επίπεδα και με ξεχωριστές παραμέτρους, είναι χρήσιμο να κατανοήσουμε τους βασικούς μηχανισμούς που το διαμορφώνουν. Οι προαναφερθέντες τύποι αστικής θερμικής νησίδας δύναται να ταξινομηθούν σε περισσότερες κατηγορίες ανάλογα τη διαδικασία που σχηματίζονται, τις πρακτικές που ακολουθούνται για την εύρεση και τη ποσοτικοποίησή τους, τις συνέπειες τους και τις μεθόδους για την αντιμετώπισή τους.

Μπορούμε να ταξινομήσουμε την αστική θερμική νησίδα σε δύο κατηγορίες: την ατμοσφαιρική και την επιφανειακή. Η πρώτη περιλαμβάνει το UCL και το UBL, και η εξέτασή τους λαμβάνει χώρα με αισθητήρες από ειδικές πλατφόρμες αισθητήρων, όπως μέσω ψηλών πύργων ή αεροπλάνων. Αυτή η κατηγορία φαινομένου παρουσιάζει ασθενέστερη ένταση την ημέρα και εντονότερη δραστηριότητα αφού δύσει ο ήλιος. Οι θερμοκρασιακές διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 1-3°C το πρωί και 7-12°C το βράδυ. Η απεικόνιση αυτού συχνά γίνεται με χάρτες και διαγράμματα (Perry & Thompson, 1997). Εν αντιθέσει, η

επιφανειακή ΑΘΝ παρουσιάζεται καθ' όλο το μήκος της ημέρας και της νύχτας, με μεγαλύτερη ένταση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι θερμοκρασιακές αυξομειώσεις είναι εξαιρετικά εμφανείς, με απόκλιση περίπου 10-15°C το πρωί και 5-10°C το βράδυ. Η μελέτη αυτής της κατηγορίας γίνεται με τη χρήση τηλεσκοπικών δεδομένων (Oke et al., 2017).

2.5 Μέθοδοι προσδιορισμού της Επιφανειακής Αστικής Θερμικής Νησίδας

Ποικίλες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τη μελέτη της Επιφανειακής Θερμικής Νησίδας (SUHI) και γενικότερα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ευρείες κλάσεις: τη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους (LST - Land Surface Temperature) ως αντιπρόσωπο της Επιφανειακής Θερμικής Νησίδας, τις διαφορές στην LST ανάμεσα στις αστικές περιοχές και τις γύρω περιοχές αναφοράς και τα μη-παραμετρικά μοντέλα. Παρακάτω θα εξεταστούν αυτές οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι.

1. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους (LST) ως αντιπρόσωπος της Επιφανειακής Θερμικής Νησίδας: η LST έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για να απεικονίσει την μεταβλητότητα της SUHI, ειδικά σε μελέτες τοπικού βεληνεκού που βασίζονται σε Landsat series και δεδομένα ASTER (Το πρόγραμμα Landsat είναι μια σειρά δορυφορικών αποστολών παρατήρησης της Γης που διαχειρίζονται από κοινού η NASA και το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α.) (Irons et al., 2012). Το Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) λαμβάνει εικόνες υψηλής ανάλυσης της Γης σε 14 διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που κυμαίνονται από ορατό έως θερμικό υπέρυθρο φως) . (NASA, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Τέτοιες μελέτες συχνά επικεντρώνονται στις μεταβολές LST και τις σχέσεις τους με χωρο-χρονικούς παράγοντες σε μια πόλη. Το φαινόμενο του SUHI συνήθως εκδηλώνεται σε μορφή σημείων υψηλής θερμοκρασίας ή υψηλότερης LST σε κτίρια ή αδιαπέραστες επιφάνειες. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τους υποκείμενους κινητήριους μηχανισμούς του SUHI σε τοπική κλίμακα και, συνεπώς, να βοηθήσει τους αστικούς σχεδιαστές να διαμορφώσουν στρατηγικές μείωσης που είναι προσαρμοσμένες στον τοπικό χώρο. Ωστόσο, αυτές οι μελέτες συνήθως δεν εκτιμούν την ένταση του SUHI, πράγμα που δυσκολεύει τις συγκρίσεις του SUHI μεταξύ διαφόρων πόλεων.

2. Διαφορές στη Θερμοκρασία της Επιφάνειας του Εδάφους μεταξύ της Αστικής Περιοχής και των Γύρω Περιοχών Αναφοράς: Η ένταση του SUHI συνήθως έχει υπολογιστεί με τη διαφορά στη Θερμοκρασία της Επιφάνειας του Εδάφους (LST) ανάμεσα στις αστικές και τις τριγύρω περιοχές, με την υποστήριξη βοηθητικών δεδομένων για την επιφάνεια του εδάφους, όπως η χωρογράφιση του εδάφους και οι χάρτες ISA. Η ένταση του SUHI αναλύεται σε δύο βήματα σε αυτές τις μελέτες. Πρώτον, καθορίζονται και περιγράφονται οι αστικές και οι περιοχές αναφοράς από τους χάρτες της χωρογράφισης του εδάφους ή της ISA. Οι αστικοί ιστοί αναφέρονται ως οι περιοχές με το μεγαλύτερο ποσοστό αδιαπέραστης επιφάνειας ISA (Impervious Surface Area), ενώ οι περιοχές αναφοράς καθορίζονται διαφορετικά βάσει ποικίλων μελετών. Ως περιοχές αναφοράς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες αγροτικές και προαστιακές ζώνες διαφορετικού μεγέθους. Σε μερικές μελέτες, χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορές και άλλες επιφάνειες, όπως υδάτινα σώματα, αγροτικές εκτάσεις, δάση και χαμηλής έντασης ISA. Δεύτερον, υπολογίζονται οι διαφορές στη θερμοκρασία LST ανάμεσα στις αστικές και τις τριγύρω περιοχές χρησιμοποιώντας τον βασιζόμενο στην περιοχή μέσο όρο, για να αντικατοπτρίσουν την ένταση ή το μέγεθος του SUHI. Μια θετική τιμή της έντασης του SUHI υποδεικνύει ένα αστικό φαινόμενο θέρμανσης, ενώ μια αρνητική τιμή αντιπροσωπεύει έναν αντίκτυπο ψύξης. Λίγες μελέτες επίσης αξιολογούν την ένταση του SUHI χρησιμοποιώντας λίγα αντιπροσωπευτικά pixel σε αστικές και γύρω περιοχές αναφοράς αντί της αριθμητικής διαφοράς χρησιμοποιώντας τον βασιζόμενο στην περιοχή μέσο όρο, με σκοπό τη σύγκριση του SUHI μεταξύ επιφανειών-αέρα ή την ανάλυση της απόδοσης του UHI. Η μέθοδος της διαφοράς ανάμεσα στην αστική και την τριγύρω περιοχή αναφοράς διευκολύνει την ανάλυση σύγκρισης του SUHI μεταξύ διαφόρων πόλεων, ειδικά όσον αφορά την κατανομή του SUHI σε τοπική ή διεθνή κλίμακα, αλλά δύναται να περιορίζεται από τις σημαντικές αβεβαιότητες που συνδέονται με τους ορισμούς των αστικών και αναφορικών περιοχών.
3. Στατιστικά Μοντέλα: Κάποιοι ερευνητές έχουν προτείνει επίσης στατιστικά μοντέλα για τη μέτρηση του SUHI. Ανάμεσα σε αυτά, ένα μοντέλο Gauss έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε παλαιότερες έρευνες, διότι έχει την ικανότητα να προσδιορίζει και την ένταση, και το εμβάδον, και την κεντρική τοποθεσία του SUHI. Έχει προταθεί επίσης η μέθοδος συνέλιξης πυρήνα για τη μελέτη των αστικών φαινομένων θέρμανσης λόγω της υψηλής αποδοτικότητάς της να προσδιορίζει τις τιμές θερμοκρασίας στο χώρο σε μια συνεχή επιφάνεια. Οι Li et al. εκτίμησαν την ένταση του SUHI μέσω των γραμμικών συναρτήσεων παλινδρόμησης μεταξύ της LST και της περιφερειακής ISA (Li et al., 2008). Αυτά τα στατιστικά μοντέλα μπορούν να αποφύγουν την

παραμόρφωση που προκαλείται από τους ορισμούς των αστικών-αγροτικών περιοχών και συνεπώς να κάνουν πιο εύκολες τις συγκρίσεις του SUHI ανάμεσα στις πόλεις. Ωστόσο, δεν ανταπεξέρχονται αποτελεσματικά στα αστικά κέντρα που παρουσιάζουν νέφος και σε ξηρές πόλεις, και, συνεπώς, έχουν εφαρμοστεί μόνο σε λίγες μελέτες SUHI μέχρι σήμερα.

2.6 Ένταση αστικής θερμικής νησίδας (UHII)

Η UHII είναι ένας κρίσιμος δείκτης του μεγέθους της ΑΘΝ σε αστικοποιημένες περιοχές και εξηγεί την ένταση των UHIs που χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις μελέτες που εξετάζονται σε αυτό το SLR. Η UHII, μια συμβατική μέθοδος για την αξιολόγηση της ΑΘΝ, προσδιορίζεται με τη σύγκριση της μέσης και της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ μιας αστικής (T_u) και μιας αγροτικής περιοχής (T_r) (Oke, 1973).

$$UHII = \Delta T_{u-r} = T_u - T_r$$

Ειδικότερα, μια αστική θερμική νησίδα επηρεάζεται από διάφορα φυσικά και μετεωρολογικά στοιχεία στην αστική περιοχή, οπότε υπάρχουν περιορισμοί στον υπολογισμό των μεταβολών της ΑΘΝ σε μια γραμμική και δισδιάστατη ανάλυση (Xu et al., 2017). Ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποίησαν μια διαφορετική προσέγγιση για τον υπολογισμό του UHII με βάση διαφορετικές πηγές θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία του αέρα. Για παράδειγμα, έχουν χρησιμοποιήσει μια ποικιλία ευέλικτων τεχνικών για την εκτίμηση της UHII, όπως επί τόπου μετρήσεις με τη χρήση σταθερών και κινητών οργάνων τραβέρσας, καθώς και προσομοιώσεις και μοντελοποίηση με τη χρήση διαφόρων κλιμάκων (Kourtidis et al., 2015).

Η UHII εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την τιμή της θερμοκρασίας του αέρα και δεν αντικατοπτρίζει άλλα μετεωρολογικά δεδομένα. Τα δεδομένα εκτός από τη θερμοκρασία του αέρα που προέκυψαν από τη χρήση μετρήσεων μετεωρολογικών σταθμών κατά τη διαδικασία της έρευνας δεν χρησιμοποιήθηκαν άμεσα για τον υπολογισμό του μεγέθους της ΑΘΝ, αλλά χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την επιβεβαίωση της συσχέτισης με τη φύση της ΑΘΝ ή τις τάσεις των μεταβολών. Οι μελέτες που χρησιμοποίησαν SUHII έδειξαν επίσης παρόμοιες ερευνητικές τάσεις με αυτές τις μελέτες. Ωστόσο, η SUHII έχει το πλεονέκτημα της εξαγωγής LST από δορυφορικές εικόνες και της εξασφάλισης δεδομένων που μπορούν να καλύψουν το ερευνητικό εύρος μεσοκλίμακας. Για τις μελέτες που χρησιμοποιούν το UHII, τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται μέσω μετεωρολογικών σταθμών που είναι ήδη εγκατεστημένοι στην περιοχή που πρόκειται να μελετηθεί ή που έχουν εγκατασταθεί από τους ερευνητές. Οι μελέτες αυτές είναι περιορισμένες, καθώς είναι αδύνατο να ληφθούν ολοκληρωμένα δεδομένα της επιθυμητής περιοχής λόγω κόστους και χωρικών περιορισμών. Ωστόσο, το SUHII έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να επιλέξει έναν LST στην επιθυμητή θέση με βάση

ένα ευρύ φάσμα δεδομένων εικόνας LST. Ως εκ τούτου, για την έρευνα που χρησιμοποιεί το SUHI, είναι δυνατή η ανάλυση πολλών σημείων (C. Giannaros et al., 2018).

Οι Oke (1973) και Coseo και Larsen (2014) επέλεξαν διάφορα σημεία εντός των αστικών ορίων και υπολόγισαν το UHI. Συγκεκριμένα, οι Coseo και Larsen (2014) χρησιμοποίησαν αυτή τη μέθοδο για να κατανοήσουν τη συσχέτιση και την ανάλυση των διαφορετικών μεγεθών UHI που εμφανίζονται σε μια μητροπολιτική περιοχή (Σικάγο).

Ενεργειακό ισοζύγιο

Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή του μεγέθους και της έντασης της UHI είναι το ενεργειακό ισοζύγιο (Oke et al., 2017). Σε αντίθεση με την UHI, η οποία εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την τιμή της θερμοκρασίας του αέρα, η έννοια του ενεργειακού ισοζυγίου υπολογίζει και αναλύει τους τύπους και τα μεγέθη των ροών θερμότητας που παράγονται εντός της περιοχής μελέτης και την επιρροή τους στην UHI.

Είναι δυνατοί λεπτομερείς υπολογισμοί και αναλύσεις για κάθε πηγή θερμότητας που εφαρμόζεται στον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου για να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα UHI, ιδίως σε τοπική κλίμακα και μικροκλίμακα. Ως εκ τούτου, αρκεί να περιγραφεί η αλλαγή του αστικού κλίματος ως βασικό στοιχείο για την κατανόηση της επιρροής στο φαινόμενο ΑΘΝ τόσο από την άποψη της μεσοκλίμακας όσο και από την άποψη της μικροκλίμακας (Chow et al., 2014). Η ΑΘΝ βασίζεται στις διαφορές του ενεργειακού ισοζυγίου μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών και αυτό το ενεργειακό ισοζύγιο εξηγείται από την κατάσταση της ατμόσφαιρας σε κάθε περιοχή. Ενώ οι UHI και SUHI χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάλυση ΑΘΝ σε μεσοκλίμακα, η έννοια του ενεργειακού ισοζυγίου χρησιμοποιείται για την ανάλυση μίας μικρότερης και πιο λεπτομερούς εύρους ΑΘΝ. Για τους ερευνητές που θέλουν να χρησιμοποιήσουν μια πιο λεπτομερή προσέγγιση, το SEB φαίνεται να χρησιμοποιείται κυρίως για την ποσοτικοποίηση της θερμότητας που παράγεται και περιέχεται στην περιοχή έρευνας μεταξύ των μοντέλων που αντικατοπτρίζουν την έννοια του ενεργειακού ισοζυγίου (Oke, 1988).

Η SEB ορίζεται χρησιμοποιώντας διάφορες πηγές ροής θερμότητας (Oke, 1987):

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

όπου Q^* είναι η καθαρή ροή ακτινοβολίας παντός κύματος, Q_F είναι η ανθρωπογενής ροή θερμότητας από τη θερμότητα που εκλύεται λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (π.χ. διαβίωση, εργασία και κυκλοφορία, καθώς και καύση από τις δραστηριότητες αυτές), Q_H είναι η τυρβώδης αισθητή ροή θερμότητας, Q_E είναι η λανθάνουσα ροή θερμότητας, ΔQ_S είναι η καθαρή πρόσληψη ή απελευθέρωση ενέργειας από μια αισθητή αλλαγή θερμότητας στον αστικό όγκο εδάφους-υπαίθρου-αέρα και ΔQ_A είναι η καθαρή οριζόντια ροή θερμότητας με συμβολή. Μεταξύ των στοιχείων που περιγράφουν το SEB, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να

σημειωθεί ότι οι παράγοντες Q_F και ΔQ_s επηρεάζονται από την αστική γεωμετρία (Chow et al., 2014; Oke et al., 2017).

Η Q_F , ανθρωπογενής ροή θερμότητας, εμφανίζεται κυρίως κατά τη διαδικασία παραγωγής ενέργειας για την ανθρώπινη δραστηριότητα και τη ζωή σε μια πόλη. Για την εκτίμηση αυτής της ροής θερμότητας χρησιμοποιούνται ειδικοί δείκτες κατανάλωσης ενέργειας για κάθε τυπικό στοιχείο του αστικού οικοσυστήματος, όπως τα κτίρια, τα οχήματα και οι άνθρωποι (Oke, 1987; Oke et al., 2017). Η ΔQ_s , η ροή θερμότητας αποθήκευσης, αναφέρεται στη συζευγμένη πρόσληψη θερμότητας. Οδηγεί σε μια αισθητή μεταβολή της θερμότητας στον αστικό όγκο εδάφους-κάλυψης-αέρα από φυσικά στοιχεία που επηρεάζουν το SEB, όπως ο αέρας, το έδαφος, το νερό και τα δομικά υλικά. Αυτή η ροή θερμότητας μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την ποσότητα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, τους τύπους των υλικών της επιφάνειας, την τραχύτητα από το αστικό ύψος και την πυκνότητα και τα γενικά καιρικά δεδομένα, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η κατεύθυνση του ανέμου και η πίεση του αέρα (Oke, 1987, Oke, 1988). Αυτά τα δύο στοιχεία επηρεάζονται από τις αλλαγές στο αστικό δομημένο περιβάλλον και αυτές οι ροές θερμότητας είναι οι κύριες αιτίες του μεγέθους και της έντασης της ΑΘΝ (Chow et al., 2014).

Το TEB είναι ένα τροποποιημένο μοντέλο SEB και χρησιμοποιείται για τη μελέτη της έντασης και της τάσης μεταβολής της ΑΘΝ με τον υπολογισμό της ροής θερμότητας που παράγεται στο στρώμα του θόλου του κτιρίου (BCL). Τέσσερις μελέτες (Cantelli et al., 2015- Nazarian and Kleissl, 2015- Salvati et al., 2019- Suter et al., 2017) που χρησιμοποιούν το TEB διεξήχθησαν σε εικονικούς χώρους, αλλά χρησιμοποιήθηκαν με διαφορετικό τρόπο. Μεταξύ των τεσσάρων μελετών, οι Nazarian and Kleissl (2015) χρησιμοποίησαν την TEBE διαφορετικά από τις άλλες τρεις μελέτες, εστιάζοντας στο albedo του υλικού της επιφάνειας του εδάφους που αποτελεί τον αστικό χώρο. Οι Cantelli et al. (2015) χρησιμοποίησαν το TEB για να αναλύσουν τη χωρική και χρονική εξέλιξη της ΑΘΝ σε 'φαράγγια' δρόμων. Οι Salvati et al. (2019) χρησιμοποίησαν το μοντέλο αστικής γεννήτριας καιρού (UWG) που αναπτύχθηκε με βάση την έννοια του TEB και χρησιμοποίησαν μετεωρολογικά δεδομένα που μετρήθηκαν στη Ρώμη και τη Βαρκελώνη για την επικύρωση των αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου, η παρούσα ανασκόπηση καταδεικνύει ότι η TEB θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διεξαγωγή ερευνών που εξετάζουν την αστική γεωμετρία μικροκλίμακας.

Από άποψη μοντελοποίησης, οι προοπτικές SEB για την κατανόηση του ενεργειακού ισοζυγίου και του προϋπολογισμού μιας πόλης πρέπει ιδανικά να παραμετροποιούνται με την αστική γεωμετρία. Η πολυπλοκότητα και η ιδιαιτερότητα αυτής της διαδικασίας εξηγούν γιατί οι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στη διαδικασία παραμετροποίησης και μοντελοποίησης για την περιγραφή του SEB μιας πόλης (Oke, 1988). Ως εκ τούτου, στις μελέτες παρουσιάζονται διάφορες προσεγγίσεις που επιλέγονται για τη μοντελοποίηση και

πρέπει να εξεταστούν για να προσδιοριστεί ο τρόπος σύγκρισής τους με άλλα μοντέλα (Cantelli et al., 2015- Suter et al., 2017). Για την έρευνα στον τομέα του αστικού κλίματος, η πρόβλεψη της τάσης και της κατεύθυνσης της αλλαγής στο μέλλον αποτελεί επίσης ένα κρίσιμο έργο για την ανάλυση και την κατανόηση των παρελθουσών και σημερινών συνθηκών (Oke et al., 2017).

2.7 Επιφανειακή Αστική Θερμική Νησίδα σε 419

Παγκόσμιες Μεγάλες Πόλεις

Με σκοπό τη συνολική κατανόηση και περιγραφή του φαινομένου, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη που περιλάμβανε 419 πόλεις σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την εκδήλωση και την σφοδρότητα του φαινομένου, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη απεικόνιση. Οι Peng et. al. που δημοσίευσαν το 2011 στο περιοδικό Environmental Science and Technology, παρείχαν σημαντικά στοιχεία και αποτελέσματα που περιγράφονται παρακάτω (Peng et. Al ,2011).

Αρχικά, ο στόχος της έρευνας είναι η προσδιορισμός των ημερήσιων εποχιακών διακυμάνσεων και η σύγκριση της επιφανειακής αστικής θερμικής νησίδας μεταξύ 419 πόλεων σε παγκόσμιο επίπεδο. Ταυτόχρονα, αξιολογούνται οι δυνητικοί βιοφυσικοί συντελεστές, όπως το κλίμα, το albedo¹ και η βλάστηση σε συνέργεια με οικονομικούς και κοινωνικούς συντελεστές που επηρεάζουν την εμφάνιση του φαινομένου, όπως η νυχτερινή φωτεινότητα και η πυκνότητα του πληθυσμού. Παρατηρείται ότι, παρά την ύπαρξη προηγούμενων μελετών σε τοπικό επίπεδο, η συστηματική αξιολόγηση της έντασης της SUHI σε μητροπόλεις χρησιμοποιώντας τακτικά μία μέθοδο, ήταν μέχρι τώρα ανεπαρκής.

Δεδομένα και Μέθοδοι

Συμπεριλήφθηκαν 419 αστικά κέντρα, με πληθυσμό άνω του 1.000.000, βάσει πληθυσμιακών στοιχείων από το 2007. Η θέση κάθε πόλης αποφασίστηκε με βάση μια γεωγραφική βάση δεδομένων. Οι περιοχές της κάθε πόλης, είτε αστικές είτε μη αστικές, κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με τον χάρτη κάλυψης γης MODIS G.L.C.M. (NASA, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), με χωρική ανάλυση 1 χλμ. Από τον δορυφόρο MODIS προήλθαν τα δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας, γνωστά και ως LST, που

¹ Albedo: Η λευκαύγεια(albedo) είναι το μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος. Μετρείται ως ο λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην επιφάνεια ενός σώματος

χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη. Τα συγκεκριμένα δεδομένα ανήκουν στα προϊόντα EOS-Aqua-MODIS V5 και έχουν χωρική ανάλυση 1 χιλιομέτρου, καλύπτοντας ένα διάστημα οκτώ 24ώρων. Τα δεδομένα LST παρέχουν πληροφορίες για τις ημερήσιες θερμοκρασίες (λήψη στις 13:30) και τις νυχτερινές θερμοκρασίες (λήψη στις 01:30) από το 2003 έως το 2008. Η διαδικασία ανάκτησης των δεδομένων LST βελτιώθηκε με την απόκρυψη του θορύβου που προκαλείται από νεφοκάλυψη, τις τοπογραφικές διαφορές και τις αλλαγές στη γωνία ζενίθ.

Στην μελέτη, προσπάθησαν να συσχετίσουν το φαινόμενο με τους παράγοντες που το επηρεάζουν. Για να επιτευχθεί αυτό, συνδυάστηκαν δορυφορικές μετρήσεις του επιπέδου albedo, των δεικτών βλάστησης, του κλίματος και διάφορων οικονομικών και κοινωνικών δεικτών. Διαφορές στη βλάστηση και στο επίπεδο albedo ανάμεσα στις αστικές και περιαστικές περιοχές καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας τα Συνεχή Πεδία Βλάστησης (VCF), τον Ενισχυμένο Δείκτη Βλάστησης (EVI) και τη Συνάρτηση Κατανομής Αμφίδρομης Ανάκλασης (BRDF) σε χωρικά δεδομένα του MODIS σε ακτίνα 1 χλμ. Τα στοιχεία για το κλίμα, συλλέχθηκαν από τη μονάδα κλιματικής έρευνας και έχουν χωρική ανάλυση 0.5°C. Όσον αφορά τους οικονομικούς και κοινωνικούς δείκτες, τα στοιχεία πληθυσμού των πόλεων και των προαστίων προέρχονται από το Διεθνές Κέντρο Επιστήμης της Γης του Πανεπιστημίου Κολούμπια και βασίζονται σε στατιστικά στοιχεία του ΟΗΕ για το 2005. Εν κατακλείδι, τα στοιχεία βραδινού φωτός συγκεντρώθηκαν μέσω τηλεπισκόπησης και συνδέθηκαν με οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες από το NOAA (Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας) και το NGDC (Εθνικό Κέντρο Γεωφυσικών Δεδομένων).

