



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών Αλλαγών και Κυκλική Οικονομία»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Οικονομική αποτίμηση των Αστικών Θερμικών Νησίδων (ΑΘΝ) :
Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση**

Παρασκευή Ηλία Γκατζιούρα

Βόλος,

Νοέμβριος 2021

Οικονομική αποτίμηση των Αστικών Θερμικών Νησίδων (ΑΘΝ): Μια βιβλιογραφική ανασκόπηση

-

Economic assessment of the Urban Heat Island (UHI): a bibliographic review

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Της

Γκατζιούρα Παρασκευής

Επιβλέπουσα: Ντυκέν Μαρί – Νοέλ

Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής

Ανάπτυξης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Ντυκέν Μαρί – Νοέλ

Τσιτσιφλή Στ.

Χριστοπούλου Ο.

Δήλωση

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή άλλου. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία:

Όνοματεπώνυμο:

Υπογραφή:

Ευχαριστίες

Πάντα στο νου σου να `χεις την Ιθάκη.
Το φθάσιμον εκεί είν' ο προορισμός σου.

Η Ιθάκη σ' έδωσε τ' ωραίο ταξίδι.
Χωρίς αυτήν δε θα `βγαινες στον δρόμο.

Κ.Π. Καβάφης

... και το ταξίδι μου έφθασε στο τέρμα του... έφθασα στην Ιθάκη μου... γνώρισα, έμαθα...

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών Αλλαγών και Κυκλική Οικονομία» του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και κατά συνέπεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Ξεκινώ από την Επιβλέπουσα Καθηγήτρια Ντυκέν Μαρί – Νοέλ. Η υποστήριξη και διαθεσιμότητά της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας ήταν καθοριστικής σημασίας, συμβάλλοντας ποικιλοτρόπως στην ολοκλήρωσή της, παρέχοντας μεταξύ άλλων πολύτιμες συμβουλές και καθοδήγηση όπου κρίθηκε αναγκαίο.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα Μέλη του Εργαστηρίου Εφαρμογών της Πληροφορικής στο Σχεδιασμό του Χώρου του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης για την άμογη συνεργασία μας για την καθοδήγηση και την υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών μου αλλά και κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους γονείς μου και κυρίως τη μητέρα μου που με υπομονή και αγάπη με στήριζαν και με βοηθούσαν να συνεχίσω. Τους στέρησα πολλά για να κάνω τα δικά μου όνειρα πραγματικότητα...

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περιεχόμενα	ii
Περίληψη	1
Abstract.....	2
1. Εισαγωγή.....	3
1.1 Φυσικό Πρόβλημα - Κίνητρα	3
1.2 Αντικείμενο, Στόχοι και Πρωτοτυπία	7
1.3 Δομή της Εργασίας.....	9
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	11
2.1 Μέθοδοι Έρευνας των ΑΘΝ.....	11
2.2 Τα Αίτια σχηματισμού των ΑΘΝ	16
3. ΟΙ ΑΘΝ ως αποτέλεσμα της αστικοποίησης.....	19
3.1 Η Εξέλιξη των ΑΘΝ στις Αστικές Περιοχές	19
3.2 Στρατηγικές Μετρίωσης των Αποτελεσμάτων των ΑΘΝ.....	23
4. Το Κόστος των Θερμικών Αποτελεσμάτων των ΑΘΝ.....	27
4.1 αναφ Συντελεστές Κοστολόγησης των Αποτελεσμάτων των ΑΘΝ.....	27
4.2 Ομαδοποίηση των Συντελεστών Κόστους.....	33
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
5.1 Το Κόστος των Επιδράσεων των ΑΘΝ	37
5.2 Προεκτάσεις Και Μελλοντική Έρευνα.....	39
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42

Περίληψη

Ο όρος Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ του εσωτερικού των αστικών κέντρων και των περιμετρικών υπαίθριων εκτάσεων. Για την εκτίμηση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ διάφορες μέθοδοι και τεχνικές έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία τις περασμένες δεκαετίες. Η προσπάθεια κατανόησης της συμπεριφοράς των ΑΘΝ, προέρχεται από τον οικονομικό αντίκτυπο των αποτελεσμάτων της θερμικής τους επίδρασης. Τα αποτελέσματα αυτά είναι εμφανή στην ποιότητα του αέρα, στη δημόσια υγεία, στις υποδομές και στο επίπεδο παραγωγικότητας και διαβίωσης των κατοίκων των πόλεων.

Η έρευνα έχει διαμορφώσει ένα σύνολο από στρατηγικές μείωσης των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, ενώ οι κύριες αιτίες δημιουργίας τους είναι γνωστές. Ο βαθμός συμμετοχής της κάθε επίδρασης, στο συνολικό θερμικό stress δεν είναι εύκολο να γενικευθεί και εξαρτάται από την κάθε πόλη. Πάρα το γεγονός ότι η έρευνα σχετικά με το σχηματισμό και τις θερμικές επιπτώσεις των ΑΘΝ είναι διευρυμένη, οι γνώσεις σχετικά με τα οικονομικά τους αποτελέσματα είναι ελλιπείς.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια διευρυμένη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τα αποτελέσματα των ΑΘΝ. Βασικός στόχος είναι ο προσδιορισμός του πλεονάζοντος κόστους που τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ επιφέρουν στις λειτουργίες των αστικών κέντρων. Εστιάζει επιπλέον, στην αναζήτηση των μοντέλων που έχουν προταθεί για την αποτίμηση των οικονομικών αποτελεσμάτων και τους συντελεστές που τα διαμορφώνουν. Στα αποτελέσματα προτείνονται οι εξής ομάδες συντελεστών κόστους που επιφορτιζόμενοι από τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ διαμορφώνουν το τελικό επιπλέον κόστος: δημόσια υγεία, ενεργειακή ζήτηση, φυσικοί πόροι, δημόσια περιουσία, κοινωνική λειτουργικότητα. Υπό το πρίσμα της θερμικής επίδρασης των ΑΘΝ, αυτές οι ομάδες συντελεστών επιβαρύνουν με πρόσθετο κόστος τη λειτουργία των πόλεων. Ρυθμίσεις σε παραμέτρους όπως η κυκλοφορία και οι μεταφορές στις αστικές οδούς, οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμότητας, η επίδραση του φυτικού κεφαλαίου και των δεξαμενών νερού ανοιχτής επιφάνειας, τα υλικά κάλυψης των κτηρίων έχουν αναφερθεί ως παράγοντες μείωσης του επιπλέοντος κόστους, λόγω των ΑΘΝ, στη λειτουργία των πόλεων.

Λέξεις Κλειδιά: Αστική Θερμική Νησίδα, ΑΘΝ, Κόστος Θερμικού Φορτίου

Abstract

Urban Heat Island (UHI) is the term used to describe the urban center temperature contrast to the rural surrounding area. Various methods, including observation and simulation techniques, have been proposed over time to understand the causes of UHI formation.

The research interest derives out of the significant economic impacts on the building's energy consumption and urban air quality. Finding the corresponding mitigation strategies reflect both, economic benefits to local societies and cities resilience. The causes and effects of UHI depend on the different climates or city features and cannot be easily generalizes. Concerning the impacts of UHI urban climatology phenomenon, inference cannot easily be made based on limited monitoring data. However, little research has being made on the subject of the economic impacts of UHI's and the extra costs deriving by their thermal influence in the urban residents.

The present dissertation comprises a review on the results of the latest decades research on UHI impacts. The main objective of the dissertation is to gather references of research relevant to the factors that influence the extra UHI cost. Furthermore, focuses on the organization of proposed models, used on the approximation of the UHI thermal economic impacts in cities' functionality and preservation. In the results, Public Health, Energy Consumption, Natural Recourses Extra Demand, Community Assets and Social Functionality Convenience are pointed out to be the main groups of factors influenced by the UHI thermal presents mostly. Those factors produce the extra cost sources, imposed by the UHI heat presence. Treatment of the important parameters in the cities boundaries, including traffic, anthropogenic heat effect of trees and water ponds, buildings' cover materials in addition to treatment of radiation proved to be crucial in the minimization of the UHI cost supplement.