Για να μετρηθεί η επιφανειακή αστική θερμική νησίδα, υπολογίστηκε η απόκλιση θερμοκρασίας εδάφους (LST) ανάμεσα στην αστική και την περι-αστική περιοχή. Αντί για τις πρωινές και βραδινές ώρες, μετρήθηκε η επιφανειακή αστική θερμική νησίδα και ορίστηκαν δύο παράμετροι για τη βλάστηση, δύο παράμετροι για το albedo, τρεις παράμετροι για το κλίμα και δύο παράμετροι για την πυκνότητα για κάθε αστικό κέντρο. Παρουσιάζονται οι 6 μεταβλητές που εκτιμήθηκαν για να προσδιοριστεί το Surface Urban Heat Island Intensity: δVCF / δEVI / δBSA / δWSA / δNL / δPD . Αυτές οι μεταβλητές αναπαριστούν τη διαφορά που μετρήθηκε μεταξύ των πίκσελ αστικών και μη αστικών περιοχών και είναι εμφανή στον Πίνακα 1.

Μεταβλητές προσδιορισμού SUHI	
δVCF	Διαφορά Συνεχών Πεδίων Βλάστησης (Vegetation Continuous Fields)
δEVI	Διαφορά Βελτιωμένου Δείκτη Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index)
δBSA	Διαφορά Λευκάγειας Μελανού Ουρανού (Black Sky Albedo)
δWSA	Διαφορά Λευκάγειας Λευκού Ουρανού (White Sky Albedo)
δNL	Διαφορά Νυχτερινής Έντασης Φωτός (Nighttime Light Intensity)
δPD	Διαφορά Πυκνότητας Πληθυσμού (Population Density)

Πίνακας 1:Μεταβλητές Προσδιορισμού SUHI (Πηγή: Peng et.al.(2011))

Για να αναλυθεί η συσχέτιση αυτών των μεταβλητών με την SUHI, χρησιμοποιήθηκε ένα διδιάστατο μοντέλο παλινδρόμησης. Για το μισό μέρος της Γης που βρίσκεται βόρεια του Ισημερινού , καθορίστηκαν ως καλοκαιρινή περίοδος οι μήνες: Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος και ως χειμερινή περίοδος οι μήνες: Δεκέμβριος-Ιανουάριος-Φεβρουάριος. Στο μισό μέρος της Γης που βρίσκεται νότια του Ισημερινού , ορίστηκαν ως καλοκαιρινή περίοδος οι μήνες: Δεκέμβριος-Ιανουάριος-Φεβρουάριος και ως χειμερινή περίοδος οι μήνες: Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος.

Αποτελέσματα Έρευνας

Βάσει των αποτελεσμάτων, παρατηρούμε ότι η Ένταση Επιφανειακής Αστικής Θερμικής Νησίδας για τις αρχικές ώρες της ημέρας είναι θετική σε ποσοστό 92%, εκτός από τις πόλεις που περιτριγυρίζονται από έρημο, όπου εμφανίζεται αρνητική SUHI καθώς οι θερμοκρασίες στον αστικό ιστό είναι χαμηλότερες. Επίσης, η Ένταση Επιφανειακής Αστικής Θερμικής Νησίδας παρουσιάζεται και τις νυχτερινές ώρες, με το 95% των αστικών κέντρων να παρουσιάζουν δT από 0°C έως 2°C . Παρακάτω στον Πίνακα 2, παρατηρούμε τα αναλυτικά αποτελέσματα του πρωινού και βραδινού SUHI ανά ήπειρο, όπου βρίσκονται οι πιο αξιομνημόνευτες αποκλίσεις κατά τις πρωινές ώρες σε σχέση με τη νύχτα, ενώ κατά τους θερινούς μήνες εμφανίζεται μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση με τους χειμερινούς. Συγκεκριμένα, 36% των αστικών ιστών εμφανίζουν εντονότερη ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Table 1. Annual, Summer, and Winter Daytime and Nighttime Surface Urban Heat Island Intensity (SUHI, °C, Mean ± SD) across Six Continents (Africa, Asia, Europe, North America, South America, Oceania) Continents and the World^a

	Africa	Asia	Europe	North America	South America	Oceania	World
N	47	209	56	37	65	5	419
annual daytime SUHI (°C)	0.9 ± 1.1	1.2 ± 1.0	2.0 ± 0.9	2.3 ± 1.6	2.4 ± 1.0	1.5 ± 0.7	1.5 ± 1.2
annual nighttime SUHI (°C)	0.9 ± 0.5	1.1 ± 0.5	0.8 ± 0.4	0.9 ± 0.7	1.1 ± 0.5	1.0 ± 0.4	1.1 ± 0.5
summer daytime SUHI (°C)	1.0 ± 1.3	1.5 ± 1.3	2.1 ± 1.5	2.5 ± 1.6	3.0 ± 1.4	2.3 ± 1.2	1.9 ± 1.5
summer nighttime SUHI (°C)	0.7 ± 0.5	1.0 ± 0.5	1.0 ± 0.4	1.0 ± 0.7	1.3 ± 0.4	1.3 ± 0.4	1.0 ± 0.5
winter daytime SUHI (°C)	0.8 ± 1.2	0.9 ± 1.0	1.7 ± 0.4	2.2 ± 1.8	1.7 ± 1.1	0.8 ± 0.5	1.1 ± 1.2
winter nighttime SUHI (°C)	1.1 ± 0.5	1.2 ± 0.7	0.4 ± 0.4	0.9 ± 0.8	0.9 ± 0.7	0.8 ± 0.4	1.0 ± 0.7

^aN is the number of big cities in each continent and the world included in the study.

Πίνακας 2: Ετήσια, Καλοκαιρινή και Χειμερινή Ημερήσια και Βραδινή SUHI (Πηγή: Peng et.al.(2011))

Δεν παρατηρείται κάποια σχέση ανάμεσα στις βραδινές και ημερήσιες τιμές του SUHI, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Αυτό υποδηλώνει ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση του φαινομένου μεταβάλλονται προϊόντος του χρόνου.

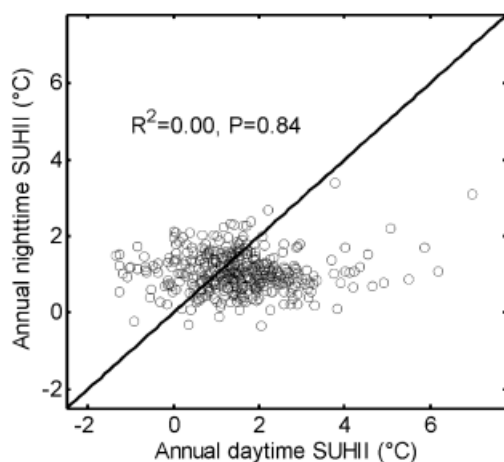


Figure 3. Relationship between annual mean daytime SUHI (°C) and annual mean nighttime SUHI (°C) averaged over the period 2003–2008 across 419 global big cities.

Εικόνα 4: Σχέση ανάμεσα στις ημερήσιες και βραδινές τιμές SUHI. (Πηγή: Peng et.al.(2011), Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities)

Κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, παρατηρούνται οι υψηλότερες ανοδικές ροές θερμότητας (upward heat fluxes) στις αστικές περιοχές λόγω των αισθητών ροών θερμότητας (sensible heat fluxes) και των λανθάνουσων ροών θερμότητας (latent heat fluxes) που οφείλονται κατά κύριο λόγο στην ακτινοβολία του ήλιου. Η κατανομή της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας ανάμεσα στη λανθάνουσα ροή θερμότητας και τη λογική θερμική ροή επηρεάζεται από την επικάλυψη της βλάστησης και τη διαπνοή της. Έτσι, η βλάστηση αναμένεται να ρίξει την επιφανειακή θερμοκρασία. Παρατηρείται αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στους δείκτες που έχουν να κάνουν με τη βλάστηση, όπως η Κατανεμημένη

Βλάστηση (Vegetation Continuous Fields - VCF), ο Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index - EVI) και το SUHII κατά τη διάρκεια του 24ώρου, σε διάφορες κλιματικές ζώνες και περιβάλλοντα υποστηρίζοντας έτσι τα αποτελέσματα της μελέτης.

Αντίθετα, η Ένταση Επιφανειακής Αστικής Θερμικής Νησίδας που εμφανίζεται την νύχτα δεν έχει συσχέτιση με την παρουσία βλάστησης. Κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, η ενέργεια που εκπέμπεται από τις επιφάνειες της γης στην ατμόσφαιρα προκύπτει από τη θερμότητα που συσσωρεύτηκε λόγω ηλιακής ακτινοβολίας κ.α. και απελευθερώνεται το βράδυ, μαζί με την θερμότητα που δημιουργείται λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας τις νυχτερινές ώρες. Η θερμότητα λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας συνδέεται με την πυκνότητα του πληθυσμού, και την ενεργειακή απόδοση συστημάτων μεταφοράς, συσκευών και υποδομών. Η θερμότητα που συσσωρεύεται στις επιφάνειες επηρεάζεται από την ανακλαστικότητα (albedo) και από τα υλικά που αποτελούν τις επιφάνειες, καθώς οι θερμικές τους ιδιότητες παίζουν καθοριστικό ρόλο. Κατά τις νυχτερινές ώρες, αυτή η ενέργεια απορρέει προς την ατμόσφαιρα, ανεβάζοντας τις θερμοκρασίες των πόλεων. Η έρευνα έδειξε μια αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στο νυχτερινό SUHII και την διαφορά στην ανάκλαση του φωτός (albedo) ανάμεσα σε αστικές και μη αστικές περιοχές. Σε πόλεις οι οποίες έχουν μικρότερη βλάστηση και χαμηλότερο επίπεδο ανάκλασης του φωτός (albedo) σε σχέση με τις αγροτικές περιοχές, παρατηρείται μια αλληλεπίδραση ανάμεσα στο νυχτερινό SUHII και στη διαφορά στην ανάκλαση του φωτός (δWSA), αντίθετα από τη θετική συσχέτιση ανάμεσα στο ημερήσιο SUHII και τη διαφορά στην ανάκλαση του φωτός (δWSA). Όσον αφορά τη διαφορά έντασης φωτός κατά τις βραδινές ώρες (δNL), παρατηρήθηκε πώς συνδέεται με τις διακυμάνσεις στη θερμοκρασία τόσο εντός των αστικών περιοχών όσο και εκτός κατά περίπου 13% (Shushi Peng et. al., 2011). Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η διαφορά στην πληθυσμιακή πυκνότητα μεταξύ των αστικών και περιαστικών περιοχών δεν είναι καθοριστική για την εμφάνιση του δείκτη θερμοκηπίου κατά τη νύχτα (SUHII) στις πόλεις. Έτσι, υποδεικνύεται ότι η θέρμανση, εκπροσωπεί ένα μικρό ποσοστό της θερμότητας που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, με μόνο 100 W ανά άτομο. Επιπλέον, η έκταση του αστικού ιστού επηρεάζει μόνο κατά περίπου 3% την εμφάνιση του SUHII στις πόλεις, οπότε δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντικός παγκοσμίως.

Είναι επιτακτικό να σημειωθεί ότι διάφορες κλιματικές συνιστώσες και η ανάπτυξη της οικονομίας δύναται να έχουν επιρροή στα αποτελέσματα. Συγκρίνοντας πόλεις με όμοια χαρακτηριστικά, όπως ευρωπαϊκές πόλεις, εξάχθηκε το συμπέρασμα πως υπάρχει μεγάλος συσχετισμός ανάμεσα στον ημερήσιο δείκτη θερμοκηπίου (SUHII) και στο μέγεθος της πόλης.

Παρατηρούνται επίσης διαφορές που εξαρτώνται από την εποχή. Ο δείκτης θερμοκηπίου κατά την ημέρα (ημερήσια SUHI) έχει μεγαλύτερη ποικιλία διαφορών μεταξύ του χειμώνα και του καλοκαιριού σε σύγκριση με τον νυχτερινό δείκτη (νυχτερινή SUHI). Οι πόλεις που εντοπίζονται σε μεσαίο μέχρι και υψηλό γεωγραφικό πλάτος παρουσιάζουν μεγαλύτερες εποχιακές διαφορές στην ημερήσια SUHI συγκριτικά με πόλεις που εντοπίζονται σε χαμηλότερο γεωγραφικό πλάτος. Αυτό εξαρτάται από την ποσότητα και την εποχή ανάπτυξης της βλάστησης σε κάθε περιοχή, για να επιτευχθούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερα ψυκτικά αποτελέσματα. Σε πόλεις με τροπικό κλίμα, όπου η χλωρίδα είναι πλούσια όλο το χρόνο, δεν παρουσιάζονται τέτοιες σφοδρές εποχιακές διαφορές στην ημερήσια SUHI, παρά ένα πιο σταθερό προφίλ. Ωστόσο, η νυχτερινή SUHI σε ποσοστό 86% των πόλεων δείχνει μικρή μεταβολή κάτω του 1°C ανά εποχή, κάτι που το περιμέναμε (Shushi Peng et. al., 2011). Υπάρχουν φυσικά πόλεις σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη που παρουσιάζουν πιο έντονη νυχτερινή SUHI λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται στην περισσότερη ηλιακή ενέργεια που απορρύνει ως θερμότητα την καλοκαιρινή περίοδο σε σημεία με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος και όχι στην παρουσία ή την απουσία βλάστησης, ούτε στη μέση θερμοκρασία της περιοχής.

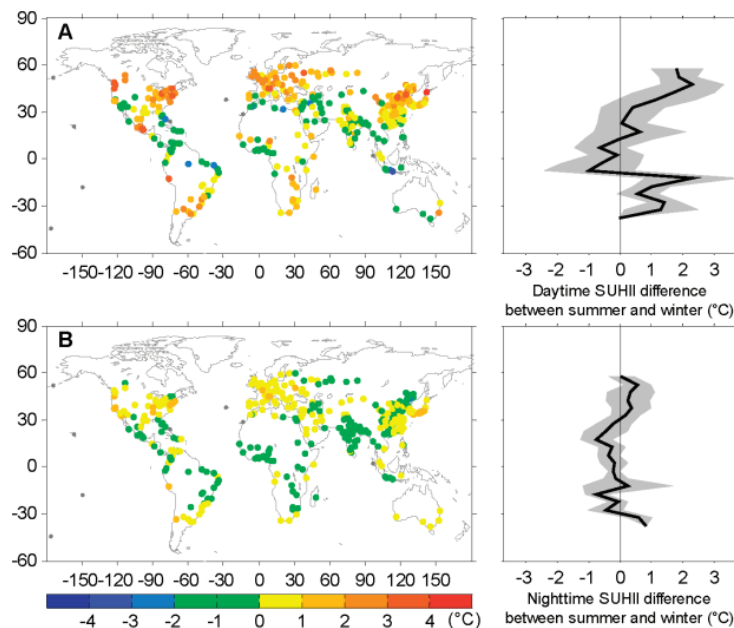


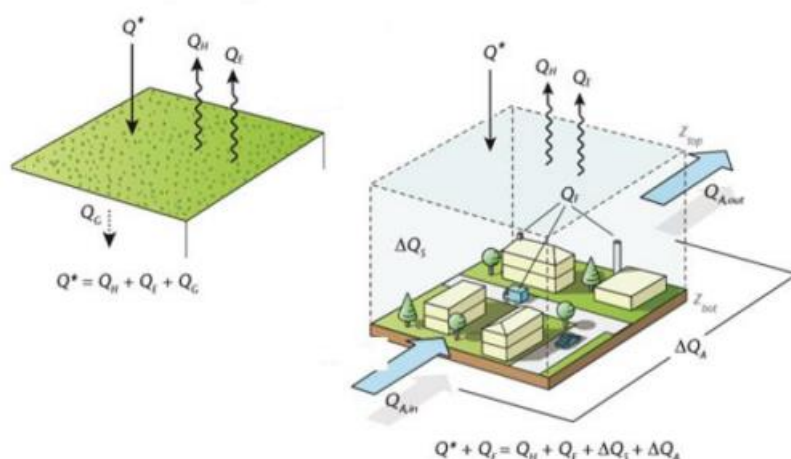
Figure 5. Spatial distribution of (A) average daytime SUHI difference between summer and winter (°C) and (B) average nighttime SUHI difference between summer and winter (°C) averaged over the period 2003–2008 across 419 global big cities. The two right plots beside (A) and (B) map are the latitudinal average of daytime and nighttime SUHI difference between summer and winter (°C), respectively. The black line indicates the average value, and the gray shaded areas are the uncertainty range indicated by mean \pm SD.

Εικόνα 5: Χωρική Κατανομή της (A) Μέσης Ημερήσιας διαφοράς SUHI μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα και (B) Μέση Νυχτερινή διαφορά SUHI μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα για την περίοδο 2003-2008 σε 419 Παγκόσμιες Μεγάλες Πόλεις.

(Πηγή: Peng et.al.(2011), Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities)

2.8 Παράγοντες που συνδέονται με την εμφάνιση της Αστικής Θερμικής Νησίδας

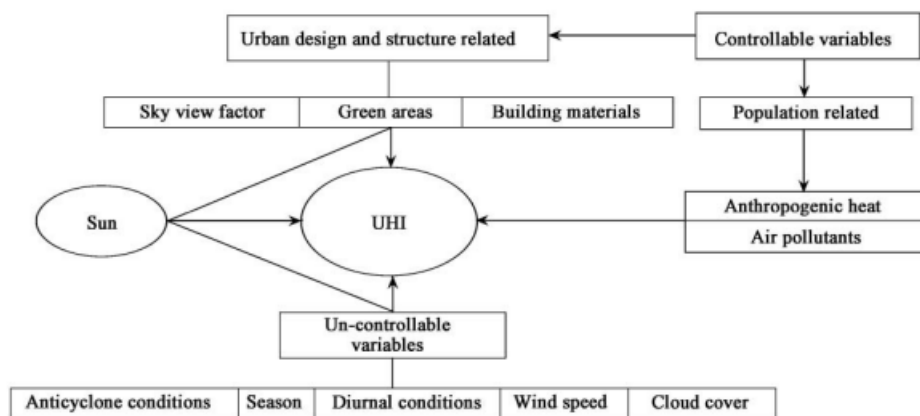
Η ΑΘΝ είναι αποτέλεσμα της έντονης αστικοποίησης και των διάφορων ανθρώπινων ενεργειών που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον. Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής μας βοηθά να κατανοήσουμε την έννοια της ενεργειακής ισορροπίας σε μια πόλη. Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής εξηγεί πως η ενέργεια δεν χάνεται ποτέ, άρα και η ενέργεια της ακτινοβολίας και των ανθρωπογενών πηγών δεν χάνεται. Η ενέργεια που μόλις αναφέραμε, σύμφωνα με μια σχέση, μπορεί ή να ανεβάσει τη θερμοκρασία του αέρα πλησίον των επιφανειών, ή να μετακινείται και να εξατμίζεται λόγω της υγρασίας, ή να δεσμεύεται στα υλικά ως θερμότητα.



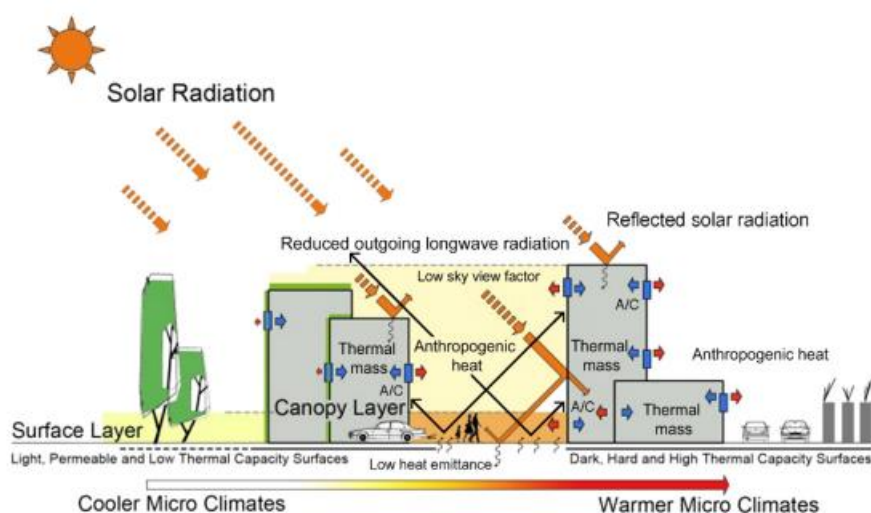
Εικόνα 6: Ενεργειακό Ισοζύγιο (Πηγή: Oke et al., 2017, Urban Climates)

Γίνεται μια προσπάθεια να κατηγοριοποιηθούν και να αναλυθούν οι συνιστώσες που παίζουν ρόλο στο φαινόμενο, διαχωρίζοντας τις συνιστώσες που δύναται να ελεγχθούν από εκείνες που δεν γίνεται να ελεγχθούν. Οι συνιστώσες που γίνεται να διαχειριστούν συνδέονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τα υλικά που υπάρχουν στις πόλεις. Οι συνιστώσες που δεν γίνεται να διαχειριστούν έχουν να κάνουν με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Εναλλακτικά, η κατηγοριοποίηση δύναται να γίνει μεταξύ μεταβλητών προσωρινής επίδρασης, όπως η κάλυψη των νεφών και η ταχύτητα του αέρα, μεταβλητών σταθερού αποτελέσματος, πχ. πράσινες περιοχές και τα κατασκευαστικά υλικά, και μεταβλητών κυκλικού αποτελέσματος,

όπως η ακτινοβολία του ηλίου και οι πηγές θερμότητας που οφείλονται σε ανθρώπινη δραστηριότητα (Rizwan et al., 2008).



Εικόνα 7: Σχηματισμός της ΑΘΝ Πηγή: (Rizwan et.al., 2008)



Εικόνα 7: Παράγοντες που συνδέονται με την εμφάνιση της αστικής θερμικής νησίδας (Πηγή: Ali Soltani, 2017, Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide)

Ελεγχόμενοι Παράγοντες

Η θερμότητα σε μια περιοχή δημιουργείται ή από την ανθρωπογενή δραστηριότητα ή από την ακτινοβολία του ηλίου, και οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτήν είναι ελέγξιμοι. Οι ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας μπορούν να θερμάνουν την ατμόσφαιρα απευθείας, ενώ η ακτινοβολία του ηλίου ζεσταίνει το περιβάλλον κατά ένα μικροσκοπικό ποσοστό απευθείας και κατά ένα υψηλότερο ποσοστό δια της απορρόφησης της από τα υλικά κτισμάτων και υποδομών και την απελευθέρωση θερμότητας αργότερα στο περιβάλλον. Η ιδιότητες των

υλικών που χρησιμοποιούνται στις πόλεις, η μείωση της χλωρίδας και η αστική γεωμετρία παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία.

1. Ανθρωπογενείς Παράγοντες

Οι πόλεις είναι περιοχές με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού, και ορισμένες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα, όπως οι βιομηχανικές δραστηριότητες ή οι μαζικές μετακινήσεις, επιδρούν στο περιβάλλον των αστικών ιστών και συντελούν στο φαινόμενο της ΑΘΝ. Αυτοί οι παράγοντες, γνωστοί ως ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας, αποτελούνται από τη θερμότητα η οποία εκπέμπεται από οχήματα, συσκευές θέρμανσης και ψύξης, ενεργειακά εργοστάσια και βιομηχανικές δραστηριότητες κ.α. Η ανθρωπογενής θερμότητα διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στις πόλεις παγκοσμίως, με μετρήσεις που είναι εμφανής στον παρακάτω πίνακα (Rizwan et al., 2008). Η θερμότητα που παράγεται λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας επηρεάζεται από την πληθυσμιακή πυκνότητα και την καταναλισκόμενη ενέργεια ανά κάτοικο (Oke, 1982), ενώ επιδρά σε μικρότερη κλίμακα στην ένταση της ΑΘΝ σε σχέση με την ανακλαστικότητα και τη κάλυψη από φυτά (Taha, 1997). Σε τόπους με ψυχρό κλίμα, η ανθρωπογενής θερμότητα μπορεί να έχει σημαντική επίδραση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αφού λόγω χαμηλών θερμοκρασιών αυξάνεται η ζήτηση ενέργειας για θέρμανση και, ως εκ τούτου, η απελευθέρωση της θερμότητας λόγω ανθρωπογενούς δραστηριότητας αυξάνεται (Offerle et al., 2006). Η ανθρωπογενής θερμότητα νοείται ως ελέγξιμος παράγοντας και παρουσιάζει αποκλίσεις που επηρεάζονται από την εποχή, την ημέρα της εβδομάδας και την ώρα. Κατά διαστήματα με ήπιες θερμοκρασίες, δεν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη των κτιρίων, ενώ τις νυχτερινές ώρες οι βιομηχανικές δραστηριότητες και οι μετακινήσεις περιορίζονται. Αυτό επιφέρει τον περιορισμό των εκπομπών ενέργειας στις πόλεις λόγω αυτών των περιορισμών (Rizwan et al., 2008).

Table 2 Reported anthropogenic heats in various parts of the world

Residual of other terms method	Reported anthropogenic heat (W/m ²)	Reference
Basel, Switzerland	5–20	Christen and Vogt, 2004
Lodz, Poland	32	Offerle <i>et al.</i> , 2005
Reykjavik, Iceland	35	Steinecke, 1999
USA	60–75	Sailor and Lu, 2004
Tokyo, Japan	200–1590	Ichinose <i>et al.</i> , 1999

Εικόνα 8: Ανθρωπογενείς Θερμοκρασίες σε Διάφορα Μέρη του Κόσμου (Πηγή: Rizwan et.al., 2008, A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island)

Επιπλέον, οι ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση που δημιουργείται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Κατά τη διάρκεια της μέρας, η ακτινοβολία του ήλιου που καταφθάνει στην επιφάνεια της γης μειώνεται, με την παρουσία αερολυμάτων να έχει τη μεγαλύτερη επίδραση. Παράλληλα, τα σωματίδια ρύπανσης απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες ακτινοβολίας σε σχέση με αυτή που αντανακλάται. Ως εκ τούτου αυξάνεται η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα. Κατά τις πρωινές ώρες είναι περίπλοκο να καθορισθεί σε ποιο βαθμό η αστική θερμική νησίδα επηρεάζεται από την ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν λείπει ο ηλιακός παράγοντας, παίζει καθοριστικό ρόλο στην αυξημένη θερμοκρασία στον αστικό χώρο.

2. Υλικά Κατασκευής

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στον αστικό χώρο διαφοροποιούνται στην ικανότητά τους να απορροφούν και να ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, και αυτό επηρεάζει την εκπομπή θερμότητας τους κατά τις νυχτερινές ώρες όταν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας πέφτει (Rizwan et al., 2008). Αυτό αποκαλείται "αλβέδο" (albedo) ή "ανακλαστικότητα" και αποτελεί τον λόγο της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία πάνω σε ένα αντικείμενο, μετρημένο σε ποσοστό. Τα σκούρα και μη ανακλαστικά υλικά έχουν χαμηλό albedo. Παραδείγματος χάριν, τα σκούρα υλικά με τα οποία κατασκευάζονται δρόμοι και σκεπές παρουσιάζουν ποσοστό albedo 5%, καθώς απορροφούν μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας. Αντίθετα οι επιφάνειες με ανοιχτά χρώματα έχουν υψηλό ποσοστό albedo (65% ή και μεγαλύτερο), ανακλώντας την περισσότερη ενέργεια (Hulley, 2012). Στις πόλεις συναντάμε συχνότερα σκούρα υλικά, και γενικά οι επιφάνειες χαρακτηρίζονται από πιο χαμηλές τιμές albedo σε σύγκριση με τις φυσικές επιφάνειες του περιβάλλοντος εκτός των πόλεων. Αυτό

συμβάλλει στην ενίσχυση του φαινομένου της επιφανειακής και ατμοσφαιρικής θερμικής νησίδας.

Πέρα από το albedo των υλικών, πρέπει να λάβουμε υπόψη και τη θερμική εκπομπή ή θερμική εκπέμπουσα ικανότητα τους. Η θερμική εκπομπή αναφέρεται “στην αναλογία του ρυθμού της ενέργειας ακτινοβολούμενης θερμότητας που απελευθερώνεται από ένα σώμα σε μια δεδομένη θερμοκρασία με την ταχύτητα της ακτινοβολούμενης θερμικής ενέργειας που εκπέμπεται από ένα μαύρο σώμα στην ίδια θερμοκρασία” (Hulley, 2012). Αυτό επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και από το φινίρισμα της επιφάνειας. Η θερμική εκπομπή έχει διακύμανση από το 0 έως το 1, με υψηλότερες τιμές να υποδηλώνουν μεγαλύτερη εκπομπή θερμότητας. Κατά τις πρωινές ώρες, τα υλικά συσσωρεύουν την ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος και αυξάνουν τη θερμοκρασία τους, ανάλογα με τη θερμική εκπομπή τους. Κατά τις νυχτερινές ώρες, εκπέμπουν αυτή τη θερμότητα καθώς ψύχονται. Οι επιφάνειες με υψηλή θερμική εκπομπή διατηρούνται ψυχρές, αφού αποδεσμεύουν τη θερμότητα πιο εύκολα και γρήγορα.

Επιπλέον, η θερμοχωρητικότητα των υλικών παίζει σημαντικό ρόλο στην ΑΘΝ. Η θερμοχωρητικότητα αναφέρεται στο ποσό της ενέργειας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός υλικού κατά 1°C. Η θερμοκρασία μιας επιφάνειας θα αυξηθεί καθώς δεν εκπέμπεται ολόκληρη η ποσότητα ηλιακής ενέργειας. Ορισμένα οικοδομικά υλικά, όπως ο χάλυβας και η πέτρα, έχουν πιο υψηλή θερμοχωρητικότητα σε σύγκριση με υλικά που υπάρχουν στο εξωτερικό περιβάλλον, όπως το έδαφος και η άμμος. Με αυτόν τον τρόπο, οι αστικές περιοχές αποδεικνύονται περισσότερο αποδοτικές στην αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας ως θερμότητα στις υποδομές τους. Συγκρίνοντας τα κέντρα μεγάλων πόλεων με το αγροτικό περιβάλλον γύρω τους, τα πρώτα έχουν την δυνατότητα να δεσμεύσουν και να αποθηκεύσουν περίπου 2 φορές τα ποσοστά θερμότητας που μπορεί να δεσμεύσει και να αποθηκεύσει το αγροτικό περιβάλλον γύρω τους.

3. Πράσινες Περιοχές

Εκτός από τις τεχνητές επιφάνειες που σκεπάζουν τις περισσότερες αστικές περιοχές, υπάρχουν επίσης φυσικές περιοχές εντός των πόλεων που έχουν κρίσιμη σημασία για το φαινόμενο της ΑΘΝ. Ένας τρόπος για να επηρεάσουμε αυτό το φαινόμενο είναι μέσω της σκίασης, η οποία συμβάλλει στον περιορισμό της θερμοκρασίας των επιφανειών. Μια εναλλακτική είναι μέσω της διαπνοής. Στη διαπνοή, αυξάνεται η θερμοκρασία της υγρασίας στο εσωτερικό των φυτών από τον ήλιο, δημιουργώντας υδρατμούς που απελευθερώνονται μέσω μικρών ανοιγμάτων στην επιφάνεια των φύλλων, γνωστά ως "στόματα". Οι υδρατμοί που απελευθερώνονται από τα φυτά

δεσμεύουν θερμότητα, με αποτέλεσμα την ψύξη των φυτών και της ατμόσφαιρας. Ενώ οι πόλεις αναπτύσσονται, η ποσότητα της βλάστησης περιορίζεται και τεχνητά υλικά κατασκευής καλύπτουν συνεχώς περισσότερες επιφάνειες. Αυτή η μεταβολή στις επιφάνειες του εδάφους επιφέρει λιγότερη σκίαση και υγρασία, που είναι απαραίτητα στοιχεία ώστε να διατηρηθεί η δροσιά στις αστικές περιοχές. Οι πόλεις που απαρτίζονται κατά 75-100% από αδιαπέραστες επιφάνειες, έχουν μικρότερη υγρασία στις επιφάνειες για διαπνοή σε σχέση με τις φυσικές επιφάνειες που έχουν μικρότερη από 10% αδιαπέραστη κάλυψη (Hulley, 2012).

4. Αστική Γεωμετρία

Ανεξαρτήτως των υλικών κατασκευής και των επιφανειακών επικαλύψεων στον αστικό χώρο, η αστική γεωμετρία επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Αυτός ο όρος αφορά το ύψος και την απόσταση των κτισμάτων στο αστικό περιβάλλον, που επηρεάζουν την τοπική κλιματική μεταβλητότητα λόγω της αλληλεπίδρασής τους με την ακτινοβολία και τη ροή του ανέμου. Στα αστικά κέντρα συχνά παρατηρείται πυκνή δόμηση σε μικρές περιοχές. Αυτό προκαλεί μείωση στη δυνατότητα απελευθέρωσης θερμότητας από τις επιφάνειες, λόγω της μειωμένης θέασης προς τον ουρανό (sky view factor). Σύμφωνα με τη μελέτη του Oke (1988), ο όρος "sky view factor" αναφέρεται 'στην αναλογία μεταξύ της ακτινοβολίας που φτάνει σε μια επίπεδη επιφάνεια και της ακτινοβολίας από ολόκληρο το ημισφαιρικό περιβάλλον'. Αν ο sky view factor είναι 0, η εκπομπή ακτινοβολίας περιορίζεται από εμπόδια (άλλα κτίρια στο αστικό τοπίο), ενώ όταν η τιμή είναι 1, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να εξαπλωθεί ελεύθερα στην ατμόσφαιρα (Svensson, 2004). Όπου υπάρχει πυκνή δόμηση, οι εκπομπές θερμότητας περιορίζονται από τα κοντινά κτίσματα, με αποτέλεσμα την δυσκολία ψύξης των κτιρίων και της γενικότερης περιοχής, ειδικά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Πολλές μελέτες επικεντρώνονται στην έρευνα των αστικών φαραγγίων (urban canyons), που προκύπτουν από την ανάπτυξη ψηλών κτιρίων κατά μήκος στενών οδών. Αυτά τα σημεία εμφανίζουν αμφίδρομη συμπεριφορά όσον αφορά την συμβολή τους στην αστική θερμική νησίδα, καθώς παρέχουν σκιά τις πρωινές ώρες μειώνοντας τις επιφανειακές και ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες, αλλά παράλληλα η ακτινοβολία δεσμεύεται στα τοιχία των κοντινών κτιρίων. Ως εκ τούτου, μειώνεται η συνολική ανακλαστικότητα της πόλης (Sailor & Fan, 2002).

Μη ελεγχόμενοι Παράγοντες

Παράγοντες που δεν δύναται να ελεγχθούν, όπως παραδείγματος χάριν οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν, η εναλλαγή ημέρας και νύχτας, οι εποχές που αλλάζουν και η τοπογραφική θέση, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό των ιδιαίτερων

κλιματολογικών συνθηκών που εμφανίζονται στους αστικούς ιστούς. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας είναι ιδιαίτερα έντονο κατά τις ημέρες με έντονη ηλιακή ακτινοβολία και με ήρεμους ανέμους. Η έλλειψη νεφοκάλυψης επιτρέπει την ενίσχυση της ακτινοβολίας που φτάνει στις επιφάνειες, ενώ οι συνθήκες ανέμου χαμηλής έντασης ελαττώνουν την θερμοκρασία με πιο αργούς ρυθμούς. Κατά συνέπεια, κατά τις πρωινές ώρες αποθηκεύεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας και η απομάκρυνσή της δυσκολεύεται κατά τις νυχτερινές ώρες (Gartland, 2008). Επιπλέον, η τοποθεσία, το κλίμα και τα ειδικά τοπογραφικά στοιχεία του εκάστοτε τόπου παίζουν κρίσιμο ρόλο στην ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Παρατηρείται ότι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας είναι πιο έντονο κατά τη καλοκαιρινή περίοδο και συνολικά τους μήνες με πιο υψηλές θερμοκρασίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε τροπικές περιοχές, η διαφοροποίηση του φαινομένου είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια ξηρών και υγρών περιόδων εν αντιθέσει με τους μήνες του καλοκαιριού και του χειμώνα. Μελέτες που έλαβαν χώρα στην πόλη του Μεξικό (Jauregui, 1997) και τη Γκουανταλαχάρα του Μεξικό (Tereshchenko & Filonov, 2001) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν αρνητικές εντάσεις θερμότητας στο φαινόμενο της ΑΘΝ τους μήνες που βρέχει, καθώς η υγρασία στο αγροτικό περιβάλλον αυξάνει τη θερμική πρόσληψη του εδάφους (Arnfield, 2003).

Οι παράκτιες περιοχές επηρεάζονται από τη θαλάσσια αύρα, η οποία επηρεάζει την υγρασία και την κυκλοφορία του αέρα μέσα στις αστικές περιοχές. Επίσης, οι πόλεις που εντοπίζονται δίπλα σε ογκώδη σώματα νερού δέχονται επιρροές από την υψηλή θερμοχωρητικότητα του νερού. Τους φθινοπωρινούς μήνες οι περιοχές κοντά σε μεγάλα σώματα νερού είναι πιο ζεστές, ενώ την άνοιξη είναι πιο ψυχρές σε σύγκριση με αγροτικά σημεία εξαιτίας της χαμηλότερης θερμοκρασίας της θάλασσας (Freitas et al., 2007). Επιπλέον, αστικά κέντρα που παρουσιάζουν συχνά βροχοπτώσεις, παρουσιάζουν επίσης διακυμάνσεις στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ κατά την περίοδο των έντονων βροχών (Giannaros & Melas, 2012). Οι συνιστώσες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στον σχηματισμό του φαινομένου της ΑΘΝ είναι πολλοί και αλληλοδιαμορφώνονται, καθώς επίσης δύναται να επηρεάζουν κάθε πόλη με διαφορετικό τρόπο. Επομένως, απαιτείται η ειδική εξέτασή τους ανά περίπτωση, προκειμένου να αντληθούν απτά και αξιόπιστα συμπεράσματα.

2.9 Περιβαλλοντικές και Οικονομικές

Επιπτώσεις της Αστικής Θερμικής Νησίδας

Είναι γεγονός ότι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται ποικίλες επιπτώσεις, οι οποίες επιδρούν τόσο στο ίδιο το περιβάλλον, όσο και στην κοινωνία, αλλά και στην οικονομία, ενώ επηρεάζεται άμεσα και η ποιότητα ζωής των κατοίκων των πόλεων. Πιο συγκεκριμένα, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και της περιορισμένης σκίασης, αλλά και των αυξημένων επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εντείνονται τα προβλήματα υγείας, καθώς επίσης και η θνησιμότητα, ιδίως των ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού. Περαιτέρω, εξαιτίας της εμφάνισης των Αστικών Θερμικών Νησίδων, αυξάνονται τα επίπεδα ρύπανσης, καθώς επίσης και το κόστος της ενέργειας που καταναλώνουν οι κάτοικοι των πόλεων. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος αυξάνεται εξαιτίας και της ανάγκης ενσωμάτωσης στο επιχειρηματικό μοντέλο των επιχειρήσεων των επιπτώσεων που προκαλεί το υπό εξέταση φαινόμενο.

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν όπως αναφέρθηκε επιπτώσεις για το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, δύναται να υπάρξουν και θετικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα είναι η δυνατότητα επιμήκυνσης της εποχής ανάπτυξης των φυτών. Ακόμη, σε ψυχρές πόλεις, οι οποίες όμως διαθέτουν και μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, αλλά και μεγάλο υψόμετρο, οι επιδράσεις του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, δύναται να είναι ευεργετικές. Παρά τις πιθανές αυτές θετικές επιδράσεις, στις περισσότερες πόλεις, οι συνέπειες του φαινομένου αυτού είναι αρνητικές και αντιμετωπίζονται ως πρόβλημα.

Ειδικότερα, όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία και την άνεση των κατοίκων των πόλεων, οι υψηλές θερμοκρασίες που απαντώνται κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε συνδυασμό με τον περιορισμένο νυχτερινό δρόσο, καθώς και σε συνδυασμό με τα υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οδηγούν σε δυσφορία, αλλά και σε αναπνευστικές δυσλειτουργίες. Επιπρόσθετα, η Αστική Θερμική Νησίδα μπορεί να συμβάλλει στην επιδείνωση των θερμικών κυμάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας. Οι συνέπειες της ΑΘΝ είναι περισσότερο έντονες στα παιδιά, καθώς επίσης και στους ηλικιωμένους, όπως και στα άτομα τα οποία αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας. Αξιοσημείωτο δε, είναι το γεγονός ότι η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας σε πολύ υψηλά επίπεδα, θεωρείται επικίνδυνο φαινόμενο και μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στην αύξηση του ποσοστού θνησιμότητας. Δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι η πλέον κατάλληλη θερμοκρασία για τον άνθρωπο κυμαίνεται μεταξύ 18-22°C, σε συνδυασμό με υγρασία που κυμαίνεται στα επίπεδα 30-60%, καθώς και ασθενή άνεμο που δεν ξεπερνούν τα 2m/sec. Μέσω των επιμέρους βιοκλιματικών δεικτών, παρέχεται ο κατάλληλος συνδυασμός

των κλιματικών παραμέτρων που επιδρούν στις συνθήκες διαβίωσης, καθώς επίσης και στη βιολογική ευεξία του ανθρώπου (Taha et al.,2004).

Από τους πλέον σημαντικούς βιοκλιματικούς δείκτες θεωρείται ο δείκτης δυσφορίας (discomfort index), ο οποίος συνδυάζει τη θερμοκρασία του αέρα με τη σχετική υγρασία, ενώ στο πέρασμα του χρόνου αναπτύχθηκαν ακόμη πιο σύνθετοι δείκτες, όπως είναι για παράδειγμα η φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία (physiologically equivalent temperature), μέσω της οποίας προσδιορίζεται η θερμική άνεση και λαμβάνει υπόψη και το ενεργειακό ισοζύγιο του οργανισμού (Matzarakis & Nastos,2011).

Επιπλέον, εξαιτίας του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, υπάρχει υποβίβαση της ποιότητας του νερού, εξαιτίας της θερμικής ρύπανσης που απαντάται. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στα πεζοδρόμια, καθώς και στις στέγες οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 27-50°C υψηλότερα, σε σχέση με τις θερμοκρασίες που επικρατούν στον αέρα και έτσι η θερμότητα αυτή μεταφέρεται στα όμβρια ύδατα, τα οποία αποστραγγίζονται στους υπονόμους και οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων. Τα πεζοδρόμια που η θερμοκρασία τους κυμαίνεται στα επίπεδα των 38°C, δύναται να οδηγήσουν σε αύξηση της αρχικής θερμοκρασίας των όμβριων υδάτων από 21°C έως και 35°C (James,2002). Η θερμοκρασία των υδάτων επιδρά σε όλες τις εκφάνσεις της υδρόβιας ζωής, εστιάζοντας κατά κύριο λόγο στον μεταβολισμό, καθώς επίσης και στην αναπαραγωγή των υδρόβιων ειδών. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας που λαμβάνουν χώρα με μεγάλη ταχύτητα, εξαιτίας της απορροής των θερμών όμβριων υδάτων, δύναται να προκαλέσουν ένταση στα υδρόβια οικοσυστήματα, ενώ μπορεί να οδηγήσουν ακόμη και σε σημαντικές διαταραχές στην υδρόβια ζωή. Μεταξύ των αστικών και αγροτικών περιοχών, η απορροή μπορεί να διαφέρει σημαντικά ως προς την θερμοκρασία, με τη διαφορά αυτή να κυμαίνεται στα επίπεδα 11-17°C, κατά τις θερινές ώρες, όταν η θερμοκρασία του πεζοδρομίου είναι υψηλότερη κατά 11-19°C της θερμοκρασίας πεζοδρομίου (Roa-Espinosa et al.,2003).

3

Προσδιορισμός των περιοχών όπου παρατηρείται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας

3.1 Εισαγωγή

Η θερμική νησίδα είναι το πιο τεκμηριωμένο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής (Santamouris, 2001). Συνδέεται με πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα στις κεντρικές αστικές περιοχές σε σύγκριση με τις γύρω αγροτικές και προαστιακές ζώνες. Το μέγεθός της σχετίζεται κυρίως με την πυκνότητα των κτιρίων, τη χρήση απορροφητικών υλικών στα τον αστικό ιστό, τα χαρακτηριστικά του αστικού φαραγγιού, την έλλειψη πρασίνου χώρων και την παραγωγή αυξημένης ανθρωπογενούς θερμότητας (Oke, Johnson, Steyn, & Watson, 1991). Η θερμική νησίδα έχει πολύ σημαντική αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο, αυξάνει τη συγκέντρωση των ρύπων και προκαλεί ανθρώπινη δυσφορία και προβλήματα υγείας (Cartalis et al., 2001- Hassid et al., 2000- Santamouris et al., 2001- Santamouris, Paraponiaris, & Μιχαλακάκου, 2007- Santamouris, Pavlou, Synnefa, Niachou, & Κολοκοτσά, 2007- Σταθοπούλου, Μιχαλακάκου, Σανταμούρης, & Bagiorgas, 2008).

Η καταπολέμηση της αύξησης της θερμοκρασίας και της θερμικής νησίδας στις πόλεις περιλαμβάνει τη χρήση πολλών τεχνικών μετριασμού, όπως η εφαρμογή ανακλαστικών υλικών, οι πρόσθετοι χώροι πρασίνου, η αυξημένη ψύξη με συναγωγή, η χρήση νερού κ.ά. (Akbari et al,1992). Ειδικότερα, η χρήση ψυχρών υλικών που παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και υψηλό συντελεστή εκπομπής συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας των πόλεων (Akbari et al., 2009- Synnefa, Santamouris, & Livada, 2006- Santamouris, Synnefa, Kolokotsa, Dimitriou, & Apostolakis, 2008- Synnefa, Santamouris, & Αποστολάκης, 2007). Εκτεταμένοι χώροι πρασίνου και φυτεμένες στέγες έχουν επίσης πολύ σημαντικό αντίκτυπο στο θερμοκρασιακό καθεστώς των πόλεων (Santamouris, Pavlou, Doukas, et al., 2007). Προηγούμενες μελέτες στην Αθήνα επιβεβαίωσαν την ύπαρξη ενός ισχυρού φαινομένου θερμικής νησίδας (Mihalakakou, Flocas, Santamouris, & Helmis, 2002). Η συσχέτιση της θερμικής νησίδας με τις συνοπτικές κλιματικές συνθήκες έχουν εντοπιστεί (Livada, Santamouris, Niachou, Papanikolaou, & Michalakou, 2002), ενώ η επίδραση της επιφανειακής θερμοκρασίας και των συνθηκών του ανέμου έχουν αναλυθεί (Stathopoulou et al., 2009). Παράλληλα, οι επιπτώσεις διαφόρων τεχνικών μετριασμού που περιλαμβάνουν δροσερά και ανακλαστικά υλικά έχουν προσδιοριστεί.

3.2 Το πρόβλημα της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, υπάρχουν πολλές τεχνικές αναφορές που βασίζονται στις μετρήσεις θερμοκρασίας που καταγράφονται από μετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτές οι αναφορές έχουν δημοσιευθεί τα τελευταία 15 χρόνια και έχουν εξετάσει την ύπαρξη της Φαινομένου του Θερμικού Νησιού, στην Αθήνα και σε άλλες πιο μικρές πόλεις.

Η ευρύτερη περιοχή των Αθηνών εντοπίζεται νοτιοανατολικά στην ηπειρωτική χώρα της Ελλάδας. Αυτήν την περιοχή χωρίζουν βουνά σε 3 βασικά τμήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω μικρών ανοιγμάτων (Assimakopoulos et al., 2007). Το τμήμα στο κέντρο αποτελεί το λεκανοπέδιο των Αθηνών, έχοντας έκταση 430km², και έχει τον κύριο άξονά του που χαράζει από τα νότια-νοτιοδυτικά προς τα βόρεια-βορειοανατολικά.

Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών είναι Μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Ο μέσος όρος των θερμοκρασιών φτάνει από 9.3°C τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριο) έως 27°C τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιο), ενώ η βροχόπτωση ανά έτος ανέρχεται σε 376 χιλιοστά. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη παρουσία ηλίου με

ετήσιο αριθμό ωρών ηλιοφάνειας που φτάνει τις 2,884 ώρες, δηλαδή περίπου 120 ημέρες. Σχετικά με τα κυρίαρχα κλιματικά φαινόμενα, η αντικυκλωνική κυκλοφορία υπερισχύει στην περιοχή των Αθηνών, κυρίως τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο (Kassomenos et al., 1998). Η κυρίαρχη αντικυκλωνική κυκλοφορία στην Αθήνα ενδυναμώνει την εμφάνιση της θερμικής νησίδας (Mihalakakou et al., 2002).

Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα και πιο η μεγάλη πόλη στην Ελλάδα, άρα αντιπροσωπεύει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγάλου αστικού κέντρου, που έχει πυκνή δόμηση στο κέντρο και λιγότερο πυκνή στις γύρω περιοχές. Η Αθήνα ανήκει στις οκτώ πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις της ΕΕ, σύμφωνα με τη Eurostat (2004). Επιπλέον, η Αθήνα συγκεντρώνει το σημαντικότερο μέρος των διοικητικών, εμπορικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτιστικών δραστηριοτήτων της χώρας (Stathorouli & Cartalis, 2006· Τράπεζα της Ελλάδος, 2011). Επιπρόσθετα, η κατασκευή του αερολιμένα στα Σπάτα και μεγάλων οδικών αρτηριών, όπως η Αττική Οδός, συμβάλλει σημαντικά στις πιο συχνές μετακινήσεις των κατοίκων προς τις περιοχές των προαστίων.