Keywords: UHI, urban climatology, UHI mitigation, UHI costs, urban overheat

1. Εισαγωγή

1.1 Φυσικό Πρόβλημα - Κίνητρα

Το φαινόμενο των Αστικών Θερμικών Νησίδων (ΑΘΝ)¹ είναι ένα από αυτά που έχουν μελετηθεί βαθύτερα και για αρκετά μεγάλο εύρος γεωγραφικής κάλυψης (*Kim and Brown, 2021*). Η ύπαρξη του φαινομένου έγινε αισθητή από τον 19^ο αιώνα, εφόσον τα μεγάλα αστικά κέντρα στη βόρεια Ευρώπη είχαν αρχίσει να διαμορφώνονται. Στον *Oke (1982)*² βρίσκουμε εμπειρικά πως υπάρχει μόνιμη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των αστικών και περιαστικών περιοχών, η οποία αποδείχτηκε από τον Howard το 1833 για την πόλη του Λονδίνου. Από την εποχή εκείνη, τα αστικά κέντρα, άρχισαν να ξεπερνούν κρίσιμες βαθμίδες μεγέθους σε έκταση και πυκνότητες πληθυσμού. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στο εσωτερικό των αστικών περιοχών, είχαν αρχίσει να αφήνουν το θερμικό τους χωρικό αποτύπωμα, με ρυθμό ανάλογο της ζήτησης και της κατανάλωσης ενέργειας μέσα σε αυτές (*Shahmohamadi, et al., 2011*). Η αστικοποίηση οδήγησε το φυσικό περιβάλλον των πόλεων σε δραματικές αλλαγές. Κάτω από την επιδίωξη για οικονομική ανάπτυξη σε βάρος του περιβάλλοντος και παράλληλα της συνεχούς συγκέντρωσης πληθυσμού, οι φυσικές καλύψεις-χρήσεις γης μεταβλήθηκαν ταχύτατα και καθοριστικά (*Rimal, et al., 2018*). Αυτές οι αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον, υπό την πίεση της εξάπλωσης των αστικών ζωνών, επέφερε αλλαγές στο ισοζύγιο του γλυκού νερού (*S. Li, et al., 2018*) και της ποιότητάς του (*Hua, 2017*), στην ατμοσφαιρική ρύπανση πάνω από τους αστικούς ιστούς (*Yang Wei and Xiaoli, 2011*), (*Sun, et al., 2016*), στη μεταβολή της αναλογίας επιφανειακής κάλυψης του φυσικού πρασίνου (*Izakovičová, et al., 2017*), (*Gadrani,*

¹ Στη συνέχεια της παρούσας διατριβής, αντί του όρου «Αστική/ές Θερμική/ές Νησίδα/ες», θα χρησιμοποιείται το αρχικόλεκτο ΑΘΝ. Θα χρησιμοποιείται εκ περιτροπής και ο αγγλοσαξωνικός όρος UHI (Urban Heat Island), με τον οποίο το φαινόμενο αναφέρεται στην διεθνή αρθρογραφία. Η συντομογραφία ΑΘΝ είναι η απόδοση στα ελληνικά του όρου UHI.

² "Luke Howard was the first to provide evidence that air temperatures are often higher in a city than in its surrounding countryside." Oke, Quart. J. R. Met. Soc. (1982), 108, pp.2

et al., 2018), στην μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς των υλικών κάλυψης της επιφάνειας (*Naikoo, et al., 2020*) και – εν κατακλείδι – στη μεταβολή του κλίματος των αστικών περιοχών (*Patra, et al., 2018*), (*Zhang, et al., 2020*). Οι αλλαγές αυτές, σε συνδυασμό με την αυξημένη χρήση διαφόρων μορφών ενέργειας στο εσωτερικό των αστικών περιοχών, είχαν ως αποτέλεσμα τις μεταβολές του θερμικού περιβάλλοντος των πόλεων. Με τη δράση αυτού του βασικού μηχανισμού άρχισε να γίνεται αισθητή η διαμόρφωση θερμοκρασιακών διαφορών, μεταξύ του εσωτερικού των πόλεων και των πέριξ υπαίθριων περιοχών. Το φαινόμενο επιτείνεται καθώς οι αυξανόμενες τάσεις αστικοποίησης του πληθυσμού συνεχίζουν να επεκτείνουν τις πόλεις και να εντείνουν τις μεταβολές καλύψεων και χρήσεων γης (*Hassan, et al., 2021*). Οι μεταβολές αυτές και η συνεχόμενη τάση αστικοποίησης αποτελούν κύριους παράγοντες των μεταβολών στο κλίμα των αστικών περιοχών. Η σχέση αυτή, στην αρθρογραφία, θεωρείται αιτιότητα επαρκώς καταγεγραμμένη και τεκμηριωμένη (*Ranagalage, et al., 2018*), (*Chapman, et al., 2019*), (*Masson, et al., 2020*). Ωστόσο έχει εκτιμηθεί ότι οι επιδράσεις αυτές επηρεάζουν το θερμικό περιβάλλον των αστικών κέντρων πιο έντονα από την πλανητική κλιματική αλλαγή (*Tam, et al., 2015*), (*K. Zhang, et al., 2010*). Η συνεχής παρουσία και επίταση των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά ζητήματα για τον ανθρώπινο αστικό πληθυσμό στις δεκαετίες που έρχονται. Η σταθερή σχέση τους στο αστικό περιβάλλον επιτείνεται ενώ συνιστούν απειλή για την οικονομική λειτουργία των αστικών κέντρων και θέτουν σε δοκιμασία την ανθεκτικότητα των πόλεων (*Rizwan et al., 2008*), (*Ningrum, 2018*), (*Shen, et al., 2020*)

Τα αστικά κέντρα συγκεντρώνουν την πλειονότητα του ανθρώπινου πληθυσμού, των αγαθών, του πλούτου και των υποδομών. Οι αστικοί πληθυσμοί συνεχίζουν να αυξάνονται και οι πόλεις μεγαλώνουν σε πυκνότητα κατοίκων και σε μέγεθος. Ο κατάλογος των πόλεων με πληθυσμό πάνω από 20 εκατομμύρια κατοίκους συνεχώς αυξάνεται, με πρώτες αυτές που οι χώρες στις οποίες ανήκουν κρατούν τα σκήπτρα σε

υπερπληθυσμό³. Κύριο χαρακτηριστικό των μεγαλουπόλεων είναι οι μεγάλες συγκεντρώσεις πληθυσμού σε σχετικά περιορισμένα χωρικά όρια. Οι δομές που προκύπτουν αποκαθιστούν τις πόλεις, ως λειτουργικές δομές ιδιαίτερα ευάλωτες (*Kuddus, et al., 2020*). Ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα, η διαφαινόμενη κλιματική αλλαγή, η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο, δείχνουν να δοκιμάζουν την βιωσιμότητα των αστικών κέντρων σε οικονομικό αλλά και πρακτικό επίπεδο. Επιπροσθέτως, τα συστήματα πολιτικής διακυβέρνησης και συλλογικής διαχείρισης των πόλεων, αποδεικνύονται κατώτερα των αναγκών σε ευελιξία και προσαρμοστικότητα στη διαχείριση κρίσεων. Η διοίκηση είναι παγιδευμένη σε πολύπλοκα νομικά πλαίσια, κατακερματισμένη, μοιρασμένη σε υποενότητες που είναι δύσκολο να παραλληλίσουν την δράση τους. Η υλοποίηση δομικών σχεδιασμών σε επίπεδο μεγαλουπόλεων προϋποθέτει τον συντονισμό υπηρεσιών και βαθμίδων διοίκησης όπως ο αστικός σχεδιασμός, οι υπηρεσίες διαχείρισης του νερού, ενέργειας, κατοικιών, υπηρεσιών πολιτικής προστασίας, άμεσης αντιμετώπισης καταστροφών κ.α. Σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζονται αντικρουόμενες δράσεις ή διαφορετικά επίπεδα λήψη αποφάσεων (Δήμοι, τοπική αυτοδιοίκηση, Περιφέρειες, κεντρική κυβέρνηση). Η φύση και μόνο των δομών διακυβέρνησης και σχεδιασμού, που διαχειρίζονται την προσαρμογή στις αλλαγές της κλιματολογίας των αστικών κέντρων, μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην γρήγορη και καθοριστική λήψη αποφάσεων προ των επικείμενων αναγκών (*Hofstad, et al., 2021*). Σε άλλες περιπτώσεις, τα προβλήματα διαχείρισης που προκύπτουν από τις κλιματικές αλλαγές στην αστική κλιματολογία, στις διογκωμένες από το υπερπληθυσμό πόλεις, δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν από τις επίσημες αρχές διοίκησης. Ως πλέον ενδεικτικά παραδείγματα είναι οι αστικές επεκτάσεις αυθαίρετης κατοικίας (*Xu, et al., 2017*) και οι αστικές διαχύσεις (*Qiao, et al., 2014*). Ανάλογοι μηχανισμοί επαύξησης της έκτασης των πόλεων δημιουργούν οικιστικές ζώνες και άξονες αστικής επέκτασης, με ελάχιστη ή μηδενική επίβλεψη και σχεδιασμό, χωρίς πρόβλεψη εγκατάστασης υποδομών, υποβαθμίζουν τη δυνατότητα

³ Οι χώρες με τις μεγαλύτερες σε πληθυσμό πόλεις είναι η Κίνα και η Ινδία που κρατούν και τα πρωτεία σε συνολικό πληθυσμό.