Οι Santamouris et al. (2001) ανέδειξαν ότι η Θερμική Νησίδα στην Αθήνα οδηγεί σε περιστασιακή διπλασιασμένη ανάγκη για ψύξη στα αστικά κτίρια, με την ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη να φτάνει ως και τρεις φορές πιο πάνω σε περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών. Η Αθήνα παρουσιάζει μια έντονη Θερμική Νησίδα, η οποία οφείλεται κυρίως στην επιταχυνόμενη διαδικασία της αστικοποίησης και της εκβιομηχάνισης τα τελευταία χρόνια. Η ΑΘΝ παρουσιάζεται και τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες αλλά και κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, με θερμοκρασία στο κέντρο της πόλης που φτάνει κατά μέσο όρο μεταξύ 6-12°C (Santamouris et al. 1999) (Mihalakakou et al. 2002).

Οι Livada et al. (2002) διεξήγαγαν μια μελέτη σχετικά με τη Θερμική Νησίδα στην Αθήνα και στις τριγύρω περιοχές της, με σκοπό να προσδιορίσουν τις περιοχές όπου παρατηρείται το φαινόμενο αυτό. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, εξετάστηκαν σημαντικοί κλιματικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, και συνδυάστηκαν με στατιστικές αναλύσεις. Για την επιλογή των τοποθεσιών των μετεωρολογικών σταθμών, λήφθηκαν υπόψη παράγοντες όπως η κυκλοφορία, η παρουσία βλάστησης, η πυκνότητα των κτιρίων και άλλοι. Οι θερμοκρασιακές μετρήσεις για κάθε σταθμό χρονολογήθηκαν σε τέσσερις διάφορες εποχές (καλοκαίρι, μεταβατικό καλοκαίρι, χειμώνας, μεταβατικός χειμώνας). Ο διαχωρισμός αυτός δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κατηγοριοποίηση σε αστικές και ημιαστικές περιοχές. Αντ' αυτού, η κατηγοριοποίηση σε αυτές τις δύο περιοχές είχε ως βάση συγκεκριμένες θερμοκρασιακές τιμές (26°C για το καλοκαίρι, 15°C για το χειμώνα). Οι Livada et al. (2002) ταξινόμησαν είκοσι σημεία που καταγράφουν την θερμοκρασία και είχαν τοποθετηθεί στα πλαίσια του POLIS, ενός προγράμματος που έλαβε χώρα από το 1996(Ιούνιο) έως το 1998(Μάρτιο), καλύπτοντας 22 μήνες μετρήσεων. Οι αισθητήρες

πραγματοποίησαν 7.600 μετρήσεις διάρκειας 1 ώρας με ακρίβεια $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ και ανάλυση καταγραφής $0,5^{\circ}\text{C}$. Βάσει των αποτελεσμάτων, η επιρροή της ΑΘΝ ήταν έντονη στο κέντρο της πόλης, όπου καταγράφονταν αυξημένες θερμοκρασίες κατά $5-6^{\circ}\text{C}$. Αυτές οι περιοχές επηρεάστηκαν από την παρουσία ασφαλτικών δρόμων και την υψηλή κυκλοφορία των οχημάτων. Η μελέτη των Livada et al. (2002) έδειξε ότι η Αστική Θερμική Νησίδα εμφανίζεται έντονα στο κέντρο και δυτικά της Αθήνας. Ωστόσο υπάρχουν αυξομειώσεις στην έντασή του, ειδικά στο κέντρο και προς τις ανατολικές παραθαλάσσιες περιοχές, λόγω της παρουσίας χλωρίδας στην περιοχή.

Οι Synnefa et al. (2006) ανέδειξαν τα ευρήματα ενός συγκριτικού ερευνητικού έργου που εξέτασε τον αντίκτυπο 14 διαφορετικών τύπων αντανακλαστικών επιχρισμάτων, τα οποία επιλέχθηκαν από την παγκόσμια αγορά, στον περιορισμό της θερμοκρασίας των κτισμάτων και άλλων σημείων στην πόλη. Αυτό είχε ως στόχο τον έλεγχο της καταλληλότητάς τους στη ελάττωση των περιβαλλοντικών θερμοκρασιών και την αντιμετώπιση της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Βάση μιας προηγούμενης έρευνας των Doulos et al. (2004), από το Πανεπιστήμιο Αθηνών, τα υλικά κατατάχθηκαν βάσει της θερμικής τους απόδοσης και των φυσικών ιδιοτήτων σε ψυχρά και θερμά υλικά (Doulos et al., 2004). Η μελέτη έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της περιόδου Αυγούστος-Οκτώβριος 2004, σε 24ωρη βάση, με τη χρήση αισθητήρων καταγραφής της επιφανειακής θερμοκρασίας, συστήματος καταγραφής δεδομένων και διαδικασιών υπέρυθρης φωτογράφισης. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της φασματικής ανάκλασης και της υπέρυθρης εκπομπής από τα δείγματα. Το ανακλαστικό επίστρωμα φάνηκε ότι μειώνει τη θερμοκρασία της επιφάνειας ενός λευκού πλακιδίου από μπετόν κατά 4°C κατά την περίοδο υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού και έως 2°C κατά τις βραδινές ώρες. Μια τέτοια επιφάνεια δύναται να είναι πιο ζεστή σε σχέση με την περιβαλλοντική θερμοκρασία κατά 2°C την ημέρα και πιο δροσερή έως $5,9^{\circ}\text{C}$ τις βραδινές ώρες.

Η έλλειψη πράσινων περιοχών στην αστική περιοχή φαίνεται να διαδραματίζει ένα καίριο ρόλο στον διαμορφωτικό χαρακτήρα της ΑΘΝ στην Αθήνα, καθώς σχεδόν εξαφανίζεται σε τμήματα της Αθήνας όπου υπάρχει γεμάτη και ακμάζουσα χλωρίδα, όπως στον Εθνικό Κήπο (Livada et al., 2002). Ωστόσο, η θετική επιρροή του Εθνικού Κήπου στη θερμοκρασία εξαλείφεται μόλις λίγα μέτρα μακριά, κατά μήκος των κεντρικών οδών πολυσύχναστης αστικής κυκλοφορίας (Zouliá et al., 2008) (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011).

Εξ αιτίας των αστικών συνθηκών, της κυκλοφοριακής φόρτισης, της θερμότητας που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και της ολικής αρμονίας σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή, οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις μεταξύ του Εθνικού Κήπου και άλλων σημείων της Αθήνας κινούνται από $0-13^{\circ}\text{C}$ κατά τις πρωινές ώρες, με θερμοκρασιακή διαφορά κατά μέσο όρο περίπου $7-8^{\circ}\text{C}$. Ο Εθνικός Κήπος έχει τις μικρότερες

θερμοκρασιακές αποκλίσεις συγκριτικά με την κεντρική λεωφόρο Ερμού, αντίθετα προς άλλες περιοχές της πόλης, όπως η οδός Ιπποκράτους. Συνολικά, τις πρωινές ώρες, οι κεντρικές περιοχές της Αθήνας έχουν πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις προάστιες περιοχές. Συγκεκριμένα, το κέντρο της πόλης παρουσιάζεται 7-8°C θερμότερο από τις προάστιες περιοχές. Στον κόμβο της Ιπποκράτους, όπου υπάρχει υψηλή κυκλοφορία, η διαφορά αγγίζει τα 12-13°C. Οι θερμοκρασίες αυξάνονται ασύμμετρα σε διάφορα σημεία της Αθήνας ανάλογα με το θερμικό φόρτο που υφίστανται (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011).

Οι Stathoroulou & Cartalis (2006) πραγματοποίησαν μια ανάλυση του θερμικού περιβάλλοντος σε διάφορες μεγάλες πόλεις της Ελλάδας, συμπεριλαμβανομένων της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης, της Πάτρας, του Βόλου και του Ηρακλείου (Stathoroulou & Cartalis, 2006). Χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες από τον αισθητήρα Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+), ο οποίος είναι εγκατεστημένος σε έναν δορυφόρο Landsat 7. Η χρονική περίοδος των εικόνων ταυτίζεται με τη διάρκεια των πρωινών ωρών και τα θερμά χρονικά διαστήματα, όταν η επιρροή της Αστικής Θερμικής Νησίδας είναι εμφανέστερη. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι μικτές αστικές περιοχές έχουν ψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας σε όλες τις πόλεις. Για παράδειγμα, στην πόλη της Αθήνας, στις 20 Μαΐου 2000, οι κεντρικές αστικές περιοχές είχαν θερμοκρασίες περίπου 3.3°C υψηλότερες από τις επαρχιακές περιοχές, ενώ οι ημιαστικές περιοχές είχαν θερμοκρασίες περίπου 2.3°C υψηλότερες από τις επαρχιακές περιοχές. Σημεία στην πόλη με ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες χαρακτηρίστηκαν ως μικτές αστικές περιοχές, καθώς παρατηρήθηκε ότι ήταν 1.9°C πιο θερμά από τις κεντρικές αστικές περιοχές και 5.2°C πιο θερμά σε σχέση με τις τριγύρω επαρχιακές περιοχές. Συγκεκριμένα, τα νοτιοδυτικά προάστια, όπως η Πετρούπολη, η Νίκαια και η Καλλιθέα, παρουσίασαν πιο ψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας συγκριτικά με τα βορειοανατολικά προάστια, όπως η Κηφισιά, το Χαλάνδρι και ο Ζωγράφος, λόγω της χαμηλής κάλυψης της βλάστησης και της χαμηλής πυκνότητας του πράσινου. Επιπλέον, υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας εμφάνισαν η βιομηχανική περιοχή ανάμεσα σε Νίκαια, Καλλιθέα και του κέντρου της Αθήνας, καθώς και η περιοχή τριγύρω από το αεροδρόμιο του Ελληνικού.

Οι ερευνητές σημείωσαν πως η αύξηση της θερμοκρασίας επιφάνειας στη Θεσσαλονίκη, στις 30 Μαΐου 2001, κυμάνθηκε στους 2.7°C ανάμεσα στις κεντρικές αστικές και τις γύρω αγροτικές περιοχές της πόλης. Όσον αφορά τις ημιαστικές περιοχές, καταγράφηκε πτώση της θερμοκρασίας κατά 1.2°C σε σχέση με τις κεντρικές αστικές περιοχές και αύξηση κατά 1.5°C σε σχέση με τις γύρω αγροτικές περιοχές. Στις μικτές αστικές περιοχές, καταγράφηκε η πιο υψηλή θερμοκρασία επιφάνειας στους 34°C, με μια αδύναμη διαφορά θερμοκρασίας επιφάνειας γύρω στους 0.5°C.

Στην πόλη της Πάτρας, η άνοδος της θερμοκρασίας επιφάνειας διαπιστώθηκε κατά τη μετάβαση από επαρχιακές περιοχές σε αστικές, με τις μέγιστες θερμοκρασίες να κυμαίνονται από 30.7°C στις τριγύρω επαρχιακές περιοχές έως 32.2°C στις ημιαστικές περιοχές με μέτρια δομική κάλυψη και μέχρι 33.4°C στις αστικές και πυκνοδομημένες περιοχές. Η ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας κυμάνθηκε στους 3°C ανάμεσα στις αστικές και αγροτικές περιοχές, και ήταν χαμηλότερη κατά 1.7°C σε σχέση με τις κεντρικές αστικές περιοχές ανάμεσα στις ημιαστικές και μετρίως δομημένες περιοχές. Στη βιομηχανική περιοχή βορειοανατολικά της Πάτρας, καταγράφηκαν υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας, φτάνοντας τα 35.4°C, περίπου 1.6-4.6°C πιο ψηλά από τις κεντρικές αστικές και τις τριγύρω επαρχιακές περιοχές.

Στην πόλη του Βόλου, παρατηρήθηκε ασθενέστερη ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι αστικές περιοχές είχαν μια μικρή υψηλότερη θερμοκρασία, κυμαίνονταν δηλαδή σε ένα εύρος 0.4-0.8°C σε σχέση με τις επαρχιακές περιοχές. Αυτό δύναται να οφείλεται στην θερμότητα που προέρχεται από τον ήλιο. Σημειώνεται ότι οι μικρότερες θερμοκρασίες επιφάνειας διαπιστώθηκαν στα βορειοανατολικά σημεία του Βόλου. Τα πολύ θερμά σημεία της πόλης ανήκαν στις μικτές αστικές περιοχές και καταγράφηκε ότι είχαν υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ κυμαίνονταν στους 2.3°C σε σχέση με τη τριγύρω αγροτική περιοχή.

Στην Κρήτη, στην πόλη του Ηρακλείου, παρατηρήθηκαν οι πιο υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας. Την 9η Ιουλίου του 2000, η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας σε πυκνοδομημένες αστικές περιοχές άγγιξε τους 40°C, που ήταν 1.9°C υψηλότερο από τις τριγύρω αγροτικές περιοχές. Οι ημιαστικές και μετρίως δομημένες περιοχές είχαν κατά μέσο όρο 38.3°C, που ήταν 1.6°C χαμηλότερο από τις πυκνοδομημένες αστικές περιοχές. Επιπλέον, το αεροδρόμιο του Ηρακλείου και η τριγύρω περιοχή καταγράφηκε ως μία αρκετά θερμή περιοχή του Ηρακλείου, αγγίζοντας μέχρι και 5.4-7°C υψηλότερες θερμοκρασίες από τις αστικές περιοχές και 7.3°C πιο υψηλές από τις τριγύρω αγροτικές περιοχές.

Οι Santamouris et al. (2007) διερεύνησαν τις άμεσες και έμμεσες συνέπειες στο περιβάλλον της ΑΘΝ στην πόλη της Αθήνας (Santamouris et al., 2007). Για την ανάλυσή τους, χρησιμοποίησαν πειραματικά δεδομένα που καλύπτουν διάστημα δύο ετών (1997-1998) και συλλέχθηκαν από διάφορους αστικούς σταθμούς. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμάνθηκαν από 9.3°C τον μήνα Ιανουάριο έως 27°C τον μήνα Ιούλιο, με την ατμοσφαιρική βροχόπτωση ανά έτος να ανέρχεται σε 376 mm. Επιπλέον, οι ερευνητές εξέτασαν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο αυτής της αύξησης της ζήτησης για ψύξη σε ολόκληρη την Αθήνα και μετέτρεψαν αυτήν την ζήτηση σε περιβαλλοντική ζημία. Σημαντικό είναι να τονίσουμε ότι οι γρήγοροι ρυθμοί διάδοσης των συστημάτων ψύξης στην Ελλάδα και στη Νότια Ευρώπη συνέβαλαν σημαντικά στην αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται (Papadopoulos, 2001).

Οι Papanastasiou & Kittas (2012) πραγματοποίησαν μια ερευνητική μελέτη για την Ανθρωπογενή Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) στον Βόλο (Papanastasiou & Kittas, 2012). Η έρευνά τους κάλυψε τις χειμερινές και θερινές περιόδους από Δεκέμβριο του 2009 μέχρι Φλεβάρη του 2010, καθώς και το καλοκαίρι του 2010. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο κέντρο της πόλης και σε ένα προάστιο διαπιστώθηκε στα 3.4°C το χειμώνα και 3.1°C το καλοκαίρι. Η μέση μέγιστη ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια όλων των εποχών ήταν 2°C. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η ΑΘΝ εμφανίζεται συχνά μετά τη δύση του ηλίου, ενώ η μεγαλύτερη έντασή της σε μία ώρα της ημέρας είναι ανάλογη με την ακτινοβολία του ηλίου. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η εβδομαδιαία διαμόρφωση της μέγιστης έντασης σε μία ώρα της ημέρας της ΑΘΝ ήταν περίπου 0.4°C.

Οι Kolokotsa et al. (2009) πραγματοποίησαν μια ερευνητική μελέτη για την Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) στα Χανιά το 2007, διάρκειας 6 μηνών, από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο (Kolokotsa et al., 2009). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, κατά το οποίο οι θερμοκρασίες είναι υψηλές, η ΑΘΝ ακουμπά τη μέγιστη ένταση, σχεδόν 8°C. Στο σχήμα της ΑΘΝ επιδρά σημαντικά η ταχύτητα και η κατεύθυνση του αέρα, που συμβάλλουν στην απομάκρυνσή της. Οι διαφορές στις θερμοκρασίες μεταξύ των αστικών και αγροτικών περιοχών ανά σταθμό κυμάνθηκαν από 0.6°C έως 8°C κατά τη θερινή περίοδο. Η διαφορά θερμοκρασίας κατά την περίοδο του καλοκαιριού ήταν κατά μέσο όρο 2.6°C. Επιπλέον, η ένταση της Αστικής Θερμικής Νησίδας ανέβηκε μετά τον Ιούνιο και υποχώρησε μετά τον Σεπτέμβριο. Εν κατακλείδι, οι διαφορές στις θερμοκρασίες ανάμεσα στις αστικές και αγροτικές περιοχές διαπιστώθηκαν μικρότερες από 1°C τον Ιούνιο, 3°C τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο-Σεπτέμβριο και 2°C τον Οκτώβριο.

Οι Giannaros και Melas (2012) πραγματοποίησαν μια μελέτη το διάστημα 2008-2009 σχετικά με την Αστική Θερμική Νησίδα στην Θεσσαλονίκη (Giannaros και Melas, 2012). Βρήκαν ότι η Αστική Θερμική Νησίδα στη Θεσσαλονίκη είχε μεγαλύτερη ένταση το βράδυ σε σύγκριση με την ημέρα και ότι μειώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα. Παράλληλα, οι υψηλότερες και χαμηλότερες μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες εμφανίστηκαν τον Αύγουστο και το Φεβρουάριο αντίστοιχα. Η ένταση της Αστική Θερμική Νησίδα κινήθηκε από 2°C έως 4°C την θερμή περίοδο και από 1°C έως 3°C την ψυχρή περίοδο του έτους. Επιπλέον, υπήρξε μικρή διακύμανση τους μήνες του καλοκαιριού συγκριτικά με του χειμώνα. Οι υψηλότερες μετρήσεις διαπιστώθηκαν κατά βάση μετά το ηλιοβασίλεμα. Αντίθετα, οι χαμηλότερες καταγράφηκαν την ώρα που η ηλιακή ακτινοβολία βρισκόταν στην αιχμή της. Η ΑΘΝ τη νύχτα οφείλεται για την αυξημένη εξάτμιση νερού στις πόλεις αλλά η ένταση της ΑΘΝ και οι

αστικές ή ημι-αγροτικές διαφορές εξατμίσεων νερού έχουν αρνητική αλληλεξάρτηση μέσα στην μέρα.

Οι Vardoulakis et al. (2013) ασχολήθηκαν με το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας και τα χαρακτηριστικά του στο Αγρίνιο, μια μικρή πόλη στη Δυτική Ελλάδα (Vardoulakis et al., 2013). Η μελέτη τους βασίστηκε σε δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια μίας ολόκληρης χρονιάς, από το 2010 έως το 2011, εκμεταλλευόμενοι ένα τοπικό δίκτυο 9 μικρών θερμόμετρων και έναν μετεωρολογικό σταθμό. Οι μετρήσεις κατέδειξαν πως το φαινόμενο παρουσιάζοταν το βράδυ, ενώ η ψυχρή θερμνησίδα εμφανίστηκε τις πρώτες πρωινές ώρες σε πλειάδα σταθμών καταγραφής θερμοκρασίας του Αγρινίου. Η μεγαλύτερη μέση μηνιαία ένταση της Αστικής Θερμικής Νησίδας ήταν 3.8°C στην πλατεία του κέντρου της πόλης τις βραδινές ώρες του Αυγούστου 2010, με στιγμιαία ένταση στην ώρα που έφτασε τα 5.6°C. Σημειώθηκαν υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες στις μικτές αστικές περιοχές σε σύγκριση με άλλες πόλεις. Επιπλέον, οι μεγάλη επιφανειακή θερμοκρασία παρουσιάστηκε στις βιομηχανίες της πόλης, ενώ οι ημιαστικές περιοχές εμφανίστηκαν δροσερότερες από την πόλη, αλλά πιο ζεστές σε σχέση με τις γειτονικές αγροτικές περιοχές.

3.3 Το πρόβλημα της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Αθήνα

Πλειάδα μελετών που έχουν διεξαχθεί δείχνουν σαφώς ότι η θερμική νησίδα στην Αθήνα παρουσιάζει το ανώτατο όριο της κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, όταν παρατηρείται επίσης η μέγιστη ενεργειακή και περιβαλλοντική επίπτωση. Δεδομένα από 25 μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν με τη χρήση προηγμένων στατιστικών τεχνικών.

Για τη μελέτη και την ανάλυση της έντασης της θερμικής νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, ο σταθμός που βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας θεωρήθηκε ως σταθμός αναφοράς. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι ωριαίες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ όλων των άλλων σταθμών και του σταθμού αναφοράς. Παράλληλα, υπολογίστηκαν οι μέσες ημερήσιες διαφορές θερμοκρασίας για τα χρονικά διαστήματα μεταξύ 07.00-21.00 LT και 22.00-06.00 για κάθε θερινό μήνα. Οι διαφορές της θερμοκρασίας του αέρα της νυχτερινής περιόδου μεταξύ του σταθμού αναφοράς και όλων των άλλων σταθμών είναι πάντα αρνητικές για όλη τη θερινή περίοδο και για όλα τα τμήματα της πόλης, πράγμα που σημαίνει ότι η θερμοκρασία του αέρα στο σταθμό αναφοράς είναι πάντα υψηλότερη. Οι υψηλότερες μέσες διαφορές παρουσιάστηκαν στους σταθμούς του βόρειου και ανατολικού τμήματος της πόλης

και κυμάνθηκαν μεταξύ 1 και 3 °C. Εξαίρεση που εξηγείται από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες αποτέλεσε ο σταθμός Βύρωνας, ο οποίος ήταν ο μόνος στον οποίο παρουσιάστηκαν θετικές διαφορές. Το κέντρο της Αθήνας ήταν επίσης πολύ θερμότερο από το νότιο τμήμα, εκτός από το σταθμό του Μοσχάτου, όπου οι τοπικές συνθήκες συνέβαλαν σε υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα. Τέλος, το δυτικό τμήμα της πόλης ήταν ελαφρώς ψυχρότερο από το κέντρο, παρουσιάζοντας υψηλές τιμές θερμοκρασίας αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας ως αποτέλεσμα της υψηλής πυκνότητας που συμβάλλει στη μείωση της απώλειας της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κυμάτων.

Όσον αφορά τις διαφορές θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, 07:00-21:00 το κέντρο της Αθήνας ήταν θερμότερο από τα άλλα τμήματα της πόλης κατά τη διάρκεια του Ιουνίου. Κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αυγούστου το κέντρο της Αθήνας ήταν επίσης θερμότερο από τα βόρεια και ανατολικά τμήματα. Αντίθετα, το δυτικό τμήμα της πόλης και οι νότιοι σταθμοί που βρίσκονται κοντά στο δυτικό τμήμα, ήταν ακόμη και 3 °C θερμότεροι από το κέντρο της πόλης.

Οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας αέρα παρουσιάστηκαν στο σταθμό της Νέας Ερυθραίας, ο οποίος ανήκει στο βόρειο τμήμα, ενώ οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν στο σταθμό του Περιστερίου, ο οποίος ανήκει στο δυτικό τμήμα. Υπολογίζοντας τις διαφορές θερμοκρασίας αέρα μεταξύ του σταθμού της Νέας Ερυθραίας και του σταθμού του Περιστερίου, η μέση διαφορά εκτιμήθηκε ότι κυμαίνεται μεταξύ -3,0 και -5,3 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και μεταξύ -1,3 και -2,3 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ οι απόλυτες ωριαίες διαφορές είναι χαμηλότερες από -4,8 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας και -18 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το φαινόμενο της θερμικής νησίδας αναπτύσσεται κυρίως στο κέντρο και το δυτικό τμήμα της περιοχής της Αθήνας με ένταση έως και 5 C.

4

Προτάσεις Αντιμετώπισης της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Αθήνα

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι πλέον σημαντικές στρατηγικές που μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση του φαινομένου της ΑΘΝ. Ειδικότερα, οι εν λόγω στρατηγικές περιλαμβάνουν την ανάπτυξη χώρων πρασίνου, καθώς επίσης και τη δημιουργία πράσινων ορόφων σε κτίρια. Περαιτέρω, μια ακόμη στρατηγική αφορά τη χρήση υλικών που περιορίζουν το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, καθώς επίσης και την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων. Τέλος, σημαντική συμβολή στην αντιμετώπιση του φαινομένου μπορεί να έχει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων και υπαίθριων χώρων.

4.2 Ανάπτυξη Χώρων Πράσινου

Η βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος μέσω της ενσωμάτωσης πρασίνου αποσκοπεί στην ενίσχυση φυσικών διεργασιών που αντιμετωπίζουν διάφορα περιβαλλοντικά και μη προβλήματα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας δικτύων πρασίνου που συνδέουν τους αστικούς χώρους μεταξύ τους (park systems). Τα πράσινα συστήματα περιλαμβάνουν τη

δημιουργία μικρού μεγέθους υπαίθριων πάρκων (pocket parks) σε διάφορες περιοχές της πόλης, την φύτευση δέντρων σε λεωφόρους (parkways) και τις πολεοδομικές αλλαγές που επιτρέπουν την επέκταση των πράσινων χώρων είτε σε δημόσιες είτε σε ιδιωτικές περιοχές.

Η διαμόρφωση ενός υπαίθριου χώρου πρασίνου σε μία πόλη επηρεάζει τόσο τις κοινωνικοπολιτικές όσο και τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής. Οι πράσινοι χώροι αποτελούν πηγή ζωής για τα ζώα και τα φυτά της πόλης, παράγουν οξυγόνο, προστατεύουν από πλημμύρες, ρυθμίζουν τη θερμοκρασία και βελτιώνουν τον αερισμό της περιοχής. Επιπλέον, αποτελούν χώρους αναψυχής, άθλησης και ηρεμίας για τους κατοίκους. Ως εκ τούτου η ύπαρξη κοινόχρηστων υπαίθριων χώρων πρασίνου σε πυκνοκατοικημένες περιοχές αποτελεί αναγκαιότητα. Η διαμόρφωση και η διάταξη αυτών των χώρων πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες των πολιτών και να συμπεριληφθεί στον πολεοδομικό και χωροταξικό σχεδιασμό των πόλεων, λαμβάνοντας υπόψη την επέκτασή τους στο μέλλον.

Κατηγορίες Αστικών Χώρων Πρασίνου

Ο όρος "αστικό πράσινο" αναφέρεται στους κοινόχρηστους υπαίθριους χώρους ενός αστικού κέντρου, όπου υπάρχει παχύτατη βλάστηση και ύδατα. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται δάση, πάρκα, παιδικές χαρές, ποτάμια, νησίδες πρασίνου και άλλα (Αραβαντινός, 2007). Ανάλογα με το μέγεθος και τη σημασία τους, οι αστικοί υπαίθριοι χώροι πρασίνου διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

Πάρκο Γειτονιάς – Pocket Parks

Τα pocket parks ή πάρκα γειτονιάς είναι ανοιχτοί κοινόχρηστοι χώροι με ακανόνιστο σχήμα που προορίζονται για χαλάρωση και αναψυχή των κατοίκων της πόλης. Συνήθως τα συναντάμε σε πυκνοδομημένες και πυκνοκατοικημένες περιοχές του αστικού κέντρου, όπου η πρόσβαση σε ελεύθερους δημόσιους χώρους είναι περιορισμένη. Τα pocket parks καλύπτουν σχετικά μικρή έκταση και στόχος τους είναι να εξυπηρετούν τις γειτονιές που βρίσκονται σε ακτίνα 400 έως 500 μέτρων, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανάγκη χρήσης αυτοκινήτου για την επίσκεψή τους.

Η θετική επίδραση ενός pocket park μικρής κλίμακας είναι πολύ σημαντική σε σχέση με το μέγεθός του, καθώς αποτελεί μια πολύτιμη πηγή πρασίνου και οξυγόνου σε μια περιοχή με έντονη ανθρωπογενή δόμηση. Το πρώτο pocket park δημιουργήθηκε το 1963 στη Νέα Υόρκη, ως μέρος μιας προσπάθειας αναβάθμισης της πόλης. Το συγκεκριμένο pocket park, γνωστό ως Paley Park, καλύπτει μια έκταση 300 τ.μ. και περιβάλλεται από ψηλά κτίρια. Στο Paley Park, φυτεύτηκαν φυλλοβόλα δέντρα και αναρριχητικά φυτά στους τοίχους, με στόχο τη μείωση της ηχορύπανσης και της αντανάκλασης ηλιακής ακτινοβολίας από τα κτίρια. Η παρουσία των δέντρων, σε συνδυασμό με έναν καταρράκτη που εγκαταστάθηκε στο κέντρο του πάρκου, οδήγησε σε τοπική μείωση της θερμοκρασίας. Η θετική επίδραση της σκίασης

που παρέχουν τα δέντρα ενισχύθηκε από την παρουσία νερού, προκαλώντας σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε αυτόν τον χώρο.

Για να επιτευχθεί η θετική επίδραση ενός rocket park σε ευρύτερη περιοχή και όχι μόνο τοπικά, πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα πάρκο γειτονιάς σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο (Seymour W.,1969). Αυτά τα rocket parks πρέπει να ενσωματώνονται σε ένα ευρύτερο δίκτυο πρασίνου ή να συνδέονται με άλλες πράσινες περιοχές, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ποδηλατόδρομους ή παιδικές χαρές για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης αστικής υποδομής. Τα rocket parks θα πρέπει να επιλέγονται με προσοχή, ώστε να μην είναι απομονωμένα αλλά να ενσωματώνονται στον χώρο, να είναι εύκολα προσβάσιμα από τους κατοίκους και η θέση τους να είναι ορατή από την κοινότητα. Συνολικά, η τοποθεσία των rocket parks θεωρείται επιτυχημένη και αποτελεσματική όταν βρίσκονται σε ακτίνα 300 μέτρων από την κατοικία ή τον χώρο εργασίας των κατοίκων, προσφέροντας έτσι εύκολη πρόσβαση στο πράσινο περιβάλλον για όλους. (Peschardt K., 2014).

Στην Αθήνα έχουν ήδη δημιουργηθεί τρία πάρκα γειτονιάς, με το πρώτο να βρίσκεται στην περιοχή της Κυψέλης, το δεύτερο στον Κολωνό και το τρίτο στο Παγκράτι(Naftemporiki, 2021). Αυτά τα rocket parks έχουν καταλάβει εγκαταλελειμμένους χώρους που κάποτε ήταν γεμάτοι με μπάζα και σκουπίδια. Μετά από καθαρισμό και διαμόρφωση, οι περιοχές αυτές φιλοξενούν πληθώρα ενδημικών δέντρων και φυτών που προσαρμόζονται στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και απαιτούν ελάχιστη άρδευση και λίπανση. Ειδικά στο rocket park της περιοχής Παγκρατίου, χρησιμοποιήθηκαν επαναχρησιμοποιούμενα κατασκευαστικά υλικά, όπως παλέτες και σιδηροδρομικές ράγες, προκειμένου να διατηρηθεί μια οικολογική προσέγγιση. Επιπλέον, ένα σύστημα αποστράγγισης νερού επιτρέπει την εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου στρώματος και την ποτίστρα των φυτών και δέντρων του πάρκου. Για το φωτισμό, χρησιμοποιούνται αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια.



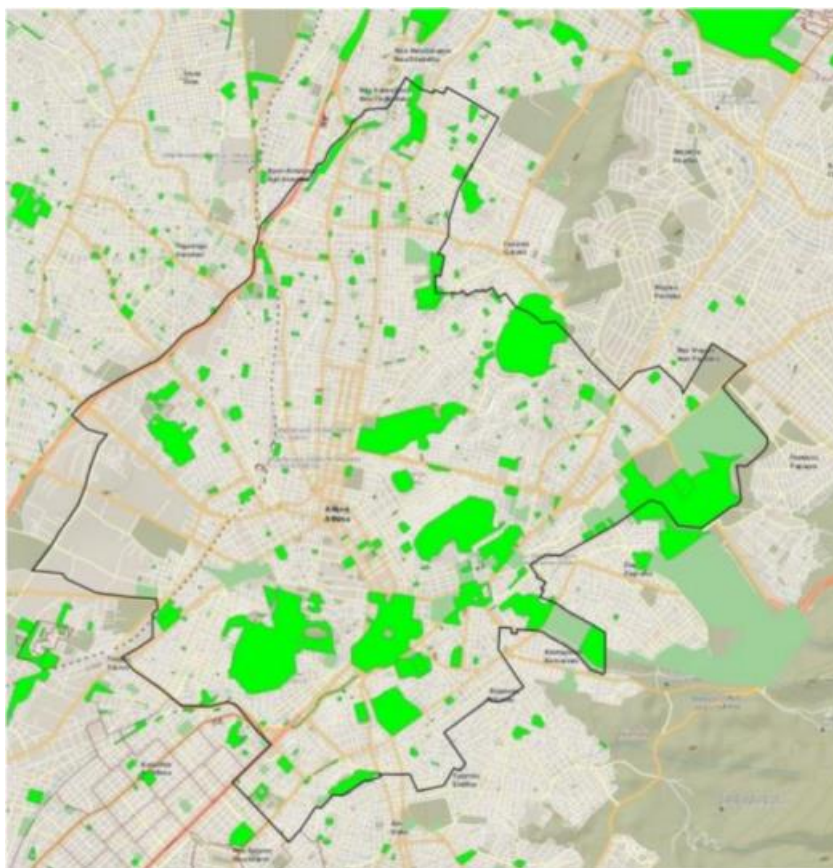
Εικόνα 9: Ανάπλαση εγκαταλελειμμένου χώρου στο Παγκράτι (Πηγή: Δήμος Αθηναίων, 2021)

Υπερτοπικοί ή Μητροπολιτικοί

Οι αστικοί χώροι πρασίνου υπερτοπικής ή μητροπολιτικής εμβέλειας αποτελούν τους υπαίθριους κοινόχρηστους χώρους πρασίνου που, λόγω της τοποθεσίας, του μεγέθους και της χωρητικότητάς τους, μπορούν να φιλοξενήσουν σημαντικό ποσοστό των κατοίκων της πόλης. Στην περίπτωση της Αθήνας, αυτοί οι χώροι πρασίνου χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, συγκεκριμένα:

- Στην πολύτιμη πράσινη ζώνη της πόλης, όπου περιλαμβάνονται οι ιστορικοί χώροι της Αθήνας, συμπεριλαμβανομένων των αρχαιολογικών χώρων και τα πάρκα του κέντρου όπως ο Λόφος Φιλοπάππου, ο Λόφος Στρέφη και ο Λόφος Λυκαβητού.
- Τα άλση και τα πάρκα των συνοικιών (Άλσος Νέας Σμύρνης, Άλσος Φιλαδέλφειας, Άλσος Παγκρατίου, Άλσος Χαϊδαρίου κ.α)
- Τα μεγάλα διαμορφωμένα αστικά πάρκα, όπως το πάρκο περιβαλλοντικής εκπαίδευσης "Αντώνης Τρίτσης" στο Περιστερί και το υπό διαμόρφωση Μητροπολιτικό πάρκο του Ελληνικού.

Έρευνα που διεξήχθη από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο κατέγραψε τη συνολική έκταση των χώρων υπερτοπικής και μητροπολιτικής εμβέλειας περίπου 50 στρεμμάτων εντός του Δήμου των Αθηνών (Πηγή: ΕΜΠ, 2010). Ακολουθεί εικόνα με το αστικό πράσινο στον δήμο Αθηναίων.



Εικόνα 10: Αστικό πράσινο στον δήμο Αθηναίων (Πηγή: e-rolodomia - Γεωγραφική Αναζήτηση Πληροφοριών)

4.3 Δημιουργία Πράσινων Ορόφων σε Κτήρια

Ο όρος "πράσινη στέγη" ή "οροφώκηπος" ή "green roof" αναφέρεται στο τμήμα της οροφής ή της στέγης ενός κτηρίου, το οποίο είναι καλυμμένο εντελώς ή μερικώς από βλάστηση, σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και την εθνική νομοθεσία (ΚΑΠΕ, 2011). Οι πράσινες στέγες αντιπροσωπεύουν μικρά τοπικά οικοσυστήματα που συμβάλλουν στη βιωσιμότητα και την απόδοση ενός μεγάλου αστικού κέντρου (Πλακονούρης 2007). Ανάλογα με το βάθος της φύτευσης και τις ανάγκες των φυτών σε άρδευση και λίπανση, οι πράσινες στέγες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Εντατικός Τύπος:** Το υπόστρωμα αποτελείται από υλικό πάχους που κυμαίνεται από 12 έως 100 εκατοστά, ανάλογα με το είδος των φυτών που φυτεύονται. Η σύνθεση του επιτρέπει την καλλιέργεια μιας μεγάλης ποικιλίας φυτών, από χλοοτάπητα μέχρι δέντρα. Ωστόσο, η φροντίδα του απαιτεί έντονη λίπανση και άρδευση για να διατηρηθεί σε καλή κατάσταση.

- **Ημιεντατικός Τύπος:** Το στρώμα αποτελείται από υλικό πάχους που κυμαίνεται από 10 έως 25 εκατοστά. Σε αυτόν τον τύπο συναντώνται συνήθως θάμνοι και χλοοτάπητας. Οι ανάγκες για άρδευση και λίπανση είναι μικρές.
- **Εκτατικός Τύπος:** Η κατασκευή αυτή θεωρείται ελαφριά, αφού το υπόστρωμα που απαιτείται έχει πάχος από 8 έως 15 εκατοστά. Αυτό το μικρό βάθος απαιτείται λόγω του τύπου των φυτών που συνήθως φιλοξενούνται, τα οποία είναι χαμηλού ύψους και δεν χρειάζονται μεγάλο βάθος για την ανάπτυξη των ριζών τους. Συνήθως, σε αυτόν τον τύπο στέγης φυτεύονται χλοοτάπητας και φυτά χαμηλής βλάστησης. Οι ανάγκες για άρδευση και λίπανση είναι ελάχιστες.

Η επιλογή του υποστρώματος αποτελεί βασική προϋπόθεση επιτυχίας μιας πράσινης στέγης, καθώς πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες ανάπτυξης των φυτών και να παρέχει παράλληλα προστασία και μόνωση του κτηρίου από φθορές. Καθώς το σύστημα της πράσινης στέγης απαιτεί ποικίλα κατασκευαστικά έργα και μηχανισμούς, οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι δεν πρέπει να επιβαρύνουν την στατικότητα του ίδιου του κτηρίου.



Εικόνα 11: Στάδια Κατασκευής μιας Πράσινης Σκεπής (Πηγή:Green Roof Service LLC)

Το πρώτο στάδιο αφορά την κατασκευή και αναφέρεται στο στάδιο μόνωσης της ταράτσας. Αυτό θεωρείται το σημαντικότερο και πιο δαπανηρό στην κατασκευή μιας πράσινης στέγης. Η οροφή του κτηρίου, ή το δάπεδο του οροφοκήπου, καλύπτεται από μια ειδική αδιάβροχη μεμβράνη, η οποία έχει ρόλο να προστατεύει το κτήριο από τα οξέα που εκκρίνουν κάποια

φυτά από τις ρίζες τους. Συνήθως, για τη μόνωση χρησιμοποιούνται υλικά όπως ελαστική ασφαλτος, ενισχυμένα φύλλα PVC και πίσσα με πολυεστερικά υλικά.

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός στρώματος προστασίας πάνω στην αδιάβροχη μεμβράνη. Η χρήση αυτού του στρώματος δεν είναι υποχρεωτική και εξαρτάται από το είδος της αδιάβροχης μεμβράνης που χρησιμοποιείται ως βάση. Για παράδειγμα, συνθετικές μεμβράνες δεν απαιτούν την παρουσία προστατευτικού στρώματος.

Στο τρίτο στάδιο, πραγματοποιείται η μόνωση του πράσινου δώματος. Σε αντίθεση με άλλες κατασκευές, όπου η μόνωση απαιτείται να πραγματοποιηθεί πριν από τη διαστρώματωση της αδιάβροχης μεμβράνης (στάδιο 1), στην κατασκευή ενός πράσινου δώματος η μόνωση γίνεται αργότερα. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η στεγανότητα του δώματος και διατηρείται η θερμοκρασία του.

Στο τέταρτο στάδιο, δημιουργείται το στρώμα αποστράγγισης της κατασκευής. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο, καθώς εξασφαλίζει τη διαμόρφωση του δαπέδου για την αποθήκευση ή απομάκρυνση του υπερβολικού νερού. Η απομάκρυνση αυτού του νερού είναι απαραίτητη, καθώς η ανεπιθύμητη παραμονή του μπορεί να προκαλέσει ζημιές και φθορές στο κτήριο και τα θεμέλιά του, αυξάνοντας το συνολικό βάρος του συστήματος. Οι περισσότερες πράσινες στέγες πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να χρησιμοποιούν το υπάρχον σύστημα απορροής του κτηρίου, πιθανόν με την προσθήκη κάποιων ειδικών φίλτρων για προστασία των σωληνώσεων. Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται στο σύστημα αποστράγγισης των πράσινων δωματίων περιλαμβάνουν χαλίκια, λάβα, θρυμματισμένα κεραμίδια, αφρώδη υλικά, πετροβάμβακα και υφάσματα με κυψέλες για την απορρόφηση του νερού.

Στο πέμπτο στάδιο ασχολούμαστε με το μέσο ανάπτυξης των ριζών των φυτών. Η επιλογή του κατάλληλου εδαφικού μείγματος πρέπει να πληροί βασικά κριτήρια σχετικά με την ανάπτυξη των φυτών. Το εδαφικό μείγμα πρέπει να εξασφαλίζει επαρκή αερισμό στις ρίζες των φυτών και να διατηρεί την υγρασία. Επίσης, δεν θα πρέπει να συμπιέζεται εύκολα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλή αποστράγγιση του συστήματος. Πρέπει να παρέχει σταθερή βάση για την ανάπτυξη των φυτών, να είναι απαλλαγμένο από ζιζάνια και ασθένειες, και να περιέχει επαρκή ποσότητα θρεπτικών στοιχείων.

Στο έκτο στάδιο ασχολούμαστε με τη φύτευση των φυτών. Η επιλογή των κατάλληλων φυτών για τη διαμόρφωση μίας πράσινης ταράτσας γίνεται με βασικό κριτήριο το κλίμα της περιοχής, το είδος της ταράτσας και τις προβλεπόμενες ανάγκες για άρδευση και λίπανση. Είναι σημαντικό τα φυτά που θα φιλοξενηθούν σε μία πράσινη ταράτσα να αντέχουν τις καιρικές συνθήκες της περιοχής, τον δυνατό αέρα και την ατμοσφαιρική ρύπανση του αστικού κέντρου. Για παράδειγμα, σε μία μεσογειακή περιοχή, επιλέγονται φυτά όπως η πικροδάφνη, το γαρύφαλλο, το γεράνι, η λεβάντα και άλλα ενδημικά φυτά που αντέχουν στον

ήλιο, τους δυνατούς ανέμους και την ξηρασία - χαρακτηριστικά γνωρίσματα του μεσογειακού κλίματος. Η επιλογή των κατάλληλων φυτών εξασφαλίζει την επιτυχία και την μακροζωία του πράσινου δώματος, καθώς προσαρμόζονται στις συνθήκες του περιβάλλοντος και συμβάλλουν στη βιωσιμότητα του πράσινου δώματος.

Η κατασκευή ενός πράσινου δώματος σε ένα κτήριο προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα για το μικροκλίμα της περιοχής. Η θερμοκρασία του αέρα σε αστικά κέντρα μπορεί να είναι έως 10°C υψηλότερη από αυτήν σε περιοχές που βρίσκονται στην ύπαιθρο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η παρουσία φυτών και δέντρων σε αστικές περιοχές έχει άμεσο και έμμεσο αντίκτυπο στη μείωση της θερμοκρασίας. Μέσω του φυλλώματός τους, εμποδίζουν τον ήλιο να φτάσει στις σκληρές επιφάνειες του αστικού περιβάλλοντος και να τις θερμάνει. Επιπλέον, με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής, δροσίζουν τον αέρα παράγοντας υδρατμούς μέσω των φύλλων τους. Το νερό της βροχής που συγκρατείται από τις ρίζες τους ενισχύει αυτήν τη διαδικασία, με το βάθος του υποστρώματος του πράσινου δώματος να παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποσότητα νερού που συγκρατείται. Σύμφωνα με έρευνες, η παρουσία ενός απλού υποστρώματος σε μια πράσινη στέγη κτηρίου κρατάει πίσω το 48% του βροχερού νερού, ενώ όταν η στέγη έχει φυτευτεί, το ποσοστό συγκράτησης αυξάνεται στο 82%, σε σύγκριση με τις συμβατικές ταράτσες (Van Woertetal, 2005).

Η παρουσία ενός πράσινου δώματος στην ταράτσα ενός κτηρίου σε μια μεγάλη αστική περιοχή έχει αρκετά οφέλη. Οι φυτοκαλυπτόμενες επιφάνειες προστατεύουν το κτήριο από τον κρύο κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η πυκνότητα των φυτών συμβάλλει στη μείωση της έντασης των ανέμων και των αέρηδων στην περιοχή. Επιπλέον, έρευνες έχουν αποδείξει ότι η πράσινη στέγη εξοικονομεί σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιούνταν για τη ψύξη και τη θέρμανση του κτηρίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του χειμώνα αντίστοιχα. Έχει υπολογιστεί ότι η ηλεκτρική ενέργεια που εξοικονομείται λόγω του πράσινου δώματος, για τη χρήση ψυκτικών συστημάτων το καλοκαίρι, μπορεί να φτάσει τα 100€ ενώ η συντήρησή του κοστίζει μόνο 10€ (Takebayashi, Moriyama 2007). Επίσης, η τοποθέτηση τριών δέντρων σε κάθε κτήριο μπορεί να επιφέρει τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τη ψύξη, σε ποσοστό μεταξύ 17% και 24% (Santamouris et al., 2005).

Η έμμεση επίδραση των φυτών στην καταπολέμηση του φαινομένου της ΑΘΝ έγκειται στο γεγονός ότι τα φυτά επιδρούν θετικά στη βελτίωση της ποιότητας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μέσω των πόρων των φύλλων τους, δένουν διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, η αιθάλη, τα βαρέα μέταλλα και η σκόνη. Η προαναφερθείσα δράση των φυτών οδηγεί στη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και στη μείωση της θερμοκρασίας του. Εκτιμάται πως η μείωση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας

κατά 2°C επαρκεί για τη μείωση του σχηματισμού του φωτοχημικού νέφους κατά ποσοστό 10 – 20% στα μεγάλα αστικά κέντρα (WBCSD, 2010).

4.4 ‘Δροσερά’ Πεζοδρόμια

Σε αντίθεση με τις πράσινες οροφές (Green Roof), οι δροσεροί δρόμοι (Cool Pavements) δεν έχουν επίσημο ορισμό. Η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (USEPA) όρισε τον όρο του δροσερού δρόμου ως εξής: "Οι δροσεροί δρόμοι περιλαμβάνουν μια σειρά από καθιερωμένες και αναδυόμενες τεχνολογίες που εξετάζουν οι κοινότητες ως μέρος των προσπαθειών τους για τη μείωση της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Ο όρος αναφέρεται επί του παρόντος σε υλικά οδοποιίας που αντανακλούν περισσότερη ηλιακή ενέργεια, ενισχύουν την εξάτμιση του νερού ή έχουν τροποποιηθεί με άλλο τρόπο για να παραμένουν πιο δροσεροί από τους συμβατικούς δρόμους."

Εάν το να παραμένουν πιο δροσεροί ερμηνεύεται ως "οι δροσεροί δρόμοι πρέπει πάντα να διατηρούν χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας σε σύγκριση με τους συμβατικούς δρόμους", τότε οι δροσεροί δρόμοι εκπέμπουν πάντα λιγότερη αισθητή θερμότητα στον περιβάλλοντα αέρα από τους συμβατικούς δρόμους. Αυτό σημαίνει ότι εάν ένας δρόμος μπορεί να θεωρηθεί ως δροσερός, εξαρτάται από το αν μπορεί να κρατάει χαμηλά τη θερμοκρασία της επιφάνειάς του. Καθώς η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται συνήθως γύρω στις 15:00 κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας, όταν δηλαδή η απελευθέρωση αισθητής θερμότητας είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη της ΑΘΝ, ένας δροσερός δρόμος πρέπει να είναι ικανός να μειώσει τη μέγιστη θερμοκρασία του κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία επιφάνειας, T_{smax} , ενός δρόμου έχει αποτελέσει θέμα πολλών ερευνών ([M Solaimanian](#), TW Kennedy ,1993 ; [Diefenderfer, Brian K et.al. ,2006](#); [Peter J. Bosscher](#) et.al. ,1998). Τα περισσότερα από αυτά τα τεκμηριωμένα μοντέλα θεωρούν το T_{smax} ως μια συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα, του γεωγραφικού πλάτους, της ηλιακής ακτινοβολίας και άλλων εμπειρικών συντελεστών. Αυτά τα μοντέλα είναι εμπειρικά και δεν περιλαμβάνουν τις θερμικές ιδιότητες του δρόμου. Ένα θεωρητικό μοντέλο για το T_{smax} υπολογίζεται στην εξίσωση:

$$T_{smax} = \Gamma \frac{(1-R)I_0}{P\sqrt{\omega}} + T_0$$

,όπου το Γ αντιπροσωπεύει το ποσοστό της απορρόφησης της θερμικής αγωγιμότητας, το R είναι η albedo ή αλλιώς ανακλαστικότητα, , I_0 (W/m²) είναι η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στο απόγειό της, P είναι η θερμική αδράνεια του οδοστρώματος, ω είναι η γωνιακή συχνότητα και T_0 είναι μια παλινδρομική σταθερά.

Αντίστοιχα, το T_{smax} μπορεί να μειωθεί μέσω τριών προσεγγίσεων: αυξάνοντας την albedo (ανακλαστικότητα), μειώνοντας το ποσοστό απορρόφησης στη θερμική αγωγιμότητα (μείωση Γ) και αυξάνοντας τη θερμική αδράνεια του δρόμου (αύξηση P).