<https://worldpopulationreview.com/world-cities>

αποτρεπτικών παρεμβάσεων από την μεριά των κοινωνικών υπηρεσιών σε περιπτώσεις έκτακτων καταστροφών (Villanueva-Solis, 2017). Στις πλέον οριακές περιπτώσεις άναρχων οικιστικών επεκτάσεων, εκτός από τις μεταβολές στην αστική κλιματολογία από την κατανάλωση ακατάλληλων πρώτων υλών για παραγωγή ενέργειας, καταγράφονται και φαινόμενα επιφανειακής υγειονομικής νοσηρότητας. Τα φαινόμενα αυτά προκύπτουν από την επιφανειακή διάθεση λυμάτων ελλείψει συστήματος υποδοχής και την υπερσυγκέντρωση οργανικών υπολειμμάτων (Heaviside, et al., 2017).

Οι μηχανισμοί αυτοί, σε γενικές γραμμές, μεταβάλλουν το μικροκλίμα των πόλεων. Καθιστούν την αντιμετώπιση έκτακτων καταστροφών δυσκολότερη. Εγείρουν ερωτήματα σχετικά με την ικανότητα επιβίωσης των αστικών κέντρων από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, στην περίπτωση της επιβεβαίωσης των δυσμενέστερων σεναρίων. Τα μετεωρολογικά και το μικροκλίμα, που συνδέονται με την λειτουργία πόλεων, αποκτούν συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι χαρακτηριστικό πως από τις τέσσερις προκλήσεις στην έρευνα και τεχνολογία που προτάθηκαν από το πρόγραμμα έρευνας του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας⁴, οι δύο σχετιζόταν με την Αστική Κλιματολογία: Κλιματολογικά φαινόμενα υψηλών επιπτώσεων σε αστικές ζώνες και υπερ-αστικοποίηση. Η αστική κλιματολογία θεωρείται ερευνητικό πεδίο υψηλού ενδιαφέροντος. Οι πρακτικές διαχείρισης των αποτελεσμάτων των κλιματολογικών διαφορών στην μικροκλίμακα των πόλεων, αποκτούν τεράστιο οικονομικό ενδιαφέρον για ευρύτερες ομάδες πληθυσμού. Στη διαπίστωση αυτή βρίσκονται και τα ουσιαστικά κίνητρα της παρούσας έρευνας. Σε ένα αιώνα που χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό υπερανπτυγμένων αστικών κέντρων, η τεχνογνωσία που μειώνει τα αποτελέσματα των ακραίων κλιματικών φαινομένων, αποκτά υπεραξία οικονομικού περιεχομένου.

⁴ World Meteorological Organization (WMO) World Weather Research Program
<https://public.wmo.int>

Οι πόλεις αποδεικνύονται αρκετά πολύπλοκα συστήματα. Αυτή η ιδιαιτερότητα απαιτεί νέου τύπου κατανόηση των φαινομένων που συνδέονται με κλιματολογικά δεδομένα. Σε πολλές περιπτώσεις γίνεται δύσκολο ακόμα και για επιστήμονες συναφών αντικειμένων να αναγνωρίσουν τις αιτίες κλιματικών διαφοροποιήσεων στη έκταση των πόλεων. Περαιτέρω, έχει αναφερθεί, πως ανάλογου βαθμού χαρακτηριστικά, έχουν διαφορετικό βαθμό αποτελεσμάτων στην εκάστοτε πόλη (*Abulibdeh, 2021*). Η απροσδιοριστία μπορεί να οδηγήσει σε λάθος πολιτικές και στρατηγικές για τον περιορισμό των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ (*Webb, 2017*). Ειδικότερα για τα φαινόμενα των ΑΘΝ, ένα νέο πεδίο γνώσεων αναδεικνύεται με αυστηρή προσαρμογή σε κάθε πόλη ξεχωριστά και τις ιδιαιτερότητες που η μορφολογία της επιβάλλει. Κατά περίπτωση, το σύνολο των παρεμβάσεων για την μείωση της έντασης των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, μπορεί να θεωρηθεί σαν στρατηγική και σχεδιαστική ευκαιρία αναπλάσεων και μετασχηματισμών (*Pena Acosta, et al., 2021*). Με την τάση για αστικοποίηση να γίνεται μεγαλύτερη, αναμένεται μονιμότερη παρουσία των ΑΘΝ στις μεγαλουπόλεις με παράλληλη εντατικοποίηση των θερμικών αποτελεσμάτων τους. Οι προκλήσεις σε σχεδιαστικό και επενδυτικό επίπεδο των καινοτομιών που επιβάλλονται για την ελαχιστοποίηση των οικονομικών αποτελεσμάτων τους των ΑΘΝ, είναι και το βασικό κίνητρο για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

1.2 Αντικείμενο, Στόχοι και Πρωτοτυπία

Η συνεχής συσσώρευση έρευνας γύρω από φαινόμενα που σχετίζονται με την αστική μετεωρολογία, προβάλλει τη συμπτωματολογία των ΑΘΝ ως ένα καλά μελετημένο φαινόμενο. Τα χαρακτηριστικά των ΑΘΝ και τα αποτελέσματα που συνεπάγονται από την παρουσία τους, εξαρτώνται από τις ιδιαιτερότητες της κάθε πόλης στην οποία παρατηρούνται. Το μέγεθος και η μορφολογία των πόλεων (*Steenefeld, et al., 2011*), η τοπογραφία και το γεωγραφικό τους πλάτος (*Hua, et al., 2020*), η πυκνότητα του αστικού πληθυσμού (*Mallick and Rahman, 2012*) είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που εξαρτούν την ένταση του φαινομένου. Η επιφανειακή κατανομή των θερμοκρασιακών διαφορών και η εποχιακή μεταβολή τους, είναι μεγέθη

που συνδέονται πολύ στενά με κάθε συγκεκριμένη πόλη και αποκτούν χαρακτήρα ταυτότητας για αυτή (Zhou, et al., 2013). Η παρουσία μόνιμων ή ημιμόνιμων ΑΘΝ πάνω από αστικές εκτάσεις, αποτελεί πυρήνα ενός συνόλου από επιδράσεις. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των πόλεων και του περιβάλλοντα υπαίθριου χώρου αναφέρθηκε να επιδρά ως μηχανισμός σε φαινόμενα οικολογικά (Santamouris, et al., 2007), (Rashid, et al., 2021), κλιματολογικά (Bassett, et al., 2020), περιβαλλοντικά (Huang, et al., 2021), (Mehmood, et al., 2017), (Swamy, et al., 2017), δημόσιας υγείας (Heaviside, et al., 2017), (Mirzaei, et al., 2020a). Κατά κύριο λόγο, όλες οι παραπάνω επιδράσεις, συνδέονται με τα οικονομικά αποτελέσματα που η παρουσία των ΑΘΝ επιφέρει. Η εντατικοποίηση της έρευνας που αφορά τις επιπτώσεις από το φαινόμενο, έχει σαν βάση και κοινό παράγοντα την αύξηση του κόστους της λειτουργίας και συντήρησης των αστικών δομών.

Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα παραπάνω ερευνητικά αντικείμενα και στοχεύσεις ομαδοποιούνται σε μια σειρά από ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποιοι είναι οι συντελεστές διαμόρφωσης επιπρόσθετου κόστους που προέρχεται από τα θερμικά αποτελέσματα της δράσης των ΑΘΝ;
2. Μπορούν οι συντελεστές αυτοί να καταχωρηθούν σε ομάδες ανεξάρτητες μεταξύ τους;
3. Είναι επιστημονικά επαρκής η μοντελοποίηση των συντελεστών κόστους ώστε να είναι δυνατόν να εκτιμηθεί, σε νομισματικές μονάδες, το πάγιο κόστος των ΑΘΝ;

Παρότι έχει προηγηθεί αρκετή έρευνα σχετικά με το φαινόμενο των ΑΘΝ, τους παράγοντες και τους συντελεστές δημιουργίας του και τα θερμικά του αποτελέσματα, είναι ελάχιστες οι ερευνητικές δημοσιεύσεις που ασχολούνται με τον οικονομικό αντίκτυπο των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ. Η πρωτοτυπία που παρουσιάζει η παρούσα διατριβή πηγάζει από αυτή τη συνολική παρατήρηση. Ο κύριος όγκος έρευνας που έχει