Δροσερά Πεζοδρόμια για τον μετριασμό της ΑΘΝ

Οι αστικοί ιστοί είναι πολύ πιο ζεστοί από τις τριγύρω αγροτικές περιοχές λόγω των αστικών κατασκευαστικών υλικών και της αστικής γεωμετρίας. Οι δρόμοι από σκυρόδεμα/άσφαλτο είναι 'πυκνοί' και δεν μπορούν να αποβάλλουν την ηλιακή απορρόφηση μέσω της εξάτμισης, αυξάνοντας την αισθητή θερμότητα. Τα κτίρια στις δύο πλευρές ενός δρόμου δημιουργούν ένα περιβάλλον που μοιάζει με 'φαράγγι', το οποίο ονομάζεται αστικό φαράγγι (urban canyon/street canyon). Στο σύστημα της αστικού φαραγγιού, περίπου το 60-70% της ημερήσιας άμεσης ηλιακής απορρόφησης αποστραγγίζεται από την συνεκτική αισθητή θερμότητα και το υπόλοιπο 30-40% αποθηκεύεται προσωρινά για τη νυχτερινή διάδοση θερμότητας (TR Oke, 1982 ; T.R. Oke, 1988). Τη νύχτα, η εκπομπή μακρών κυμάτων από τους δρόμους ανακόπτεται από τους γειτονικούς τοίχους των κτιρίων, κρατώντας τη θερμότητα που απορροφήθηκε στον δρόμο. Επιπλέον, τα αστικά γειτονικά κτίρια καταπνίγουν τον σχηματισμό ροών ανέμου (T.R._Oke, 1988; Kusaka, Hiroyuki, 2001). Αυτή η ανεπαρκής απορρόφηση της θερμότητας διατηρεί τον αέρα κοντά στις επιφάνειες ζεστό και προκαλεί την ΑΘΝ τη νύχτα.

Κάθε τεχνική για δροσερούς δρόμους μπορεί να κρατήσει χαμηλά τη θερμοκρασία της επιφάνειας του δρόμου. Ωστόσο, η χαμηλή θερμοκρασία της επιφάνειας δεν αποτελεί πανάκεια για τον μετριασμό της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Δρόμοι με μεγαλύτερη θερμική αδράνεια (δρόμοι με ενσωματωμένα υλικά και υψηλής θερμικής αγωγιμότητας) έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά υψηλότερη τη νύχτα. Συνεπώς, αυτοί οι δρόμοι απελευθερώνουν περισσότερη αισθητή θερμότητα στον αέρα κατά τις νυχτερινές ώρες και επιδεινώνουν την ΑΘΝ τη νύχτα. Επίσης, οι δρόμοι που απορροφούν θερμότητα ενδέχεται να μην αποτελούν τη λύση για τη μείωση της ΑΘΝ καθώς η βιωσιμότητά τους είναι αμφιλεγόμενη και απαιτούν περαιτέρω εξέταση. Οι αντανακλαστικοί δρόμοι και οι απορροφητικοί δρόμοι αποτελούν, συνεπώς, πρακτικές λύσεις για τη ανακούφιση από την ΑΘΝ. Και τα δύο απαιτούν σχεδιασμό ανάλογα με το τοπικό κλίμα και την τοπική αστική γεωμετρία προκειμένου να επιλεγούν οι κατάλληλοι δροσεροί δρόμοι.

Οι αντανακλαστικοί δρόμοι είναι κατάλληλοι για τη ψύξη της επιφάνειας του δρόμου σε περιοχές που εκτίθενται σε έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτές οι περιοχές περιλαμβάνουν διασταυρώσεις δρόμων, αστικούς αυτοκινητόδρομους και ανατολικούς-δυτικούς δρόμους.

Αυτές οι περιοχές έχουν πολλές ώρες ηλιοφάνειας, οπότε μια αντανακλαστική επιφάνεια μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά την ηλιακή απορρόφηση (Hideki_Takebayashi ,2012). Οι αντανακλαστικοί δρόμοι αναμένεται επίσης να χρησιμοποιηθούν σε ξηρές περιοχές, όπου οι απορροφητικοί δρόμοι είναι δαπανηροί. Αυτό μπορεί να είναι ο λόγος για τον οποίο οι αντανακλαστικοί δρόμοι έχουν εκτεταμένη έρευνα στη δυτική ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών. Σε περιοχές με πλούσιες βροχές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, αναμένεται να χρησιμοποιηθούν οι απορροφητικοί δρόμοι. Αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο οι απορροφητικοί δρόμοι έχουν εκτεταμένη έρευνα στην Ιαπωνία. Αναμένεται επίσης ότι οι απορροφητικοί δρόμοι θα χρησιμοποιηθούν σε μητροπόλεις όπου ο δρόμος έχει μόνο λίγες ώρες ηλιοφάνειας, αλλά η ανθρωπογενής θερμότητα και/ή η αστική θερμότητα λόγω αέρα ενδέχεται να δημιουργήσουν ΑΘΝ. Μόλις δημιουργηθεί η ΑΘΝ, η απορρόφηση θερμότητας θα είναι ανεπιτυχής λόγω του χαμηλού συντελεστή θέασης προς τον ουρανό στην κοιλάδα (Gerald M._Mills ,1993). Οι απορροφητικοί δρόμοι αναμένεται να απελευθερώσουν τη θερμότητα που έχει δημιουργηθεί ως αισθητή θερμότητα.

Λίγες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην επίδραση της θερμοκρασίας του δρόμου στην τοπική θερμοκρασία του αέρα (M Pomerantz, 2000; [Tzu-Ping Lin](#), 2007; Siew-Ann_Tan, 1992; K._Niachou2008). Οι Asaeda et. al. διαπίστωσαν ότι η απελευθέρωση της αισθητής θερμότητας ήταν ο κύριος λόγος που προκαλούσε τη θερμή ατμόσφαιρα στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας(Asaeda et al, 1996). Οι Santamouris et. al. διαπίστωσαν ότι κατά μια τυπική ημέρα καλοκαιριού, τα δροσερά υλικά λιθόστρωσης μείωσαν τη θερμοκρασία της επιφάνειας ενός ανακλαστικού πάρκου (4500 τ.μ.) κατά περίπου 12°C και μείωσαν την μέγιστη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα κατά έως 1,9°C (Santamouris et. al., 2012). Μια παρόμοια μείωση της θερμοκρασίας του αέρα παρατηρήθηκε σε μια αριθμητική μελέτη ([Synnefa A](#) et. al., 2008). Οι Rosenfeld et.al. διαπίστωσαν ότι η αύξηση της ανακλαστικότητας (albedo) των δρόμων στο λεκανοπέδιο του Λος Άντζελες από 0,05 σε 0,30 θα οδηγούσε σε μείωση της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα κατά 0,6°C (Rosenfeld et.al., 1998). Παρόμοια μεταβολή αναφέρθηκε επίσης από τους Pomerantz et.al., οι οποίοι ανέπτυξαν ένα απλό μοντέλο για να εκτιμήσουν τη συνεισφορά της επιφάνειας των δρόμων και της ανακλαστικότητας (albedo) των δρόμων στην τοπική θερμοκρασία του αέρα(Pomerantz et.al., 2000). Το μοντέλο συσχετίζει γραμμικά τη θερμοκρασία του δρόμου με τη θερμοκρασία του αέρα, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την υστερητική αποθήκευση θερμότητας.

Ωστόσο, ορισμένες προσομοιώσεις κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μείωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του δρόμου μειώνει ελάχιστα την τοπική θερμοκρασία του αέρα. Οι Yaghoobian & Kleissl βρήκαν μια σημαντικά υψηλότερη διαφορά θερμοκρασίας (15,8 °C) μεταξύ φωτεινών και σκουρότερων επιφανειών, αλλά μια ελαφριά διαφορά (0,4 °C)

στη θερμοκρασία αέρα του φαραγγιού(Yaghoobian & Kleissl, 2012). Ο Mills βρήκε ότι η αισθητή θερμική ροή από έναν 'δρόμο φαραγγιού' εξαρτάται περισσότερο από την ταχύτητα του ανέμου, την ανακλαστικότητα (albedo) της επιφάνειας του φαραγγιού, τον λόγο ύψους του φαραγγιού, ενώ οι θερμοκρασίες του αέρα και του υποστρώματος είναι λιγότερο σημαντικές(Mills, 1993). Αν αυτή η εύρεση είναι αληθινή, η μείωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του δρόμου ενδέχεται να μην είναι τόσο αποτελεσματική όσο παλαιότερα νομίζαμε. Περαιτέρω εκλεπτυσμένα μοντέλα και πειράματα απαιτούνται για μια καλύτερη κατανόηση της συσχέτισης μεταξύ της θερμοκρασίας της επιφάνειας του δρόμου και της θερμοκρασίας του αέρα του αστικού ιστού.

4.5 Χρήση Ψυχρών Υλικών

Ο όρος "ψυχρά υλικά" ή "έξυπνα υλικά" αφορά λευκά ή έγχρωμα υλικά που εφαρμόζονται στις εξωτερικές επιφάνειες κτηρίων και άλλων κατασκευών στο αστικό περιβάλλον. Η χρήση αυτών των υλικών προσφέρει το σημαντικό πλεονέκτημα της μείωσης της θερμοκρασίας, τόσο στις εξωτερικές επιφάνειες των κτηρίων όσο και στο εσωτερικό τους. Επιπλέον, η χρήση αυτών των υλικών συνεισφέρει στην εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας που συνήθως απαιτούνται για τη θέρμανση και την ψύξη των κτηρίων, ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι, ενισχύεται η προστασία ή η αντιμετώπιση περιβαλλοντικών φαινομένων, όπως το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας που επηρεάζει ιδιαίτερα τις μεγάλες αστικές περιοχές.

Κάποια κοινά χαρακτηριστικά των ψυχρών υλικών είναι:

- Υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία
- Ικανότητα εκτροπής της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή του υπέρυθρου φάσματος
- Υψηλό συντελεστή εκπομπής της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας υπό μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας
- Μεγάλη διάρκεια ζωής

Η ηλιακή ακτινοβολία, όταν φθάνει σε μία επιφάνεια, μπορεί να ανακλαστεί ή να απορροφηθεί από αυτήν. Το άθροισμα των συντελεστών ανακλαστικότητας (ρ) και απορροφητικότητας (α) μιας επιφάνειας είναι πάντα ίσο με τη μονάδα. Η ποσότητα της ακτινοβολίας του ήλιου που αντανακλάται ή απορροφάται από μια επιφάνεια εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας. Το χρώμα και η υφή της παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη διαδράση της επιφάνειας με τις ακτίνες του ήλιου. Οι λαμπερές και ανοιχτόχρωμες επιφάνειες ανακλούν μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από ό,τι απορροφούν. Αντίθετα, οι σκούρες και

τραχιές επιφάνειες απορροφούν μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από αυτή που ανακλούν.

Τα ψυχρά υλικά έχουν την ικανότητα να αποδίδουν πίσω στο περιβάλλον την ηλιακή ακτινοβολία που έχουν ήδη απορροφήσει, υπό τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας. Αυτή η ικανότητα εκφράζεται με ένα δείκτη, γνωστός ως δείκτης εκπομπής (ϵ), και κυμαίνεται μεταξύ 0 έως 1.

Ο δείκτης ηλιακής αντανάκλασης (SRI - Solar Reflectance Index) υπολογίζεται από τον συνδυασμό των συντελεστών ανακλαστικότητας (ρ), απορροφητικότητας (α) και εκπομπής (ϵ) της ηλιακής ακτινοβολίας εντός μιας επιφάνειας. Αυτός ο δείκτης μας δίνει μια ενιαία μέτρηση για το πόσο η επιφάνεια απορροφά και απορρέει την ηλιακή θερμότητα και είναι ένας βασικός παράγοντας για την αξιολόγηση της ποιότητας μιας κατασκευής ή μιας ψυχρής στέγης (cool roof) σύμφωνα με το πρόγραμμα LEED - Leadership in Energy and Environmental Design. Το πρόγραμμα LEED είναι ένα εθελοντικό πρόγραμμα πιστοποίησης υλικών, το οποίο αναπτύχθηκε από το Αμερικάνικο Συμβούλιο Κατασκευών (U.S. Green Building Council).

Σύμφωνα με δεδομένα του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α. (U.S. Department of Energy), ο δείκτης SRI (Solar Reflectance Index) ορίζεται ως "το μέτρο με το οποίο μία στέγη μπορεί να απορρίψει την ηλιακή θερμότητα που δέχεται για μία συγκεκριμένη άνοδο της θερμοκρασίας". Για τον υπολογισμό του SRI ενός υλικού, ορίζονται πρότυπες επιφάνειες με συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως ο συντελεστής ανακλαστικότητας και εκπομπής, καθώς και η μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσουν κατά τη διάρκεια μίας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως πρότυπη μαύρη επιφάνεια αυτή με συντελεστή ανακλαστικότητας 0.05, εκπομπής 0.90 και μέγιστη αύξηση θερμοκρασίας 50°C. Επίσης, ορίζεται ως πρότυπη λευκή επιφάνεια αυτή με συντελεστή ανακλαστικότητας 0.80, εκπομπής 0.90 και θερμοκρασιακή διαφορά 8.1°C.

Ο υπολογισμός του δείκτη SRI ενός υλικού βασίζεται στη θερμοκρασιακή διαφορά που καταγράφεται κατά τη διάρκεια μίας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας. Αφού μετρηθεί η αύξηση αυτής της θερμοκρασίας, υπολογίζεται ο δείκτης SRI με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο προτύπων επιφανειών (μαύρη και λευκή). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές του δείκτη SRI που υπολογίζονται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εκτείνονται πέρα από το εύρος της "κλίμακας 0-100".

Η τιμή του δείκτη SRI ενός δομικού υλικού δίνει μια γενική ένδειξη της ψυχρότητας του υλικού. Με υψηλότερο SRI, θεωρείται πιο ψυχρό υλικό. Η δείκτης SRI για μία κατασκευή μπορεί ακόμη να υπολογιστεί από:

- Την κλίση της επιφάνειας της κατασκευής

- Το βάρος της κατασκευής
- Τον συντελεστή ανακλαστικότητας της κατασκευής
- Τον συντελεστή εκπομπής της κατασκευής
- Την ηλικία της κατασκευής

Παρατίθεται παρακάτω ο Πίνακας 3 με τα κυριότερα ψυχρά υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για την επίστρωση επιφανειών. Οι τιμές των συντελεστών ανακλαστικότητας, απορροφητικότητας και του δείκτη ηλιακής αντανάκλασης αντιπροσωπεύουν το επίπεδο ψυχρότητας του κάθε υλικού. Υπενθυμίζουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη SRI, τόσο πιο ψυχρή θεωρείται η επιφάνεια.

Επιφάνεια	Ανακλαστικότητα (ρ)	Απορροφητικότητα (α)	Δείκτης ηλιακής αντανάκλασης (SRI)	Θερμοκρασία Επιφάνειας ($^{\circ}\text{C}$)
Ασφαλτόπανα –Σκούρες Επιφάνειες	0.10	0.90	1	82.2
Σχιστολιθικές Πλάκες – Σκούρες Επιστρώσεις	0.20	0.80	14	77.2
Πλάκες Πεζοδρομίου – Ανοιχτές Επιστρώσεις	0.35	0.65	34	69.5
Ασφαλτόπανα	0.35	0.65	34	69.5

Χαλαζιακή Ψηφίδα – Ανοιχτές Επιστρώσεις				
Κεραμίδι Κόκκινο	0.40	0.60	41	66.9
Γαρμπίλι	0.70	0.30	68	56.6
Ανακλαστικές Μεμβράνες	0.80	0.20	84	50.8

Πίνακας 3: Κυριότερα Ψυχρά Υλικά στην Ελλάδα (Πηγή: Κ.ΕΝ.Α.Κ)

Επιπλέον, στον παρακάτω Πίνακα 4 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές του δείκτη εκπομπής για διάφορα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις εξωτερικές επιφάνειες κτηρίων και άλλων κατασκευών/ανακατασκευών στην Ελλάδα.

Επιφάνεια	Δείκτης Εκπομπής (ϵ)
Μεταλλικές Επιφάνειες	0.20
Γαρμπίλι	0.30
Σύνηθες Δομικό Υλικό	0.80
Thermoflex	0.80
Acrylan Thermonlock	0.89
Vivecryl Thermoelastic	0.89
Γυαλί	0.90

Πίνακας 4: Ενδεικτικές Τιμές του Δείκτη Εκπομπής για Διάφορα Δομικά Υλικά (Πηγή: Κ.ΕΝ.Α.Κ)

Παρατηρείται γενικά ότι οι τιμές του συντελεστή εκπομπής των διαφόρων υλικών δόμησης μειώνονται σταδιακά τα πρώτα δύο ή τρία χρόνια από την έναρξη της χρήσης τους και στη συνέχεια σταθεροποιούνται. Αυτή η μεταβολή οφείλεται κυρίως στην συσσώρευση σκόνης

και ρύπων στις επιφάνειες των υλικών, ιδιαίτερα στις οριζόντιες και σε μικρότερο βαθμό στις κατακόρυφες επιφάνειες.

Οφέλη από τη χρήση ψυχρών υλικών

Μία από τις κύριες προτεραιότητες που προκύπτει από τη χρήση ψυχρών υλικών στις κατασκευές κτηρίων και δημόσιων έργων είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Τα ψυχρά υλικά έχουν υψηλή ανακλαστικότητα, γεγονός που επιτρέπει τη μείωση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τις κατασκευές. Ως αποτέλεσμα, το ποσό της ακτινοβολίας του ήλιου που αποθηκεύεται εντός των κτηρίων είναι πολύ μικρότερη από την απορροφούμενη λόγω του υψηλού συντελεστή εκπομπής τους.

Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του κτηρίου, με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας θερμότητας που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου. Έτσι, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ημερών, απαιτείται λιγότερη ενέργεια για τη λειτουργία των ψυκτικών συστημάτων που δροσίζουν το κτήριο. Φυσικά, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη χρήση ψυχρών υλικών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα:

- **Θέση του κτηρίου:** Η γεωγραφική θέση του κτηρίου επηρεάζει την έκθεσή του στην ηλιακή ακτινοβολία και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Κτίρια που βρίσκονται σε θερμές περιοχές μπορεί να ωφεληθούν περισσότερο από τη χρήση ψυχρών υλικών λόγω της ανάγκης για ενεργειακή ψύξη.
- **Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά:** Τα χαρακτηριστικά του κτηρίου, όπως οι όροφοι, οι μονώσεις και άλλα δομικά στοιχεία, επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος.
- **Κλιματολογικές συνθήκες:** Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, όπως η θερμοκρασία, οι ηλιοφάνεια, οι βροχές και οι υγρασία, επηρεάζουν την απόδοση των ψυχρών υλικών.
- **Σύστημα ψύξης/θέρμανσης και ώρες χρήσης:** Η χρήση συστημάτων ψύξης και θέρμανσης και οι ώρες λειτουργίας τους επηρεάζουν την ανάγκη για ενεργειακή απόδοση και τη χρήση ψυχρών υλικών.

Συνολικά, η χρήση ψυχρών υλικών στην κατασκευή ή ανακατασκευή της εξωτερικής επιφάνειας ενός κτηρίου προσφέρει ένα θερμοκρασιακά φιλικό περιβάλλον, ειδικά το καλοκαίρι. Η διατήρηση χαμηλής εσωτερικής θερμοκρασίας μειώνει την ανάγκη για κλιματισμό για δροσιά. Επιπλέον, η χρήση ψυχρών υλικών ενισχύει τη διάρκεια ζωής των δομικών στοιχείων, προστατεύοντάς τα από την υπερίσθη ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμική καταπόνηση. Οι περιοδικές θερμοκρασιακές μεταβολές επηρεάζουν τη συμπεριφορά

των υλικών, αφού αντιδρούν με διαστολή και συστολή. Ειδικά οι έντονες θερμοκρασιακές διαφορές μέσα σε μία ημέρα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές κινήσεις στα δομικά υλικά ενός έργου. Σαν αποτέλεσμα, η αντοχή των δομικών στοιχείων μπορεί να εξασθενήσει, επηρεάζοντας τη συνολική αντοχή του έργου. Ειδικά όταν χρησιμοποιούνται υλικά με μικρές συνεκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων τους, όπως οι πέτρες, η φθορά αυτή γίνεται ακόμη πιο έντονη.

Η χρήση ψυχρών επιχρισμάτων στις κατασκευές αποτρέπει τις έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο εσωτερικό τους, καθώς αντανakλά μεγάλη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει. Ως αποτέλεσμα, οι δομικές υλικές αλλαγές -δηλαδή η διαστολή και η συστολή- είναι μειωμένες, και έτσι οι κατασκευές αυτές έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και χαμηλότερο κόστος συντήρησης σε σύγκριση με κατασκευές που χρησιμοποιούν συμβατικά υλικά.

Η χρήση των ψυχρών υλικών στις κατασκευές κτηρίων και δημόσιων έργων, ειδικά στα μεγάλα αστικά κέντρα, είναι αναγκαία για την μείωση της θερμότητας που μεταφέρεται από τις επιφάνειες στον περιβάλλοντα αέρα. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των επιφανειών και του αέρα επηρεάζει τη θερμοκρασία της περιοχής, τόσο τοπικά όσο και σε ευρύτερη κλίμακα. Έτσι, η μείωση της μεταφερόμενης θερμότητας από τις επιφάνειες των έργων στον αέρα της περιοχής, είναι ζωτικής σημασίας για τον περιορισμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Πολλές επιστημονικές έρευνες και μελέτες έχουν διεξαχθεί για την ανάλυση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ των επιφανειών και των περιβαλλόντων χώρων κατασκευών, όπου χρησιμοποιούνται ψυχρά υλικά ως δομικά στοιχεία, σε σύγκριση με τα συμβατικά υλικά. Παραδείγματος χάριν, το 1968 οι Givoni & Hoffman διαπίστωσαν πως σπίτια με άσπρους τοίχους στο Ισραήλ έδειχναν χαμηλότερες θερμοκρασίες περίπου 3°C κατά τη θερινή περίοδο σε σύγκριση με τα σπίτια με γκρι τοίχους (Givoni & Hoffman, 1968). Επίσης, το 1992, οι Taha et al. υπολόγισαν πως η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ κατασκευών με λευκά επιχρίσματα (συντελεστής ανακλαστικότητας 0.72) ήταν περίπου 45°C σε σύγκριση με τις κατασκευές που είχαν μαύρα επιχρίσματα, τα οποία έχουν συντελεστή ανακλαστικότητας 0.08 (Taha et al., 1992) (Synnefa et al., 2005).

Μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1997 από τους Simpson & McPherson, ανέδειξε πως κτήρια με λευκές οροφές και συντελεστή ανακλαστικότητας ίσο με 0.75, ήταν περίπου 20°C πιο ψυχρά σε σύγκριση με τα κτήρια που είχαν γκρι/ασημένιες στέγες με αντίστοιχο συντελεστή ίσο με 0.30/0.50 (Simpson & McPherson, 1997). Επιπλέον, το 2005, οι Synnefa, et al. διεξήγαγαν μελέτη σχετικά με διαφορετικά είδη επιχρισμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε δημόσια έργα (Synnefa, et al., 2005). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ένα ψυχρό

επίχρισμα, το οποίο κάλυπτε μία λευκή τσιμεντένια πλάκα πεζοδρομίου, μπορούσε να μειώσει την επιφανειακή θερμοκρασία κατά περίπου 4°C την ημέρα και περίπου 2°C τη νύχτα. Επιπλέον, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της πλάκας και του περιβάλλοντος αέρα ήταν περίπου 2°C την ημέρα και περίπου 5.9°C τη νύχτα.

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1978 από τους Berg & Quinn διαπίστωσε, μέσω μετρήσεων, ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι δρόμοι που ήταν βαμμένοι με λευκό χρώμα και είχαν συντελεστή ανακλαστικότητας ίσο με 0.55, είχαν παρόμοια θερμοκρασία με τον περιβάλλοντα αέρα (Berg & Quinn, 1978).

Αντιθέτως, οι άβαφτοι δρόμοι με συντελεστή ανακλαστικότητας 0.15 παρουσίαζαν θερμοκρασία που ήταν περίπου 11°C υψηλότερη από τον περιβάλλοντα αέρα. Σε συνέχεια της παραπάνω έρευνας, οι Doulos et al., το 2004, επιβεβαίωσαν ότι τα φυσικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών επηρεάζουν το επίπεδο ανακλαστικότητάς τους (Doulos et al., 2004). Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται ή απορροφάται από τις επιφάνειες επηρεάζεται από το χρώμα, την υφή και το υλικό κατασκευής. Ειδικότερα, οι λαμπερές και ανοιχτόχρωμες επιφάνειες απορροφούν μικρότερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από τις χοντρές και σκουρόχρωμες. Αποτελέσματα μιας μελέτης αναδεικνύουν το μάρμαρο, την πέτρα και το μωσαϊκό ως τις πιο δροσερές πλάκες για τα πεζοδρόμια σε αντίθεση με το γρανίτη και το τσιμέντο. Ολικά, η θερμική ισορροπία των δομικών στοιχείων μιας κατασκευής εξαρτάται από το χρώμα της επιφάνειας κατά την ημέρα και το υλικό κατασκευής κατά την νύχτα.

Το 2008, στην Ελλάδα, θεσπίστηκε νομοθεσία με την Κοινή Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/14826 (ΦΕΚ 1122Β/2008) από τα Υπουργεία Εσωτερικών, Οικονομίας και Ανάπτυξης. Η εν λόγω απόφαση έχει τίτλο "Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την εξοικονόμηση ενέργειας στο δημόσιο και ευρύτερο δημόσιο τομέα". Η Κοινή Υπουργική Απόφαση αυτή καθορίζει τις προδιαγραφές και τα μέτρα που αφορούν τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των δημόσιων κτηρίων και των κτηρίων που μισθώνονται γενικά από τις υπηρεσίες του δημόσιου τομέα. Η εφαρμογή ψυχρών υλικών και ψυχρών βαφών (λευκών ή έγχρωμων) στις οροφές και εξωτερικούς χώρους των κτηρίων είναι απαραίτητη βάσει της ΚΥΑ που αναφέρθηκε προηγουμένως. Σύμφωνα με την οδηγία του ΥΠΕΧΩΔΕ υπ' αριθμ. ΠΕΤΕΠ: 03-11-20-00/2008, τα υλικά που εμπίπτουν στην κατηγορία των ψυχρών υλικών πρέπει να προέρχονται από πιστοποιημένους κατασκευαστές, οι οποίοι έχουν πιστοποιηθεί σύμφωνα με τα πρότυπα του προγράμματος Energy Star. Το Energy Star είναι ένα πρόγραμμα που έχει ως στόχο την εξοικονόμηση πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος, και διεξάγεται από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) και το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α (U.S. Department of Energy). Επίσης, τα υλικά πρέπει να

πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές που προσαρμόζονται στις κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδας.

Η εν λόγω Οδηγία διακρίνει τα ψυχρά υλικά σε 2 μεγάλες κατηγορίες:

- Ψυχρά υλικά για επιστρώσεις/πλακοστρώσεις/λιθοστρώσεις οδοστρωμάτων, πεζοδρομίων και πλατειών.
- Ψυχρά υλικά για θερμική προστασία των κτηρίων.

Παρουσιάζεται σύντομη περιγραφή της εφαρμογής των ψυχρών υλικών σε διάφορες χρήσεις:

- 1) Ψυχρά Υλικά Επιστρώσεων / Πλακοστρώσεων / Λιθοστρώσεων / Οδοστρωμάτων / Πεζοδρομίων / Πλατειών

Σύμφωνα με τις Οδηγίες του ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008 (ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00), παρουσιάζονται τα εξής ψυχρά υλικά που χρησιμοποιούνται στα οδοστρώματα:

- Πλάκες πεζοδρομίου από σκυρόδεμα – επίπεδες, ανάγλυφες ή αυλακωτές
- Κυβόλιθοι από σκυρόδεμα σε διάφορα σχήματα
- Κεραμικά πλακίδια
- Πλάκες πεζοδρομίου από σκυρόδεμα με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες (επίπεδες, ανάγλυφες ή αυλακωτές)
- Κυβόλιθοι από σκυρόδεμα σε διάφορα σχήματα με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες
- Κεραμικά πλακίδια με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες
- Τσιμεντοειδές κονίαμα για επίστρωση διάφορων επιφανειών

Σύμφωνα με τον Καφφέ Ι., η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας των οδοστρωμάτων/πεζοδρομίων επιτυγχάνεται με τις παρακάτω ενέργειες (Καφφές Ι., 2019):

Αύξηση του δείκτη ανακλαστικότητας

Αυξάνοντας τον συντελεστή ανακλαστικότητας των οδοστρωμάτων/πεζοδρομίων, μειώνεται η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από αυτά. Αυτή η μέθοδος οδηγεί στη δημιουργία των λεγόμενων ανακλαστικών οδοστρωμάτων/πεζοδρομίων (reflective pavements). Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την κατασκευή ή ανακατασκευή ανακλαστικών οδοστρωμάτων/πεζοδρομίων είναι:

- Χρήση συμβατικού τσιμέντου σε οδόστρωμα
- Χρήση πρόσμικτων σκυροδέματος
- Τεχνικές λευκής επικάλυψης

- Επιλογή ανοιχτόχρωμων αδρανών υλικών για την επένδυση σε σκούρες επιφάνειες, όπως π.χ. η άσφαλτος.
- Εφαρμογή τεχνικών chip or sand seals, με χρήση αδρανών υλικών ανοιχτού χρώματος.
- Χρήση κονιαμάτων με άχρωμη επιφάνεια και υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας.
- Εφαρμογή ανοιχτόχρωμων βαφών.
- Χρήση ρητίνης κατά την κατασκευή του οδοστρώματος.

Βελτίωση της διαπερατότητας των επιφανειών και σκίαση

Η βελτίωση της διαπερατότητας των οδοστρωμάτων/πεζοδρομίων μιας πόλης επιτυγχάνεται μέσω της εισαγωγής νερού στο εσωτερικό τους. Η παρουσία του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας των κατασκευών αυτών. Σε συνδυασμό με τη φύτευση δέντρων εκατέρωθεν, δημιουργείται μια τεχνητή όαση στο κέντρο των μεγάλων αστικών κέντρων. Ο συνδυασμός του νερού και της βλάστησης συμβάλλει στη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας των δρόμων και, κατ' επέκταση, του περιβάλλοντος αέρα.

2) Ψυχρά Υλικά Θερμικής Προστασίας των Κτηρίων

Σύμφωνα με τις Οδηγίες του ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008 (ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00), η θερμική προστασία των κτηρίων επιτυγχάνεται μέσω των παρακάτω μεθόδων χρήσης ψυχρών υλικών:

1. Επιστρώσεις βάσης κτηριακού κελύφους: Χρησιμοποιείται υλικό βάσης σιλάνης/σιλοξάνης, το οποίο είναι ανθεκτικό στα αλκάλια και διασφαλίζει την διαπνοή της επιφάνειας, συμβατότητα με την τελική ή υπάρχουσα επίστρωση και καλή πρόσφυση με την τελική επίστρωση.
2. Επιστρώσεις τελειώματος κτηριακού κελύφους: Βασίζονται στην τεχνολογία των ψυχρών υλικών και χρησιμοποιούν ελαστομερές στεγανωτικό υλικό ακρυλικής υδατικής βάσης. Η εφαρμογή ακολουθεί τις ελάχιστες απαιτήσεις του προτύπου ASTM 6083 και τις υποδείξεις βέλτιστης εφαρμογής από τον προμηθευτή.
3. Επιστρώσεις τελειώματος βάσεως στυρένιο – ακρυλικής, τσιμεντοειδούς, πυριτικού καλίου ή ακρυλικής-σιλοξάνης με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες. Αυτές οι επιστρώσεις βασίζονται σε τεχνολογία ψυχρών υλικών με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες, που συμβάλλουν στην βελτίωση της θερμικής προστασίας των κτηρίων.

Για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των καινοτόμων υλικών αυτής της κατηγορίας, λόγω της έλλειψης σχετικών προτύπων, απαιτείται η προσκόμιση εκθέσεων εργαστηριακών δοκιμών που θα αποδεικνύουν τις φωτοκαταλυτικές τους επιδόσεις, όπως η αποδόμηση ρύπων και η αντιβακτηριακή δράση. Επιπλέον, απαιτείται η προσκόμιση στοιχείων που αποδεικνύουν την

επιτυχή ενσωμάτωση των υλικών σε έργο που υλοποιήθηκε σε κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σύμφωνα με τις οδηγίες, όλα τα υλικά βάσης, ενδιάμεσης στρώσης και τελειώματος πρέπει να προέρχονται από τον ίδιο κατασκευαστή, εκτός εάν ο εργοδότης συναινεί σε αλλαγή ή πολλαπλότητα προμηθευτών.

4.6 Πολεοδομικός Σχεδιασμός και Ανάπτυξη

Η «κορεσμένη» κατασκευή των πόλεων οδηγεί στη δυσκολία διείσδυσης του ανέμου στο αστικό χώρο, ενισχύοντας κατόπιν τα αποτελέσματα της ΑΘΝ. Κατά τη διάρκεια της αστικοποίησης, η αύξηση της θερμοκρασίας στις αστικές περιοχές εμποδίζει τον σχηματισμό σύννεφων και ομίχλης και προωθεί την εμφάνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ομίχλης, επιδεινώνοντας κατ'επακολούθηση τα αποτελέσματα της ΑΘΝ. Με βάση αυτά, στον μελλοντικό πολεοδομικό σχεδιασμό, ανάπτυξη και κατασκευή, μπορούν να ακολουθηθούν αρκετές προτάσεις για την ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισης της ΑΘΝ:

- Είναι αναγκαίο να εκμεταλλευθούμε τα οφέλη της βροχής για τη μείωση της ΑΘΝ, μέσω της κατασκευής υποδομών που σχετίζονται με τη συλλογή και την επαναχρησιμοποίηση της βροχής, και για την αποδυνάμωση του ρόλου του υπόγειου συστήματος αποχέτευσης που απορροφά ανούσια το νερό της βροχής. Από τη μία πλευρά, η βροχή στις πόλεις μπορεί να αποθηκευτεί, καθοδηγώντας την σε φυσικά ύδατα και χαμηλά σημεία. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να γίνει ορθολογική κατασκευή των αστικών διαπερατών στρωμάτων για τη βελτίωση της δυνατότητας εισχώρησης στο έδαφος, πχ αυξάνοντας το ποσοστό πρασίνου στην πόλη και χρησιμοποιώντας διαπερατά τούβλα, με σκοπό τη μετατροπή του εδάφους σε φυσικό υλικό απορρόφησης νερού για τη βελτίωση της διατήρησης της υγρασίας του εδάφους.
- Οι αστικοί διάδρομοι αερισμού μπορούν να κατασκευαστούν εύλογα κατά μήκος του κυρίαρχου ανέμου που προέρχεται από ψυχρές πηγές (παράκτιες, ποτάμιες, κοιλάδες, αγροτικές και προαστιακές περιοχές κ.λπ.) γύρω από τις πόλεις. Οι αστικοί διάδρομοι αερισμού μπορούν να δημιουργηθούν μέσω της σύνδεσης αστικών ανοιχτών χώρων, όπως μεγάλων οδών, ανοικτών χώρων, πράσινων εκτάσεων και χαμηλών κτιρίων. Υψηλά κτίρια που εμποδίζουν τον κυρίαρχο αέρα μπορούν να κατεδαφιστούν ή να αναδιαμορφωθούν κατάλληλα (Mou et al., 2017) για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα του αερισμού στις πόλεις. Επιπλέον, η υποκείμενη επιφάνεια των αστικών διαδρόμων αερισμού μπορεί να επιστρωθεί με δροσερά υλικά, χώρους με γρασίδι και νερό για να παρέχει επιπλέον ψυχρές πηγές για τον εισαγόμενο αέρα,

προκειμένου να επεκτείνει την λειτουργική απόσταση των διαδρόμων αερισμού. Για τις πόλεις που επηρεάζονται από τον θερμό κυρίαρχο άνεμο, πρέπει να τοποθετηθούν πράσινοι φράχτες (δηλαδή δέντρα και δάση) για να ανακόψουν τον ζεστό άνεμο. Ταυτόχρονα, απαιτούνται τοπικές ψυχρές πηγές για τη δημιουργία τοπικού διαδρόμου αερισμού για τη μείωση της ΑΘΝ.

- Για τον σχηματισμό νεφών και ομίχλης στην αστική περιοχή, είναι αναγκαίο να τεθούν τα απαραίτητα τεχνητά στοιχεία: υδρατμός, ο οποίος θα λειτουργήσει ταυτόχρονα με την υψηλότερη θερμοκρασία στην πόλη. Από τη μία, πρέπει να βελτιωθεί η δυνατότητα αποθήκευσης νερού στα ύδατα και το έδαφος για τη συλλογή της βροχής. Από την άλλη, πρέπει να δίνεται προσοχή στην αστική πράσινη γεωργία για να αυξηθεί η υγρασία του αέρα μέσω της διαπνοής της χλωρίδας. Επιπλέον, η εκτεταμένη θερμότητα των αστικών περιοχών πρέπει να αποβάλλεται μέσω των αστικών διαδρόμων αερισμού, προκειμένου να αποδυναμωθεί η επίδραση της υπερβολικής θερμότητας στην αποδυνάμωση της κάλυψης του αστικού ιστού από σύννεφα και από ομίχλη. Η κατασκευή του αστικού διαδρόμου αερισμού και της αστικής πράσινης γεωργίας συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

4.7 Εμπειρικές Μελέτες

Η εμπειρική μοντελοποίηση βασίζεται σε παρατηρήσεις των στοιχείων που συνθέτουν τα χαρακτηριστικά της ΑΘΝ. Ο στόχος αυτού του μοντέλου είναι να αναπαραγάγει την ενέργεια του θόλου χρησιμοποιώντας στατιστικές σχέσεις που προκύπτουν από τις παρατηρήσεις. Πολλά στατιστικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί ενεργά στην έρευνα για την ΑΘΝ, αναφέροντας ως πλεονεκτήματά τους την απλότητα και την ευκολία χρήσης τους. Αυτά τα μοντέλα έχουν επίσης γενικά το πλεονέκτημα ότι λειτουργούν καλά σε πόλεις με περιορισμένο εύρος ατμοσφαιρικών συνθηκών (Oke et al., 2017). Τα εμπειρικά μοντέλα περιγράφουν φαινόμενα με βάση την εμπειρική γνώση και τις στατιστικές σχέσεις μεταξύ μετεωρολογικών και γεωμετρικών μεταβλητών που προκύπτουν από παρατηρήσεις φυσικής ανάλυσης (Matthias Roth, 2013). Για τη δημιουργία αυτού του στατιστικού πλαισίου, οι

ερευνητές πρέπει να χρησιμοποιούν δεδομένα από πολλές τοποθεσίες μέτρησης για την ανάπτυξη σχέσεων (Oke, 1988). Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν περιορισμοί στην απόκτηση των απαραίτητων πληροφοριών με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από επιτόπιες παρατηρήσεις και μετρήσεις, οι οποίοι καθιστούν φυσική πρόκληση κατά τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας. Οι γνώσεις από αυτά τα μοντέλα για σκοπούς διάγνωσης είναι επίσης περιορισμένες, αλλά οι μελέτες μπορούν να έχουν περιγραφική και πραγματική αξία επειδή παρέχουν γρήγορα αποτελέσματα. Πολλά από αυτά τα μοντέλα έχουν τη μορφή αναλύσεων παλινδρόμησης ή συσχέτισης (Oke, 1988- Oke et al., 2017- Matthias Roth, 2013).

Όσον αφορά την άμεση σχέση μεταξύ του UHI και των μετεωρολογικών δεδομένων ή της αστικής γεωμετρίας και των μοντέλων πρόβλεψης κτιρίων, οκτώ (αναλογία = 33,33%) μελέτες χρησιμοποίησαν ανάλυση διμεταβλητής παλινδρόμησης μεταξύ των 24 που κατηγοριοποιήθηκαν ως εμπειρικές μελέτες. Η ανάλυση συσχέτισης ($n = 5$, αναλογία = 20,83%) χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την ανάλυση και την κατανόηση της άμεσης συσχέτισης μεταξύ της UHI ή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας με άλλους παράγοντες (π.χ. χρόνος, θερμοκρασία αέρα, γεωμετρία). Χρησιμοποιήθηκε επίσης μια μέθοδος ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης για την εκτίμηση και την κατανόηση της σημαντικής έντασης και του μεγέθους της UHI. Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης βοηθά τους ερευνητές να προσδιορίσουν ποιοι παράγοντες που επηρεάζουν την AΘN είναι οι περισσότερο ή οι λιγότερο ευαίσθητοι για την εκτίμηση της AΘN. Οι D. Zhou κ.ά. (2018) και Tian κ.ά. (2019) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο βηματικής παλινδρόμησης για τον εντοπισμό και την πρόβλεψη των παραγόντων που επηρεάζουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα με δείκτες μορφολογίας δύο και τριών διαστάσεων. Κατά τη διαδικασία, χρησιμοποιήθηκαν όσο το δυνατόν περισσότεροι τύποι μορφολογικών δεικτών ως ανεξάρτητες μεταβλητές.

Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά των παραγόντων αστικής γεωμετρίας που αντικατοπτρίζονται στις μελέτες ποικίλλουν ανάλογα με την πηγή δεδομένων. Για παράδειγμα, δύο μελέτες (D. Zhou et al., 2018) που βασίζονται στην έννοια SUHI χρησιμοποίησαν LST και γεωμετρικά δεδομένα (π.χ. NDVI, NDBI, LULC, ISA) που ελήφθησαν από τηλεπισκόπηση για την ανάλυση. Η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να μειώσει τα σφάλματα στην ανάλυση και να αυξήσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μέσω της ενοποίησης των πηγών δεδομένων. Και στις δύο μελέτες, το LST προέκυψε από το MODIS, αλλά οι Sun κ.ά. (2018) και D. Zhou κ.ά. (2018) εξήγαγαν γεωμετρικούς παράγοντες, οι οποίοι ήταν ανεξάρτητες μεταβλητές από τα δεδομένα MODIS και OLI, αντίστοιχα, και τους χρησιμοποίησαν για την ανάλυση. Ως εκ τούτου, υπήρχε μεγάλη διαφορά στη φύση, τον τύπο και τον αριθμό των γεωμετρικών παραγόντων στις μελέτες.

4.8 Αριθμητικές μελέτες

Σε αντίθεση με άλλες ερευνητικές τεχνικές, οι πειραματικές μέθοδοι στην έρευνα για το ΑΘΝ διαφέρουν στο ότι μπορούν να προσομοιωθούν και, συνεπώς, να αντικατοπτρίζουν πιο σύνθετες και ποικίλες συνθήκες. Οι πειραματικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για να αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές στις αστικές γεωμετρίες (Oke et al., 2017). Οι πειραματικές μελέτες είναι σημαντικές, καθώς μπορούν να βοηθήσουν να ξεπεραστούν οι περιορισμοί της κλίμακας και του εύρους των εμπειρικών μελετών.

Η προσομοίωση με τη χρήση του ατμοσφαιρικού αριθμητικού μοντέλου αντιπροσώπευε το μεγαλύτερο ποσοστό με 12 (46,15%) από τις 26 μελέτες που ταξινομήθηκαν ως πειραματικές μελέτες. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο ήταν το μοντέλο μετεωρολογικής έρευνας και πρόβλεψης (WRF) και το μοντέλο αστικού θόλου (UCM). Το WRF, που αναπτύχθηκε από το Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας, είναι ένα από τα πιο προηγμένα και ευρέως χρησιμοποιούμενα αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης καιρού για την κατανόηση και την πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών μεσοκλίμακας (H. Li et al., 2019). Το UCM είναι ένα μοντέλο ενός στρώματος που λαμβάνει υπόψη τη διαφορετική θέρμανση (οροφή κτιρίου, πλευρά κτιρίου, επιφάνεια δρόμου) και την παρεμπόδιση της ακτινοβολίας από τα κτίρια της πόλης. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε υποθέσεις σχετικά με τα στοιχεία του σχήματος των κτιρίων (ύψος κτιρίου, αναλογία επιφάνειας), την αστική μορφή και τις ανθρωπογενείς εκπομπές θερμότητας (Kusaka and Kimura, 2004). Οι μελέτες που χρησιμοποιούν αυτά τα δύο μοντέλα γενικά συνδυάζουν τα δύο μοντέλα και τα χρησιμοποιούν ταυτόχρονα (Jandaghian et al., 2018). Οι Ryu και Baik (2012) χρησιμοποίησαν το μοντέλο Urban Canopy Model (SNUUCM) του Εθνικού Πανεπιστημίου της Σεούλ ως βάση για μοντέλο πολλαπλών επιπέδων που είναι εφαρμόσιμο στη φυσική μορφή των 'φαραγγιών' των δρόμων.

Η πολυπλοκότητα των μεθόδων υπολογιστικής προσομοίωσης και των αποτελεσμάτων συνέχισε να αναπτύσσεται. Στα πρώτα στάδια, μπορούσε να προσομοιωθεί ένα κτίριο ή ένα φαράγγι δρόμου και η ανάλυση γινόταν κυρίως με δισδιάστατη και όχι τρισδιάστατη μοντελοποίηση, ακόμη και αν το εύρος της μοντελοποίησης επεκτάθηκε (Matthias Roth, 2013). Ωστόσο, η τρισδιάστατη ανάλυση έγινε πιο συνηθισμένη με την ανάπτυξη προγραμμάτων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) και την αυξημένη χρήση βελτιωμένων προγραμμάτων προσομοίωσης, όπως τα Ansys Fluent, SimFlow, OpenFOAM και ENVI-met (Nazarian and Kleissl, 2015). Το CFD έχει εφαρμοστεί συχνά σε μελέτες UHI για τη μελέτη της μοντελοποίησης της ενέργειας σε περιβάλλον κλίμακας δρόμου (Nazarian and Kleissl, 2015). Τα τελευταία χρόνια, σημαντική προσπάθεια και αξιοσημείωτη πρόοδος έχουν επίσης σημειωθεί στη μοντελοποίηση της ροής του αέρα και στις προσομοιώσεις CFD

του ενεργειακού ισοζυγίου στην κλίμακα του δρόμου-καναλιού, και πολλοί ερευνητές τις έχουν χρησιμοποιήσει ενεργά στην έρευνα ΑΘΝ. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται μέσω CFD μπορούν να βοηθήσουν στην εξήγηση της ΑΘΝ με βάση φυσικές διεργασίες εντός αστικών περιοχών που ποικίλλουν σε μέγεθος και ένταση.

5

Συμπεράσματα και

Προτάσεις

Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής στατιστική ανάλυση των χαρακτηριστικών και της κατανομής της θερμικής νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας από 25 σταθμούς στην πόλη. Μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η γεωγραφική θέση της περιοχής της Αθήνας, η οποία χαρακτηρίζεται από την παρουσία βουνών τριγύρω που ξεπερνούν τα 1000 μέτρα, συμβάλλει στην ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών του αέρα το καλοκαίρι. Η εμφάνιση υψηλών θερμοκρασιών αέρα ενισχύεται επίσης από την αυξημένη αστικοποίηση και βιομηχανοποίηση, την αυξημένη ανθρωπογενή θερμότητα και την έλλειψη βλάστησης. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αυγούστου, οι μέσες και μέγιστες θερμοκρασίες αέρα στο κέντρο της πόλης και στο δυτικό τμήμα της πόλης είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές για το βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής.
- Η ανάλυση των μέσων ημερήσιων και νυχτερινών θερμοκρασιών αέρα σε όλους τους σταθμούς, καθώς και της διαφοράς μεταξύ αυτών και του σταθμού αναφοράς που βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας, επιτρέπει το συμπέρασμα ότι η θερμική νησίδα κατά τη διάρκεια της νυχτερινής περιόδου παρατηρείται κυρίως στο δυτικό τμήμα της πόλης.
- Η μέση και η μέγιστη νυχτερινή θερμοκρασία του αέρα, καθώς και ο αριθμός των ωρών κατά τις οποίες η θερμοκρασία του αέρα υπερβαίνει τους 30 °C, μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας.

- Ο υψηλός βαθμός συμφωνίας μεταξύ των μετρούμενων δεδομένων και του νόμου των υπερβάσεων επιτρέπει την εκτίμηση της μέσης περιόδου επαναφοράς για μια συγκεκριμένη βάση θερμοκρασιών αέρα. Συμπεραίνεται ότι για κάθε εξεταζόμενη περίοδο επαναφοράς, οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας αέρα παρατηρούνται στο κέντρο και στο δυτικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας.

Για την έρευνα στον τομέα του αστικού κλίματος, η πρόβλεψη των τάσεων και της κατεύθυνσης των αλλαγών στο μέλλον αποτελεί κρίσιμο έργο και είναι εξίσου σημαντική με την ανάλυση και την κατανόηση των προηγούμενων και των σημερινών συνθηκών. Το UHI είναι ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά φαινόμενα στο αστικό κλίμα. Το UHI σε συνδυασμό με την υπερθέρμανση του πλανήτη επιταχύνει τις φυσικές και ανθρώπινες απώλειες στις πόλεις, γι' αυτό και έχει γίνει ένα από τα πιο ενεργά μελετημένα θέματα από τους ερευνητές του αστικού κλίματος. Ειδικότερα, οι μελέτες που αποσκοπούν στην κατανόηση της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας του UHI εντός της πόλης είναι κρίσιμες πριν από τη χάραξη πολιτικών για τη μείωση των φυσικών και υγειονομικών ζημιών στους κατοίκους των πόλεων που προκαλούνται από το UHI ή πριν από την αναθεώρηση νόμων και κανονισμών.