γίνει, αφορά στην τεχνοκρατική στήριξη της ποσοτικής τεκμηρίωσης της συνεισφοράς διαφόρων παραγόντων που εξαρτούν την ένταση των ΑΘΝ. Εναλλακτικά, εξίσου σημαντικός όγκος δημοσιεύσεων, έχει ως αντικείμενο την έρευνα σχετικά με τις στρατηγικές ελάττωσης των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ. Σημαντικά μικρότερο ποσοστό δημοσιεύσεων έχει αντικείμενο τα οικονομικά αποτελέσματα του φαινομένου. Η έλλειψη αυτή είναι αποτέλεσμα της περίπλοκης φύσης του φαινομένου. Οι παράγοντες που το συνιστούν, έχουν μεταξύ τους σχέσεις περίπλοκες και μη-γραμμικής φύσης. Αποτέλεσμα είναι, η οικονομική αποτύπωση και εξάρτηση ενός τόσο πολυεξαρτώμενου φαινομένου να μην είναι προφανής και - το κυριότερο - να διαφοροποιείται σε κάθε πόλη. Η προσέγγιση στην κοστολόγηση των ΑΘΝ που παρουσιάζεται στη συνέχεια, ακολουθεί τη λογική της ομαδοποίησης των συντελεστών προσθήκης κόστους, λόγω της θερμικής επιβάρυνσης, σε όσο το δυνατόν πιο ανεξάρτητες μεταξύ τους ομάδες. Η βιβλιογραφική αναζήτηση είναι απαραίτητη για την καταγραφή αυτών των συντελεστών που η έρευνα έχει αναδείξει.

1.3 Δομή της Εργασίας.

Η συγκεκριμένη εργασία βασίστηκε στη συστηματική αναζήτηση και κατά συνέπεια στην επεξεργασία της βιβλιογραφίας η οποία μελετά ένα από τα καινοφανή κλιματολογικά φαινόμενα που συνοδεύουν τη δημιουργία εκτεταμένων αστικών κέντρων. Οι αλλαγές των χρήσεων και καλύψεων γης, εκτός από τα περιβαλλοντικού τύπου προβλήματα, επιφέρουν και κλιματολογικά. Σε συνδυασμό με την έντονη ενεργειακή δραστηριότητα από τον πληθυσμό των αστικών κέντρων, παρατηρούνται φαινόμενα τοπικής διαφοροποίησης της θερμοκρασίας του αέρα του εσωτερικού των πόλεων σε σχέση με τις πέριξ αγροτικές περιοχές. Η διάρθρωση του παρόντος κειμένου έγινε με γνώμονα το να παρουσιαστεί η μετεξέλιξη της γνώσης επί του θέματος των Αστικών Θερμικών Νησίδων και περαιτέρω να προσεγγιστεί το ζήτημα της μοντελοποίησης του κόστους των επιπτώσεών τους. Με άλλα λόγια, προσεγγίζεται το ερευνητικό ερώτημα που σε συμπυκνόμενη μορφή μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Ποιοι είναι οι συντελεστές πρόσθετου κόστους που προέρχεται από τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ, όπως αυτοί καταγράφονται στη βιβλιογραφία και είναι ερευνητικά συμπεράσματα.

Για την προσέγγιση των ερευνητικών στόχων, η παρούσα διατριβή οργανώνεται ως εξής: Στην **Πρώτη** ενότητα περιγράφονται τα κίνητρα, οι ερευνητικοί στόχοι, ερωτήματα και η πρωτοτυπία της εργασίας. Στη **Δεύτερη** ενότητα γίνεται αναφορά στην αρθρογραφία που αφορά στις μεθόδους έρευνας των ΑΘΝ. Η διαφοροποίηση των μεθόδων καταγραφής δεδομένων, τις τελευταίες δεκαετίες, ώθησε την παραγωγή ακριβέστερων συμπερασμάτων. Η αποτύπωση της έκτασης των ΑΘΝ αλλά και των διαβαθμίσεων των θερμοκρασιών εδάφους έγινε οικονομικότερη και άμεση. Η διαχρονική τους παρακολούθηση έγινε δυνατή για πολύ μικρά διαστήματα απεικόνισης. Η μελέτη των χαρακτηριστικών των ΑΘΝ ενέχει πολύ μικρότερα σφάλματα και αποκλίσεις. Στην **Τρίτη** ενότητα περιλαμβάνεται η ομαδοποίηση των συντελεστών κόστους των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, όπως αυτοί αναφέρθηκαν στα προηγούμενα. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της διατριβής και οι απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα γίνονται στην **Τέταρτη** ενότητα και στο τελευταίο γίνεται η παράθεση της βιβλιογραφίας.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Μέθοδοι Έρευνας των ΑΘΝ

Η έρευνα που αφορά την ποσοτικοποίηση της παρουσίας των ΑΘΝ ακολουθεί δύο τυπικές προσεγγίσεις. Στη μία κατεύθυνση πραγματοποιούνται μετρήσεις των θερμοκρασιών του αέρα, συνήθως στα 2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους (*Stewart, 2011*). Στη δεύτερη, η επιφανειακή θερμοκρασία προέρχεται από δεδομένα τηλεπισκόπησης (*Voogt and Oke, 2003*). Σε πρακτικό επίπεδο, με την πρώτη προσέγγιση, λαμβάνονται δεδομένα από όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα σε μικρό ύψος. Με τη δεύτερη προσέγγιση, χρησιμοποιούνται δεδομένα δορυφορικής κυρίως τηλεπισκόπησης των εκπομπών του θερμικού φάσματος για τον υπολογισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας. Τα δεδομένα που προέρχονται από μετρήσεις της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους και αυτά που καταγράφονται από αισθητήρες τηλεπισκόπησης δεν είναι ταυτόσημα. Είναι όμως ισχυρά συσχετιζόμενα (*Weng, et al., 2004*), (*Mostovoy, et al., 2006*), (*P. Zhang, et al., 2010*) (*Tomlinson, et al., 2011*), (*Wu, et al., 2015*), (*Zhang, et al., 2017*), (*Shatnawi and Abu Qdais, 2019*), (*Peng, et al., 2020*).

Σε γενικές γραμμές, οι επιφανειακές μετρήσεις της θερμοκρασίας, μειονεκτούν στο ότι εξαρτώνται από ειδικές τοπικές συνθήκες στις οποίες πραγματοποιούνται. Φέρουν τα χαρακτηριστικά και τις αδυναμίες κάθε χωρικής δειγματοληψίας των τιμών ενός συνεχούς μεγέθους. Αποτελούν κατά βάση δειγματοληπτικές μετρήσεις τιμών της θερμοκρασίας στην επιφάνεια μιας αστικής και περιαστικής περιοχής. Η διαδικασία είναι πολύπλοκη και οικονομικά ακριβή ακόμα και με τη χρήση αυτογραφικών οργάνων. Σε γενικές γραμμές είναι δύσκολη επίσης η επανάληψη των μετρήσεων σε τακτικά διαστήματα

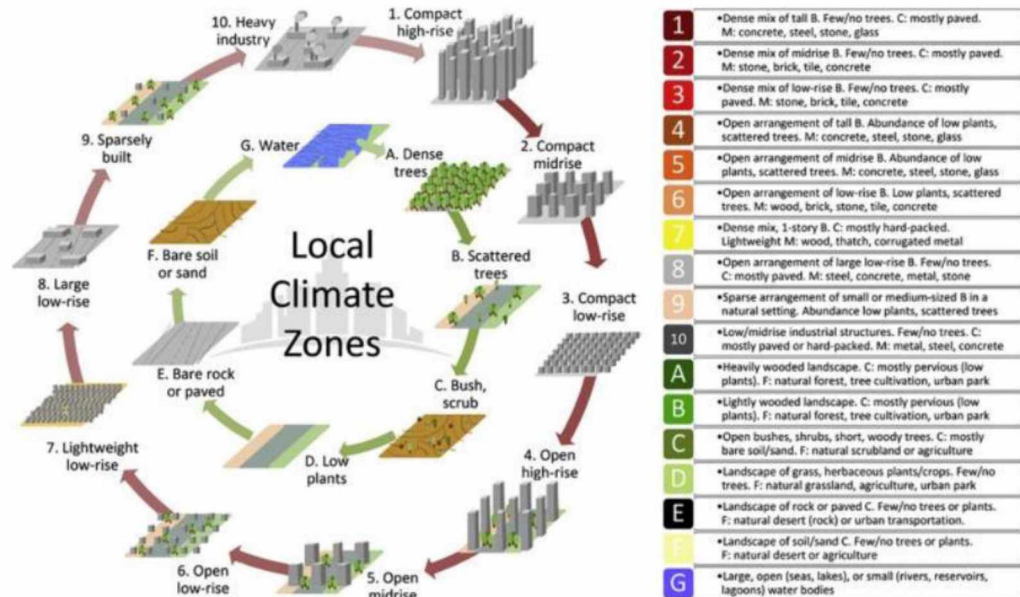
Σε άλλες περιπτώσεις, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με ιδιοκατασκευές που τοποθετούνται σε αυτοκινούμενα οχήματα για την ταχύτερη υλοποίηση ευρύτερου δικτύου παρατηρήσεων (*Kotharkar and Surawar, 2016*). Εναλλακτικά, οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης, προσφέρουν δεδομένα με επαρκή χωρική και χρονική ανάλυση που μπορεί να επεκταθεί από το κέντρο των αστικών περιοχών μέχρι τα απομακρυσμένα περίχωρα. Γενικότερα, οι μέθοδοι τοπικής μέτρησης της θερμοκρασίας είναι ακριβότερες, λιγότερο λεπτομερείς και δύσκολο να υλοποιηθούν σε όλη την διάρκεια του χρόνου (*Peng, et al., 2012*). Τα συγκριτικά αυτά πλεονεκτήματα των μεθόδων

τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση της εξέλιξης των ΑΘΝ, έκαναν τις μεθόδους αυτές ταυτόσημες με τις μετρήσεις των θερμοκρασιακών ανωμαλιών. Οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας, τις τελευταίες δεκαετίες, χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την έρευνα των ΑΘΝ ([Shi, et al., 2021](#)), ([Mohamed, et al., 2017](#)), ([Ngie, 2020](#)).

Με την τεχνολογία της δορυφορικής τηλεπισκόπησης να γίνεται συνεχώς οικονομικά και τεχνολογικά πιο προσιτή, φαινόμενα όπως οι ΑΘΝ που αφήνουν φασματικά ίχνη, έχουν μελετηθεί σε μεγαλουπόλεις κάθε γεωγραφικού πλάτους στην υδρόγειο. Ανάλογες έρευνες έχουν δημοσιευθεί για την Ασια ([Arifwidodo, 2015](#)), ([Wang, et al., 2017](#)), ([Surawar, Meenal; Kotharkar, 2017](#)), ([Kotharkar, et al., 2018](#)), ([Hong, et al., 2019](#)), ([Wang, et al., 2019](#)), ([Lee, et al., 2020](#)), ([Dewan, et al., 2021](#)), την Αφρική ([Ayanlade, 2016](#)), ([Ngie, et al., 2014](#)) ([Dissanayake, et al., 2019](#)), την Αυστραλία ([Yang and Santamouris, 2018](#)), ([Sharifi and Lehmann, 2014](#)), ([Yenneti, et al., 2020](#)), ([Jamei, et al., 2019](#)) την Ν. Αμερική ([de Oliveira Souto and Cohen, 2021](#)), ([Wu, et al., 2019](#)), ([Carneiro, et al., 2021](#)), ([Sarricolea and Meseguer-Ruiz, 2019](#)), ([Litardo, et al., 2020](#)) την Ευρώπη ([Unger, et al., 2011](#)), ([Keramitsoglou, et al., 2012](#)), ([Tomlinson, et al., 2012](#)), ([Stevan, et al., 2013](#)), ([Hoffmann, et al., 2018](#)), την Β. Αμερική ([Streutker, 2002](#)), ([Hsu, et al., 2021](#)), ([Hu, et al., 2013](#)), αλλά και για μεγαλουπόλεις του κόσμου σε σύγκριση ([Leal Filho, et al., 2021](#)), ([Peng, et al., 2012](#)).

Με χρήση των θερμικών φασματικών δεδομένων τηλεπισκόπησης έγινε δυνατό να καταγραφούν με μεγάλη ακρίβεια διακυμάνσεις του φαινομένου στην έκταση των πόλεων ([Wang, et al., 2008](#)), τις μεταβολές του στη διάρκεια ημέρας και νύχτας ([Nichol, 2005](#)), στον εντοπισμό πόλων υψηλότερων και χαμηλότερων θερμοκρασιών (cool – hot islands) στην επιφάνεια του αστικού ιστού ([Rasul, et al., 2017](#)). Έχουν ακόμα προταθεί συστήματα ταξινόμησης μεγάλων αστικών κέντρων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των ΑΘΝ που παρουσιάζουν ([Sobrino and Irakulis, 2020](#)). Σε προέκταση, οι [Bechtel, et al., \(2019\)](#), πρότειναν μια μέθοδο ανάλυσης και κατάταξης των ΑΘΝ βασιζόμενοι στην διαμόρφωση ενός μικροκλιματικού μοντέλου τοπικών κλιματικών ζωνών (LCA - Local Climate Zones). Κατά τους ερευνητές η προσέγγιση αυτή παρέχει την δυνατότητα να αναλύονται οι συμπεριφορές των ΑΘΝ, συγκριτικά, σε μεγάλο πλήθος πόλεων. Συμπέραναν πως η χρήση χρονοσειρών επιφανειακής θερμοκρασίας (LST), σε συνδυασμό με το μοντέλο LCA, παρέχουν πλεονεκτήματα

στη μελέτη των συμπεριφορών των ΑΘΝ. Παρουσίασαν παράλληλα τα αρχικά αποτελέσματα εφαρμογής του μοντέλου σε 50 ευρωπαϊκές πόλεις.



Σχήμα 1. Ταξινόμηση τοπικών κλιματικών ζωνών (Με τροποποίηση από Bechtel et al, 2019)

Υψηλής ανάλυσης και μικρής χρονικής περιόδου δεδομένα τηλεπισκόπησης, παρήγαγαν υψηλής χωρικής ακρίβειας απεικονίσεις του φαινομένου των ΑΘΝ σε συχνή χρονική εξέλιξη. Για παράδειγμα, οι [Zhou et al., \(2014\)](#), ερεύνησαν το φαινόμενο των ΑΘΝ σε 32 πόλεις της Κίνας, χρησιμοποιώντας θερμικά δορυφορικά δεδομένα. Κατέληξαν στο συμπέρασμα πως ο ετήσιος μέσος της έντασης του φαινομένου κατά τη διάρκεια της μέρας ήταν ψηλότερος από αυτόν της έντασης κατά τη νύχτα. Τα θερμικά δορυφορικά δεδομένα παρέχουν σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης στην κατανόηση των δυναμικών της αστικής κλιματολογίας, σαν έκφραση της θερμοκρασίας επιφάνειας. Ο βαθμός στο οποίο οι καλύψεις και χρήσεις γης επιδρούν στην κατανομή των ΑΘΝ και την επιφανειακή θερμοκρασία, καταγράφεται στις χωρικές αναλύσεις που αναδεικνύουν το συνδυαστικό ρόλο των αδιαπέραστων υλικών κάλυψης στις αστικές περιοχές. Οι μεταβολές αυτές επιδρούν στο θερμικό κύκλο των αστικών περιοχών και τις λειτουργίες της εξατμισοδιαπνοής. Με ανάλογο τρόπο οι [Ward, et al., \(2016\)](#) διερεύνησαν τα αίτια της επιφανειακής εξάπλωσης και μεταβολής των ΑΘΝ σε 70 Ευρωπαϊκές πόλεις κατά την διάρκεια περιόδων καύσωνα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το αρχικό μέγεθος των ΑΘΝ έχει σημαντική επίδραση

στις μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας (SUHIM). Συγκεκριμένα, το μέγεθος των ΑΘΝ, το τοπικό κλίμα και το ποσοστό των κεντρικών επιφανειών πρασίνου του αστικού κέντρου, αποδείχθηκαν σημαντικά στην διαμόρφωση των μέγιστων τιμών θερμοκρασίας επιφανείας. Οι ερευνητές διαπίστωσαν πως γενικά, οι πόλεις με ψυχρότερο κλίμα και μεγαλύτερο ποσοστό καλύψεων πρασίνου αποδείχθηκε ότι επηρεάζονται περισσότερο με πρόσθετη θερμοκρασία κατά την διάρκεια επίδρασης περιόδων καύσωνα. Οι ψυχρότερες πόλεις της βόρειας Ευρώπης, φαίνεται να είναι περισσότερο ευάλωτες σε κύματα καύσωνα ενόσω οι πόλεις στις νοτιότερες περιοχές αποδεικνύονται καλύτερα προσαρμοσμένες. Ανάλογες παρατηρήσεις μπορούν να φανούν αρκετά χρήσιμες στους πολεοδόμους και στους τεχνοκράτες που είναι επιφορτισμένοι με τον σχεδιασμό ή τις αναπλάσεις αστικών κέντρων και περιλαμβάνουν στα σχέδια τους την ανάσχεση των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ και την αύξηση της ανθεκτικότητας των αστικών περιοχών.