Οι περισσότερες μελέτες σχετικά με τις μεταβολές της UHI επικεντρώθηκαν τόσο στις χωρικές όσο και στις χρονικές διακυμάνσεις. Ένας μεγάλος αριθμός μελετών που διεξήχθησαν στο UCL (δηλ. μια τοποθεσία όπου η UHI επηρεάζεται άμεσα από την αστική μορφή) έτεινε να εστιάζει στη μεσοκλίμακα, μια οριζόντια αστική περιοχή. Ορισμένες μικρότερες μελέτες διεξήχθησαν από την οπτική γωνία της τοπικής κλίμακας και της μικροκλίμακας. Ιδιαίτερα μελέτες σχετικά με τη χωρική μεταβολή έχουν διεξαχθεί από την οπτική γωνία αυτών των δύο οριζόντιων περιοχών. Αυτοί οι περιορισμοί αναδεικνύουν επίσης προβλήματα με τα κριτήρια επιλογής του τρόπου συλλογής των δεδομένων. Ωστόσο, σε κάθε μελέτη δεν υπήρχαν κριτήρια για να καθορίσουν οι ερευνητές τον τρόπο συλλογής δεδομένων για συγκεκριμένους ερευνητικούς σκοπούς, όπως μια κατακόρυφη θέση, ένα οριζόντιο εύρος και ένας τύπος UHI όπου δημιουργείται UHI. Ως εκ τούτου, οι πιο συστηματικές μελέτες μεταβολής του UHI χρειάζονται βελτιστοποιημένα κριτήρια σχεδιασμού της έρευνας. Εκτός από τις μελέτες UHI με τη χρήση στατιστικής ανάλυσης, οι μέθοδοι προσομοίωσης χρησιμοποίησαν παραδοσιακά μοντέλα πρόγνωσης καιρού. Παρόλο που αυτές οι δύο κύριες μέθοδοι ανάλυσης έλαβαν υπόψη τα τρισδιάστατα χαρακτηριστικά της αστικής γεωμετρίας που επηρεάζουν άμεσα τη χωρική διακύμανση του UHI, δεν έλαβαν αποτελέσματα που να αντικατοπτρίζουν πλήρως αυτά τα χαρακτηριστικά. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη για έναν δείκτη που να εξηγεί με σαφήνεια τα αποτελέσματα.

Η μελλοντικές έρευνες πρέπει να αναπτυχθούν προς τρεις κατευθύνσεις: 1) να προταθεί ένα κατάλληλο πρωτόκολλο ερευνητικού σχεδιασμού για την έρευνα ΑΘΝ- 2) να καθιερωθούν μοντέλα και μονάδες στις οποίες οι παράμετροι του καιρού και της αστικής γεωμετρίας στη

μελέτη ΑΘΝ μπορούν να αντικατοπτρίζουν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους- και 3) να αναπτυχθεί ένας δείκτης που μπορεί να περιγράψει το μέγεθος της διακύμανσης ΑΘΝ με βάση δύο βελτιώσεις. Η έρευνα που σχετίζεται με αυτούς τους τρεις σκοπούς θα χρησιμεύσει ως ευκαιρία για την ανάπτυξη πιο εμπειριστατωμένων και αποτελεσματικών μελετών μεταβολής της ΑΘΝ. Τα αποτελέσματα των μελλοντικών μελετών μπορούν να βοηθήσουν τους ερευνητές, τις κυβερνήσεις και τις πόλεις να προετοιμαστούν καλύτερα για τις ζημιές που προκαλούνται από την ΑΘΝ στις πόλεις.

Επιπλέον, οι μελλοντικές μελέτες μπορούν να συμβάλουν στη διεύρυνση των ερευνητικών τεχνικών και του πεδίου εφαρμογής για την ανάπτυξη τεχνικών βαθιάς μάθησης που δεν έχουν ακόμη εφαρμοστεί σε μελέτες εκτίμησης του UHI. Η προώθηση της έρευνας για την ΑΘΝ θα βοηθήσει επίσης τους ερευνητές να αναπτύξουν μια ερευνητική μέθοδο για την περαιτέρω ανάλυση, εκτίμηση και πρόβλεψη της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας της ΑΘΝ. Αυτή η ανάλυση των προβλημάτων και των περιορισμών των πιο κοινών μεθόδων εκτίμησης της ΑΘΝ θέτει τα θεμέλια για την εκτίμηση και την κατανόηση της μεταβολής της ΑΘΝ.

Σκέψεις για την επέκταση αυτής της έρευνας περιλαμβάνουν: τη διερεύνηση της συσχέτισης κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών, όπως το εισόδημα (Azhar et.al., 2014) και η απομόνωση (D'Ippoliti, D, 2010), με τη θνησιμότητα (Basu, R, 2005), την εκτίμηση αναλυτικών μοντέλων προσδιορισμού και επισήμανσης της εμφάνισης και της διάρκειας των κυμάτων καύσωνα, όπως συζητήθηκε από τους Nastos και Matzarakis (Nastos, P.T, 2011), και την αξιολόγηση της επίδρασης των παρεμβάσεων στη βλάστηση και το albedo στη θνησιμότητα λόγω καύσωνα (Zuo, J,2015).

6

Βιβλιογραφία

Alexandri, E., Krali, E., Melabianki, E., Neofytou, G., Peristerioti, S., Agorastou, K. (2016). *The Regeneration of the Commercial Triangle of Athens: Sustainability Rationale. International Conference of Sustainable Synergies from Buildings to Urban Scale*, SBE 16, 17-19, October 2016, Thessaloniki.

James, W. (2002). Green Roads: Research into permeable pavers, investigation of infiltration capacity, pavement leachate, and runoff temperature. *Stormwater, The Journal of Surface Water Quality Professional*, March/April, 49-50.

Roa-Espinosa, A., Wilson, T.B., Norman, J.M., Johnson, K. (2003). *Predicting the impact of urban development on stream temperature using a thermal urban runoff model (TURM). National Conference on Urban Stormwater: Enhancing Program at the Local Level*, Chicago 17-20 February.

United Nations Climate Change (2022). *The Paris Agreement*. Διαθέσιμο στο: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Τελευταία Πρόσβαση: 16/09/2023

Ηνωμένα Έθνη-Περιφερειακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ (2023). *Οι 17 Στόχοι*. Διαθέσιμο στο:

<https://unric.org/el/17-%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%87%CE%BF%CE%B9-%CE%B2%CE%B9%CF%89%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B7%CF%83->

Τελευταία Πρόσβαση: 16/09/2023

Καθρέπτης, Μ. & Κωνσταντινίδης, Σ. (2022). *Εξοικονόμηση ενέργειας στην Τοπική Αυτοδιοίκηση-Μελέτη Περίπτωσης-Δήμος Αθηναίων*. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιώς-Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων-Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Κλιματική Κρίση και Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (MSc in Climate Crisis and Information and Communication Technologies)».

Καρτάλης, Κ., Κοκκώσης, Χ., Φιλιππόπουλος, Κ., Λάππα, Κ., Μαυράκου, Θ. (2021). *Ενσωματώνοντας την κλιματική αλλαγή στον μετασχηματισμό του αναπτυξιακού μοντέλου της Ελλάδας*. Αθήνα: διαΝΕΟσις-Οργανισμός Έρευνας & Ανάλυσης.

Santamouris, M. (2015). Cooling the cities—A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703.

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295-310.

Wong, N. H., Chen, Y., Ong, C. L., & Sia, A. (2012). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 53, 130-140.

European Environment Agency. (2019). Urban adaptation to climate change in Europe. EEA Report No 27/2019.

United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2013). *Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011*. Earthscan.

Climate.Copernicus. Demonstrating Heat Stress in European Cities.

Πηγή: <https://climate.copernicus.eu/demonstrating-heat-stress-european-cities>

Τελευταία Πρόσβαση: 03/09/2023

Shushi Peng et al (2011) Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities
Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es2030438>

Gartland,L. (2012).Urban Heat Islands. Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas.
London, Routledge

Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., & Liu, C. (2008). A review on the generation, determination
and mitigation of Urban Heat Island. Journal of Environmental Sciences: 20(1), 120–128.
Doi: 10.1016/s1001-0742(08)60019-4

Soltani & Sharifi (2017). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to
urban greenery: A case study of Adelaide

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal
Meteorological Society

H.Taha (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and
anthropogenic heat

Offerle, CSB Grimmond & K.Fortuniak (2006). Intraurban differences of surface energy
fluxes in a central European city

Hulley, M. E. (2012). Metropolitan Sustainability

Environmental Protection Agency. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of
StrategiesUrban Heat Island Basics. Retrieved from:
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/basicscompndium.pdf>

Final Report on Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in Context of
Urban Heat Island Effect. Retrieved from: <https://www.teriin.org/sites/default/files/2018-03/urbaheat-island-effect-report.pdf>

Svensson, M. K. (2004). Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences. *Meteorological Applications*: 11(3), 201–211. doi:10.1017/s1350482704001288

Sailor and Fan (2002). Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities

Jauregui (1997). Heat island development in Mexico City

Tereshchenko & Filonov (2001). Air temperature fluctuations in Guadalajara, Mexico, from 1926 to 1994 in relation to urban growth

Arnfield (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island

Freitas D.E., Rozoff C.M., Cotton W.R. & Dias P.L.S. (2007) Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil. *Boundary Layer Meteorology*: 122, 43–65.

Giannaros, T. M., & Melas, D. (2012). Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research*: 118, 103–120. doi:10.1016/j.atmosres.2012.06.006

Αραβαντινός Α. (1997). «Πολεοδομικός Σχεδιασμός. Για μια Βιώσιμη Ανάπτυξη του Αστικού Χώρου» & 2007 – Β Έκδοση

Seymour, Whitney North, Jr (1969). Small urban spaces: the philosophy, design, sociology, and politics of vest-pocket parks and other small urban open spaces.

KK Peschardt (2014). [Health Promoting Pocket Parks in a Landscape Architectural Perspective](#)

W.C. Li, K.K.A. Yeung (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective, *International Journal of Sustainable Built Environment*.

Takebayashi, Moriyama (2007), Surface Heat Budget on Green Roof and High Reflection Roof for Mitigation of Urban Heat Island.

<https://coolroofs.org/> (Link)

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abaa0d/meta> (Link)

H Akbari, H Taha (1992). The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities.

A Synnefa, M Santamouris (2005). A comparative study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment.

JR Simpson, EG McPherson (1997). The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona.

R Berg, W Quinn (1978). Use of light colored surface to reduce seasonal thaw penetration beneath embankments on permafrost.

Doulos et al., (2004) "Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials" Solar Energy.

Kassomenos P., Flocas HA, Lykoudis S. & Petrakis M. (1998). Analysis of mesoscale patterns in relation to synoptic conditions over an urban Mediterranean basin.

Mihalakakou G., Flocas, H.A., Santamouris, M. & Helmis, C.G. (2002). Application of Neural Networks to the Simulation of the Heat Island Over Athens, Using Synoptic Types as a Predictor.

Τράπεζα της Ελλάδος (2011). Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας.

Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou A. & Asimakopoulos, D.N. (2001). On the Impact of Urban Climate on the Energy Consumption of Buildings. Solar Energy

Santamouris M., Mihalakakou, G., Papanikolaou, N. & Asimakopoulos, D.N. (1999). A Neural Network Approach for Modeling the Heat Island Phenomenon in Urban Areas During the Summer Period.

Mihalakakou G., Flocas, H.A., Santamouris, M. & Helmis, C.G. (2002). Application of Neural Networks to the Simulation of the Heat Island Over Athens, Using Synoptic Types as a Predictor.

Livada, I., Santamouris, M., Niarchou, K., Papanikolaou, N. & Mihalakakou, G. (2002). Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed.

Synnefa A., Santamouris M. & Livada, I. (2006). A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment.

Zoulia, I., Santamouris, M. & Dimoudi, A. (2008). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens.

Stathopoulou, M. & Cartalis, C. (2006). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: an application to major cities in Greece.

Santamouris M., Paraponiaris K., Mihalakakou G. (2007). Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece.

Papadopoulos, A.M. (2001). The influence of street canyons on the cooling loads of buildings and the performance of air conditioning systems.

Giannopoulou, K., Livada, I., Santamouris, M., Saliari, M., Assimakopoulos, M. & Caouris, Y.G. (2011). On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece.

Papanastasiou, D. & Kittas, C. (2012). Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city.

Kolokotsa, D., Psomas, A. & Karapidakis, E. (2009) Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete.

Giannaros, M.T. & Melas, D. (2012). Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece.

https://commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-recovery/recovery-and-resilience-facility/country-pages/greeces-recovery-and-resilience-plan_en (Link)

Zhou, D.; Xiao, J.; Bonafoni, S.; Berger, C.; Deilami, K.; Zhou, Y.; Froking, S.; Yao, R.; Qiao, Z.; Sobrino, J.A. Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 48. <https://doi.org/10.3390/rs11010048>

Ben Moua, Bao-Jie Heb, Dong-Xue Zhaocand Kwok-wing Chau(2017). [Numerical simulation of the effects of building dimensional variation on wind pressure distribution](#)

Bao-Jie He (2018). Potentials of meteorological characteristics and synoptic conditions to mitigate urban heat island effects

Bosscher, P. J., Bahia, H. U., Thomas, S., & Russell, J. S. (1998). Relationship Between Pavement Temperature and Weather Data: Wisconsin Field Study to Verify Superpave Algorithm. *Transportation Research Record*, 1609(1), 1-11. <https://doi.org/10.3141/1609-01>

Brian K. Diefenderfer, A.M.ASCE; Imad L. Al-Qadi, F.ASCE; and Stacey D. Diefenderfer, A.M.ASCE(2006). Model to Predict Pavement Temperature Profile:Development and Validation

[M Solaimanian](#), TW Kennedy(1993). [Predicting maximum pavement surface temperature using maximum air temperature and hourly solar radiation](#)

[T.R. Oke](#) (1988). The urban energy balance.

Kusaka H, Kondo H, Kikegawa Y, Kimura F. (2001) A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: comparison with multi-layer and slab models. *Bound-Layer Meteorol*

Oke TR. (1988) Street design and urban canopy layer climate. Energy Build

Takebayashi H, Moriyama M. (2012) Relationships between the properties of an urban street canyon and its radiant environment: Introduction of appropriate urban heat island mitigation technologies. Solar Energy.

Mills GM. (1993) Simulation of the energy budget of an urban canyon—I. Model structure and sensitivity test. Atmos Environ Part B Urban Atmos

K. Niachou, I. Livada, M. Santamouris(2008). Experimental study of temperature and airflow distribution inside an urban street canyon during hot summer weather conditions. Part II: Airflow analysis

Tzu-Ping Lin, Yu-Feng Ho, Yu-Sung Huang (2007). Seasonal effect of pavement on outdoor thermal environments in subtropical Taiwan.

Siew-Ann Tan, Tien-Fang Fwa (1992). Influence of pavement materials on the thermal environment of outdoor spaces.

Takashi Asaeda, Vu Thanh Ca, Akio Wake(1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere

Santamouris M, Gaitani N, Spanou A, Saliari M, Giannopoulou K, Vasilakopoulou K, et al. (2012) Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas – design realization and results of the flisvos project.

Synnefa A, Dandou A, Santamouris M, Tombrou M, Soulakellis N. (2008). On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy.

Arthur H. Rosenfeld , Hashem Akbari, Joseph J. Romm, Melvin Pomerantz (1998) Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction.\

Pomerantz M, Pon B, Akbari H, Chang S-C. (2000) The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities.

Neda Yaghoobian, Jan Kleissl (2012). Effect of reflective pavements on building energy use.

Gerald M. Mills (1993). Simulation of the energy budget of an urban canyon—I. Model structure and sensitivity test.

Yinghong Qin (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect.

Shaw, N., & Owens, J. S. (1925). The smoke problem of great cities. Constable Limited.

Kremser, V. (1908). Der Einfluß der Großstädte auf die Luftfeuchtigkeit. Meteorologische Zeitschrift, 25, 206-215.

Augustin, F. (1906). Die Niederschläge in Prag. MZ Hannband, 90-94.

Schmauss, A. U. G. U. S. T. (1927). Großstädte und Niederschlag. Meteorologische Zeitschrift, 44, 330-341.

Peppler, A. (1929). Die temperaturverhältnisse von Karlsruhe an heissen Sommertagen. Deutsche Meteorologisches.

HE Landsberg (1981). The urban climate

H Li, Y Zhou, X Li, L Meng, X Wang, S Wu (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity.

Εταιρία Ανάπτυξης & Τουριστικής Προβολής Αθηνών, ιστότοπος: Βιώσιμη Ανάπτυξη, Πηγή: <https://develop.thisisathens.org/el/ependyste-stin-athina/viosimi-anaptyksi> , (τελευταία πρόσβαση 15/09/2023).

ΚΑΠΕ, ιστότοπος: Εικόνα 2: Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας

Πηγή: http://ktm.cres.gr/bibliothiki/Psyxres_orofes/Problhmata.php (τελευταία πρόσβαση: 14/10/2023).

Wilby, R. L. (2003) Past and projected trends in London's urban heat island. *Weather*.

Perry, A., Thompson, D., & Thompson, R. (1997). *Applied Climatology*. London: Routledge

Ντάγκινης Δ. (2019). Μελέτη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στο ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας.

TR Oke, G Mills, A Christen, JA Voogt (2017). *Urban climates*.

A Kratzer, F Vieweg, S Braunschweig (1956). *The climate of cities*.

. Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*: 122, 11–21. doi:10.1016/j.rse.2011.08.026

NASA. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Πηγή: <https://modis.gsfc.nasa.gov/> (Τελευταία Πρόσβαση: 10/10/2023)

NASA, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Πηγή: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod12.php>

Minni Sastry, Hara Kumar Varma, Vini Halve (2017). *Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in context of Urban Heat Island Effect*, Πηγή: <https://www.teriin.org/sites/default/files/2018-03/urba-heat-island-effect-report.pdf>

Naftemporiki (2021). [Δήμος Αθηναίων: Έτοιμο το «Pocket Park» 750τ.μ. στο Παγκράτι](https://www.naftemporiki.gr/green/155749/dimos-athinaion-etoimo-to-pocket-park-750t-m-sto-pagkrati/) (naftemporiki.gr) Πηγή: <https://www.naftemporiki.gr/green/155749/dimos-athinaion-etoimo-to-pocket-park-750t-m-sto-pagkrati/> (Τελευταία Πρόσβαση: 14/10/2023)

Ερευνητικό Πρόγραμμα ΕΜΠ & Τ.Ε.Δ.Κ.Ν.Α. για τους Δήμους Αλίμου, Αργυρούπολης, Γλυφάδας και Ελληνικού, (2010) «Βασικές αρχές σχεδιασμού Μητροπολιτικού Πάρκου Πρασίνου στο πρώην αεροδρόμιο Ελληνικού». (Τελικό Τεύχος Α' & Β' φάση), ΕΜΠ

e-poleodomia- Γεωγραφική Αναζήτηση Πληροφοριών,
Πηγή: <http://gis.epoleodomia.gov.gr/v11/#/>, Τελευταία Πρόσβαση: 12/10/2023

Vision 2050: The new agenda for business (2010).
Πηγή: https://www.wbcsd.org/Overview/About-us/Vision_2050/Resources/Vision-2050-The-new-agenda-for-business , Τελευταία Πρόσβαση: 09/09/2023

U.S. Green Building Council, Πηγή: <https://coolroofs.org/> , Τελευταία Πρόσβαση: 13/08/2023)

Renou, E. J. (1855). Instructions météorologiques. Éditeur non identifié.

Καφές Ι., (2019) «Χρήση ψυχρών υλικών σε οριζόντιες επιφάνειες αστικού περιβάλλοντος ως μέσο μετριασμού του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας», Διπλωματική εργασία, ΑΠΘ

Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές – ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00, ΥΠΕΧΩΔΕ – Έκδοση 3.0 – Ιούνιος 2010

Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές – ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00, 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ

The Intergovernmental Panel on Climate Change
Πηγή: <https://www.ipcc.ch/> (Τελευταία Πρόσβαση: 13/10/2023)

REPowerEU,(2021)

Πηγή: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_el (Τελευταία

Πρόσβαση: 13/09/2023)

Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, 2019

Πηγή: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/el_final_necp_main_el_0.pdf

(Τελευταία Πρόσβαση: 5/09/2023)

Oke, T. R., Johnson, D. G., Steyn, D. G., & Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat island under ‘ideal’ conditions at night—Part 2: Diagnosis and causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 56, 339–358.

Cartalis, C., Synodinou, A., Proedrou, M., Tsangrasoulis, A., & Santamouris, M. (2001). Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: An assessment for the Southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management*, 42(14), 1647–1656

Hassid, S., Santamouris, M., Papanikolaou, M., Linardi, A., Klitsikas, N., Georgakis, C., et al. (2000). The effect of the Athens heat island on air conditioning load. *Energy and Buildings*, 32, 131–141

Santamouris, M., Paraponiaris, K., & Mihalakakou, G. (2007). Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens. *Greece Climate Change*, 80, 265–276.

Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou, K., & Kolokotsa, D. (2007). Recent Progress on passive cooling techniques. advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings*, 39, 859–866.

Stathopoulou, E., Mihalakakou, G., Santamouris, M., & Bagiorgas, H. S. (2008). Impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments. *Journal of Earth System Science*, 117(3), 227–236.

Stathopoulou, M., Synnefa, A., Cartalis, C., Santamouris, M., Karlessi, T., & Akbari, H. (2009). 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(1), 59–76.

K. Giannopoulou, I. Livada, M. Santamouris, M. Saliari, M. Assimakopoulos, Y.G. Caouris, (2011). On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece, *Sustainable Cities and Society*, Volume 1, Issue 1

Azhar, G.S.; Mavalankar, D.; Nori-Sarma, A.; Rajiva, A.; Dutta, P.; Jaiswal, A.; Sheffield, P.; Knowlton, K.; Hess, J.J. Heat-related mortality in India: Excess all-cause mortality associated with the 2010 Ahmedabad Heatwave. *PLoS ONE* **2014**, 9, e91831.

D'Ippoliti, D.; Michelozzi, P.; Marino, C.; de' Donato, F.; Menne, B.; Katsouyanni, K.; Kirchmayer, U.; Analitis, A.; Medina-Ramón, M.; Paldy, A.; et al. The impact of heatwaves on mortality in 9 European cities: Results from the EuroHEAT project. *Environ. Health* **2010**, 9, 37.

Basu, R.; Dominici, F.; Samet, J.M. Temperature and mortality among the elderly in the United States—A comparison of epidemiologic methods. *Epidemiology* **2005**, 16, 58–66.

Nastos, P.T.; Matzarakis, A. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theor. Appl. Climatol.* **2011**, 108, 591–599.

Zuo, J.; Pullen, S.; Palmer, J.; Bennetts, H.; Chileshe, N.; Ma, T. Impacts of heat waves and corresponding measures: A review. *J. Clean. Prod.* **2015**, 92, 1–12.

T. R. OKE (1973). *City Size and the Urban Heat Island*

K. Kourtidis et.al. (2015). A study of the hourly variability of the urban heat island effect in the Greater Athens Area during summer.

Christos Giannaros et.al. (2018). A comprehensive approach for the simulation of the Urban Heat Island effect with the WRF/SLUCM modeling system: The case of Athens (Greece).

Paul Coseo, Larissa Larsen (2014). How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago.

Winston T.L. Chow, Francisco Salamanca, Matei Georgescu, Alex Mahalov, Jeffrey M. Milne, Benjamin L. Ruddell (2014). A multi-method and multi-scale approach for estimating city-wide anthropogenic heat fluxes.

Cantelli, A., Monti, P. & Leuzzi, G. Numerical study of the urban geometrical representation impact in a surface energy budget model. *Environ Fluid Mech* **15**, 251–273 (2015).
<https://doi.org/10.1007/s10652-013-9309-0>

Negin Nazarian, Jan Kleissl (2015). CFD simulation of an idealized urban environment: Thermal effects of geometrical characteristics and surface materials.

Agnese Salvati et.al. (2019). Climatic performance of urban textures: Analysis tools for a Mediterranean urban context.

Ivo Suter et.al. (2017). A neighbourhood-scale estimate for the cooling potential of green roofs.

M. Roth (2013). Urban heat islands

Y. Tian, W. Zhou, Y. Qian, Z. Zheng, J. Yan (2019). The effect of urban 2D and 3D morphology on air temperature in residential neighborhoods

Y. Sun, C. Gao, J. Li, W. Li, R. Ma (2018). Examining urban thermal environment dynamics and relations to biophysical composition and configuration and socio-economic factors: a case study of the Shanghai metropolitan region

H. Kusaka, F. Kimura (2004). Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model: impact on urban Heat Island simulation for an idealized case.

Z. Jandaghian, A.G. Touchaei, H. Akbari (2018). Sensitivity analysis of physical parameterizations in WRF for urban climate simulations and heat island mitigation in Montreal.

Y.-H. Ryu, J.-J. Baik (2012). Quantitative analysis of factors contributing to urban Heat Island intensity.