Η συμβολή των δεδομένων θερμοκρασίας επιφανείας, προερχόμενα από δορυφορική τηλεπισκόπηση, στην εξαγωγή ενός τόσο σύνθετου συμπεράσματος, ήταν καθοριστική. Αναλογιστικές μελέτες που περιέχουν τόσο μεγάλο πλήθος πόλεων δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν χωρίς την χρήση εργαλείων, με τέτοια ακρίβεια όσο τα δεδομένα που προέρχονται από τις μεθόδους τηλεπισκόπησης. Οι μέθοδοι μέτρησης των θερμοκρασιών επιφανείας κατά μήκος των αστικών περιοχών με τυπικά θερμόμετρα και σταθμούς εδάφους ενέχουν αδυναμίες στο να περιγράψουν το φαινόμενο των ΑΘΝ οι οποίες προέρχονται κυρίως από:

- μεθόδους μετρήσεων που η κάθε μια από αυτές πραγματοποιείται σε συγκεκριμένο σημείο ενός πεπερασμένου κανάβου από σημεία. Από τη φύση της, η μέθοδος, δεν μπορεί να απεικονίσει την κατανομή του μεγέθους της θερμοκρασίας στο χώρο με μεγάλη ακρίβεια.

Η ακρίβεια απεικόνισης της θερμοκρασίας εξαρτάται από την πυκνότητα της κανάβου και το πλήθος των μετρήσεων. Μεγάλο πλήθος μετρήσεων αυξάνει υπέρμετρα το κόστος πραγματοποίησης των μεθόδων επιφανειακής τοπικής μέτρησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι εύκολη η λήψη πολλαπλών μετρήσεων στην διάρκεια του χρόνου για τη δημιουργία χρονοσειράς παρατηρήσεων.

Μια καινούργια σειρά μετρήσεων απαιτεί την οργάνωση του δικτύου μετρήσεων από την αρχή με αντίστοιχο πολλαπλασιασμό του κόστους. Επίσης, δεν είναι εύκολο να λαμβάνονται ταυτόχρονες μετρήσεις σε πολλαπλές περιοχές για την σύγκριση των αποτελεσμάτων και δεν υπάρχει ιστορικό βάθος.

Σε αντιδιαστολή, τα ψηφιακά δορυφορικά δεδομένα είναι διαθέσιμα με μεγάλη συχνότητα από την ημερομηνία που το σύστημα καταγραφής τέθηκε σε τροχιά και

παρείχε δεδομένα. Τα δεδομένα από τα θερμικά κανάλια των δορυφορικών συστημάτων, κάνουν εφικτή την απευθείας παρατήρηση της θερμότητας στην επιφάνεια της γης. Επιτρέπουν την καταγραφή της εξέλιξης του φαινομένου των ΑΘΝ σε στενά χρονικά βήματα χωρίς να είναι απαραίτητες οικονομικά επιβαρυνόμενες και πολύπλοκες διαδικασίες.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό οι μετρήσεις επιφανειακής μέτρησης της θερμοκρασίας, απαιτούν συνήθως, διευρυμένο αριθμό εμπλεκόμενου προσωπικού και μέσων. Το προσωπικό και τα μέσα, προϋποθέτουν μεγαλύτερη οικονομική δαπάνη και αύξηση του κόστους των μετρήσεων. Αν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με χρήση σταθμών αποτύπωσης των θερμοκρασιών, τότε οι μέθοδοι επιβαρύνονται με όλα τα κόστη συντήρησης και ελέγχου των σταθμών και της συγκέντρωσης των δεδομένων από αυτούς.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με μεθόδους επιτόπιας μέτρησης της επιφανειακής θερμοκρασίας ολοένα και φθίνει. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν μπορούν με ακρίβεια να αναχθούν σε διάφορες χρονικές περιόδους ούτε και να συγκριθούν με ανάλογες μετρήσεις σε διαφορετικά αστικά κέντρα. Για παράδειγμα, μικροδιαφορές στα όργανα μέτρησης, διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης, διαφορές στο χρονικό πλαίσιο των μετρήσεων, διαφορές στο δίκτυο σημείων μέτρησης κ.α. καθιστούν την αναγωγή των μετρήσεων λιγότερο αξιόπιστη.

2.2 Τα Αίτια σχηματισμού των ΑΘΝ

Οι ΑΘΝ αντιπροσωπεύουν κλιματολογικές αποκλίσεις επιφανειακής θερμοκρασίας πάνω από αστικές εκτάσεις σε σχέση με τον περιβάλλοντα αγροτικό χώρο. Οι διαφορές αυτές καταγράφονται και μελετώνται συνήθως με χρήση δορυφορικών θερμικών δεδομένων τηλεπισκόπησης (*Susca and Pomponi, 2020*). Η έρευνα έχει δείξει, ως κύριες αιτίες γένεσης και χωρικής διεύρυνσης του φαινομένου των ΑΘΝ, τις ανθρωπογενείς εκπομπές θερμότητας από μεταφορές, θερμάνσεις κτηρίων και βιομηχανικές δραστηριότητες (*Rizwan, et al., 2008*), όπως και τις αδιαπέραστες καλύψεις επιφανειών που μειώνουν την εξατμισοδιαπνοή στο εσωτερικό των πόλεων και αυξάνουν την ζήτηση νερού (*Imhoff, et al., 2010*), (*Takebayashi and Moriyama, 2007*), (*Olivieri, et al., 2013*). Υπεύθυνοι ακόμα παράγοντες φέρονται να είναι η αντικατάσταση των φυσικών υλικών με τεχνητά, τα οποία έχουν διαφορετικά θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά – διαφορετική ανακλαστικότητα στο φως, υψηλότερη θερμοχωρητικότητα – αλλάζοντας τη θερμική ρυθμιστική ικανότητα του χώρου (*Akbari and Konopacki, 2005*), (*J. Yang, et al., 2015*), η μείωση της προοπτικής του ουρανού λόγω της ύπαρξης κτηρίων πολύ μεγάλου ύψους σε σχέση με του πολύ στενούς δρόμους στη επιφάνεια, τα οποία εμποδίζουν τη διαφυγή της παγιδευμένης θερμότητας στη διάρκεια της νύχτας (*Li and Donn, 2017*), (*Xi, et al., 2021*).

Παρότι η έρευνα έχει να επιδείξει μια βεντάλια από παράγοντες, που σε σημαντικό επίπεδο επιδρούν στην όξυνση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, ο βασικότερος και πλέον πρωτογενής παράγοντας εμφάνισης του φαινομένου είναι η αστικοποίηση (*Koopmans, et al., 2014*), (*Grawe, et al., 2013*). Η συγκέντρωση πληθυσμού στις πόλεις ανεβάζει την ζήτηση γης για κατασκευή κατοικιών, υποδομών και παραγωγικών μονάδων. Οι επιφάνειες αλλάζουν χρήση και κάλυψη. Η ένταση και τα χαρακτηριστικά των ΑΘΝ επηρεάζονται από τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά των καλύψεων και χρήσεων γης. Η αύξηση-της έντασης των ΑΘΝ, σχετίζεται αρχικά με την οριζόντια επέκταση των επιφανειών με αδιαπέραστα υλικά, αντικαθιστώντας τις πράσινες και μπλε φυσικές καλύψεις (*Hassan, et al., 2021*). Ο μηχανισμός αυτός συνοδεύει τη αύξηση του πληθυσμού και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, μέσα στα αστικά όρια. Άλλοι παράγοντες, όπως οι εποχιακές αλλαγές, η αστική σύνθεση, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και οι κοινωνικοοικονομικές δυναμικές συνδιαμορφώνουν τη συμπεριφορά των ΑΘΝ (*Derdouri, et al., 2021*). Ως τελικό αποτέλεσμα της αλλαγής των χρήσεων/καλύψεων

γης είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια του εδάφους (Grossman-Clarke, *et al.*, 2010).

Όπως προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση, οι παράγοντες οι οποίοι αλληλοεπιδρούν και συνδιαμορφώνουν την ένταση του φαινομένου των ΑΘΝ είναι πολλαπλοί και μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στην δημιουργία ΑΘΝ με τις ανάλογες χαρακτηριστικές αναφορές (Ίδια μορφοποίηση και κατηγοριοποίηση)

Κατηγορία	Παράγοντας	Αναφορές
Τοπογραφία - Μορφολογία	Χαρακτηριστικά επιφάνειας και υλικά δόμησης	(Doulos, et al., 2004)
	Διαπνοή από κτήρια και υποδομές	(Mirzaei and Haghghat, 2010)
	Μετακινήσεις – Μέσα μεταφοράς	(Mohajerani, et al., 2017)
	Διακοπή ροής αέρα ανάμεσα στα κτήρια - Τραχύτητα ανάγλυφου	(Stewart and Oke, 2012)
	Γεωμετρία των οικοδομικών block	(Harman and Belcher, 2006), (Y. Li, et al., 2020),
	Σχετική αναλογία ύψους κτηρίων – πλάτους δημόσιων οδών	(Takebayashi and Moriyama, 2012), (Chen, et al., 2012)
	Αναλογίες των κτηρίων	(Zhou, et al., 2017)
	Αλλαγή καλύψεων – χρήσεων γης	(Grossman-Clarke, et al., 2010), (Heusinkveld, et al., 2014), (Derdouri, et al., 2021)
	Πράσινες Επιφάνειες – Ανοιχτοί χώροι – Πεζοδρόμια	(Ibrahim, et al., 2018) (Chakraborty and Lee, 2019)
	Υδάτινες Επιφάνειες	(Gunawardena, et al., 2017), (Lai, et al., 2019)
Κοινωνικοί & Οικονομικοί Παράγοντες	Θερμότητα προερχόμενη από ανθρωπογενείς δράσεις και συσκευές	(Shahmohamadi, et al., 2010)
	Πυκνότητα πληθυσμού	(Kotharkar and Surawar, 2016), (Lee, et al., 2020)
	Χρήσεις – Καλύψεις γης (Εμπορική, βιομηχανική χρήση και κατοικία)	(Derdouri, et al., 2021)
Περιβαλλοντικοί Παράγοντες	Κλιματολογικές συνθήκες	(Amorim and Dubreuil, 2017), (Founda and Santamouris, 2017) (Rizwan, et al., 2008), (Zhao, et al., 2014)
	Γεωγραφικά χαρακτηριστικά	(Miles and Esau, 2017)
	Απορρόφηση ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους κύματος	(J. Li, et al., 2020)

3. ΟΙ ΑΘΝ ως αποτέλεσμα της αστικοποίησης

Στο ακόλουθο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση της αρθρογραφίας σε ότι αφορά, στους μηχανισμούς γέννησης των ΑΘΝ ως κλιματολογικό φαινόμενο, τα προβλήματα που προκαλεί ο σχηματισμός τους, τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα και τις στρατηγικές που έχουν ερευνηθεί για την μείωση των θερμικών επιπτώσεων τους. Η ΑΘΝ είναι ένα αστικό παραπροϊόν· αποτέλεσμα της έντονης ανθρωπογενούς δραστηριότητας στο εσωτερικό των πόλεων και των παραγωγικών δραστηριοτήτων. Ανήκει στα φαινόμενα που συνδέονται με την αστική μετεωρολογία και είναι παρών σε κάθε μεγαλούπολη σε όλα τα γεωμετρικά πλάτη. Στο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη σχετική αρθρογραφία.

3.1 Η Εξέλιξη των ΑΘΝ στις Αστικές Περιοχές

Η αστικοποίηση συνεχώς μεγαλύτερων ομάδων πληθυσμού προβάλλεται από μια μερίδα ερευνητών ως η κεντρικότερη αιτία εμφάνισης και διατήρησης των ΑΘΝ, στις αστικές περιοχές (Cui, et al., 2016), (Zhang, et al., 2011), (Li, et al., 2021), (Marelle, et al., 2020). Από τις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης, στα υπάρχοντα αστικά κέντρα της Αγγλίας του τέλους του 18^{ου} αιώνα, άρχισαν να παρατηρούνται επεκτάσεις των πόλεων γύρω από τις περιοχές στις οποίες βρισκόταν οι βιομηχανικές μονάδες. Τοποθετώντας τα μεγέθη σε ποσοτική κλίμακα, το 1800, υπήρχαν λιγότερες από 50 πόλεις με περισσότερους από 100,000. Το 1950 υπήρχαν περισσότερες από 900 και χιλιάδες τέτοιες πόλεις το 2019. Με στοιχεία από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών⁵, με το τέλος του περασμένου αιώνα, σχεδόν 370 πόλεις παγκοσμίως είχαν πάνω από ένα εκατομμύριο κατοίκους. Το πλήθος αυξήθηκε σε 584 το 2018 με εκτίμηση να φτάσει τις 706 πόλεις με το τέλος του 2030. Αυτοί οι επιταχυνόμενοι ρυθμοί συσσώρευσης πληθυσμού στα αστικά κέντρα, συντέλεσαν στην οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική βελτίωση σε πολλά μέρη του κόσμου. Οδήγησαν όμως παράλληλα, στην όξυνση περιβαλλοντικών προβλημάτων, σε διάφορα επίπεδα. Οι ΑΘΝ είναι ίσως,

⁵ <https://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/default.htm>

οι πλέον καλύτερα μελετημένες και καταγεγραμμένες εκδηλώσεις αυτών των πρωτοφανών ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Η ανάγκη της οικονομικής ανάπτυξης, ωθεί συνήθως, στη δημιουργία νέων βιομηχανικών μονάδων και εγκαταστάσεων με παράλληλη δημιουργία οικιστικών ζωνών γύρω από αυτές, στη δημιουργία συγκοινωνιακών δικτύων μεταξύ τους και την προσέλκυση νέων κατοίκων. Οι νέοι κάτοικοι, εγκαταλείπουν πολλές φορές οριστικά την ύπαιθρο και εντάσσονται στον αστικό τρόπο ζωής προσδοκώντας σταθερότητα. Η διαβίωση στην ύπαιθρο έχει συνδυαστεί με κινδύνους, έλλειψη οικονομικών και κοινωνικών ευκαιριών και αντίδραση στην πρόοδο που η διαμονή στα αστικά κέντρα προσφέρει. (*Di Clemente, et al., 2021*). Η αστικοποίηση έγινε συνώνυμο της κοινωνικής σταθερότητας και της οικονομικής ευημερίας (*Nguyen, et al., 2020*). Σε αντιστάθμισμα, οι αλλαγές χρήσεων και καλύψεων γης για αστικές χρήσεις είχαν καθοριστικές επιπτώσεις στις ισορροπίες του φυσικού περιβάλλοντος (*Uttara, et al., 2012*), (*Yang, et al., 2014*), (*Cui, et al., 2019*), (*Liang, et al., 2019*). Οι εκτεταμένες αστικές εκτάσεις αποτελούν, στις περισσότερες περιπτώσεις, παραφωνία και εγκαθιστούν καλύψεις γης πολύ διαφορετικές από το φυσικό κάλυμμα. Οι φυσικές επιφάνειες, συμπεριλαμβανόμενων και των υδάτινων, συνεισφέρουν στο ισοζύγιο της θερμικής ροής με υψηλές αποδόσεις στην απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Η βλάστηση απορροφά ένα μεγάλο τμήμα της ακτινοβολίας για την βιοχημική σύνθεση οργανικών ουσιών μέσω της φωτοσύνθεσης. Επιπλέον, με την εξατμισοδιαπνοή, τα φυτά απελευθερώνουν ατμούς νερού. Απορροφούν τμήμα του θερμικού φορτίου της ατμόσφαιρας, συντελώντας στην ή μείωση της θερμοκρασίας του αέρα ανά περιοχή (*Kabano, et al., 2021*). Λόγω των μεταβολικών αυτών λειτουργιών της φυτομάζας, που είναι τμήμα του κύκλου θρέψης των φυτών, η χρήση πράσινων καλύψεων στο εσωτερικό των αστικών ιστών, θεωρείται ως την πλέον ενδεδειγμένη στρατηγική για την μείωση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ (*B. Yang, et al., 2015*), (*Colunga, et al., 2015*), (*AboElata, 2017*), (*Ghosh and Das, 2018*), (*Achmad, et al., 2019*), (*Paschalis, et al., 2021*). Επίσης, η βλάστηση μειώνει τη θερμοκρασία των επιφανειών προσφέροντας σκίαση φυσική ασπίδα από κατευθείαν έκθεση στις ηλιακές ακτινοβολίες (*Estoque and Murayama, 2017*). Τα υδάτινα σώματα μέσα στον αστικό ιστό, αποτελούν εστίες δροσισμού όσο και η φυτοκάλυψη. Παρέχουν φυσική υγρασία στην ατμόσφαιρα, ικανή να μειώσει την επαναεκπέμπουσα θερμική ακτινοβολία

(*Manteghi, et al., 2015*), (*Syafii, et al., 2016*), (*Wu and Zhang, 2019*), (*Syafii, 2021*). Σε άλλες περιπτώσεις, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα μικρής σχετικά επιφάνειας σώματα νερού έχουν μικρή συμμετοχή στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα και για μικρή απόσταση από αυτά (*Jacobs, et al., 2020*).

Σε αντίθεση, οι αδιαπέρατες θερμικά επιφάνειες, όπως το τσιμέντο και η άσφαλτος, εμποδίζουν την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ συστατικών του περιβάλλοντος. Ανάλογα υλικά παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα και υψηλή απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Το ποσοστό κάλυψης αστικών επιφανειών στα κτήρια και στις υποδομές, με ανάλογα υλικά, φέρεται να είναι σημαντικός παράγοντας σε υψηλή συσχέτιση με την επιφανειακή θερμοκρασία στα αστικά κέντρα (*Mathew, et al., 2016*), (*Hua, et al., 2020*). Αποτελέσματα ερευνών έδειξαν σημαντικά θετικές σχέσεις ανάμεσα στη παρατηρούμενη επιφανειακή θερμοκρασία και του ποσοστού επιφανειακής κάλυψης των κατασκευών με αδιαπέρατα υλικά σε όλες τις εποχές του χρόνου. (*Cao, et al., 2008*). Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως οι διακυμάνσεις στην επιφανειακή θερμοκρασία των αστικών περιοχών μπορούν να συσχετιστούν αρκετά καλά με το ποσοστό κάλυψης των αδιαπέραστων υλικών. Σε άλλες περιπτώσεις, η σχέση αυτή, εκτιμήθηκε να είναι ισχυρότερη από τη συσχέτιση της επιφανειακής θερμοκρασίας με δείκτες φυτικής κάλυψης, όπως ο NDVI (*Yuan and Bauer, 2007*). Η συστηματική χρήση των αδιαβατικών υλικών ως δομικών στοιχείων, οδηγεί σε επιφανειακές ανισοκατανομές θερμότητας και στη συντήρηση τοπικών μικροκλιματικών αλλαγών και μια από αυτές τις κλιματικές ανισορροπίες είναι και οι ΑΘΝ (*Yang and Pan, 2011*).

Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι η θερμότητα που εκπέμπεται από ανθρωπογενείς δράσεις επιδρά αθροιστικά στη δημιουργία και συντήρηση των ΑΘΝ (*Lee, et al., 2017*). Σχεδόν κάθε μαζική ανθρώπινη δραστηριότητα, εντός των αστικών κέντρων, συμμετέχει στην αύξηση της θερμοβαθμίδας. Για παράδειγμα, έχει ερευνηθεί η συμμετοχή της χρήσης των αυτοκινήτων και των μεταφορικών μέσων με κινητήρες εσωτερικής καύσης (*Louiza, et al., 2015*), (*Zhu, et al., 2017*), τα συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης (*Tremeac, et al., 2012*), (*De Munck, et al., 2013*), (*Wang, et al., 2018*) της βιομηχανίας και των εργοστασιακών μονάδων (*Singh, et al., 2017*) στην αύξηση της θερμοκρασίας σε τοπικό επίπεδο. Στη γενίκευση της έρευνας σε ότι

αφορά στη συμμετοχή της βιομηχανίας στο φαινόμενο των ΑΘΝ, μια πλέον γενικευμένη έννοια είναι οι Αστικές Νησίδες Ρύπανσης. Στην έννοια αυτή, μαζί με την θερμική ρύπανση, συμπεριλαμβάνονται και οι αέριοι ρύποι και τα αερολήμματα (*H. Li, et al., 2018*), (*Ulpiani, 2021*).

Στα όσα ελέγχθηκαν, φαίνεται πως οι παθητικοί παράγοντες που επιδρούν στη δημιουργία ΑΘΝ όπως η χρήση υλικών δόμησης με αδιαβατικές ιδιότητες και οι αλλαγές χρήσεων και καλύψεων γης, φέρουν ένα ποσοστό συμμετοχής στην ένταση του φαινομένου. Η ροή θερμότητας, όμως, που προέρχεται από ανθρωπογενείς δράσεις, είναι αυτές που φέρουν το χαρακτηριστικότερο ποσοστό επίδρασης στην ένταση των ΑΘΝ. Οι ανθρωπογενείς πηγές δημιουργίας ροών θερμότητας, είναι επίσης και οι δυσκολότερο να περικοπούν. Οι πόλεις είναι δημιούργημα που συνδέεται με πυκνές ανθρωπογενείς λειτουργίες σε περιορισμένο χώρο. Η πυκνότητα αυτή των δραστηριοτήτων και η ένταση τους στο χρόνο είναι συνώνυμες με την οικονομική ευμάρεια του κάθε αστικού κέντρου. Ένα παράδειγμα της έντασης της συμμετοχής των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στη θερμική υποβάθμιση των αστικών κέντρων βρίσκεται στους *Shikwambana, et al., (2021)*. Οι ερευνητές έκαναν μετρήσεις εκπομπών αέριων ρύπων και παράλληλες μετρήσεις θερμοκρασίας επιφάνειας με δορυφορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης, σε αστικά κέντρα της Ν. Αφρικής. Οι μετρήσεις έγιναν πριν και μετά το διάστημα περιορισμών κυκλοφορίας λόγω Covid. Οι περιορισμοί του lockdown στην περιοχή, παρείχαν ένα σπάνιο πειραματικό γεγονός, που θα αντιμετωπιζόταν, ως θεωρητικό σενάριο, κάτω από άλλες συνθήκες,. Κατά το διάστημα των παρατηρήσεων, οι ανθρωπογενείς εκπομπές μειώθηκαν δραστικά λόγω απαγορεύσεων στην κυκλοφορία. Εκτιμήθηκαν έτσι, οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στο μικροκλίμα των αστικών κέντρων. Μεταξύ άλλων, οι ερευνητές κατέγραψαν μείωση 31% στις εκπομπές NO₂, 17% στον εμπλουτισμό CO, πτώση της θερμοκρασίας της επιφάνειας και ελάττωση της έντασης των ΑΘΝ στη διάρκεια του lockdown.

3.2 Στρατηγικές Μετρίασης των Αποτελεσμάτων των ΑΘΝ

Οι ανθρωπογενείς δράσεις είναι το κύριο χαρακτηριστικό των αστικών περιοχών. Δεν είναι εφικτός ο περιορισμός των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, στα όρια μια αστικής ζώνης, ώστε να επιτυγχάνεται περιορισμός των θερμικών υποπροϊόντων των δραστηριοτήτων αυτών. Ο συνδυασμός εγκατάστασης βιομηχανικών μονάδων, βίαιης αλλαγής καλύψεων και χρήσεων γης και άναρχης οικοδομικής εξάπλωσης, είναι δυνατόν να δημιουργήσουν συνθήκες όξυνσης της έντασης των ΑΘΝ (*Mohan, et al., 2020*). Οι τεχνολογίες και η τεχνογνωσία εφαρμογών μείωσης των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ έχουν πορεία τριάντα ήδη ετών (*Akbari and Kolokotsa, 2016*). Μπροστά στις νέες προκλήσεις που φέρνει η συνεχής αύξηση της συγκέντρωσης του πληθυσμού, αφενός, και αφετέρου, η διαφαινόμενη κλιματική αλλαγή, η ανθεκτικότητα των πόλεων είναι υπό δοκιμασία. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε ότι αφορά στις στρατηγικές προσεγγίσεις που προτείνονται για την μακροαντιμετώπιση του φαινομένου των ΑΘΝ σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη της υδρογείου, μπορούμε να εξαντλήσουμε σημαντικά συμπεράσματα.

Οι *Battista, et al., (2020)* αντιμετώπισαν πειραματικά το φαινόμενο των ΑΘΝ σε μια πανεπιστημιακή έκταση, μέσα στον αστικό ιστό της Ρώμης. Μετά από διαεποχιακές, παράλληλες μετρήσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας, συμπέραναν, πώς η μακροχρόνια πολιτική αντιμετώπισης του φαινομένου πρέπει να εμπλέκει τόσο τις κτηριακές υποδομές όσο και τις δημόσιες ανοικτές εκτάσεις. Διαπίστωσαν πως τα δέντρα μεγάλου ύψους δεν δρουν προς μείωση του φαινομένου της επιφανειακής θερμοκρασίας, παρά τη δημιουργία σκίασης, γιατί αποκόπτουν τη φυσική ροή του αέρα. Εκτίμησαν επίσης πως, τα ψυχρά υλικά για την κάλυψη των πεζοδρομίων μείωσαν την ημερήσια θερμοκρασία κατά 0.22 °C. Ανάλογα αποτελέσματα είχε και η χρήση γκαζόν. **Τα συμπεράσματά των ερευνητών συνέτειναν στην αναγκαιότητα ανάπλασης των δημόσιων χώρων και τη θεσμοθέτηση νέων κανονισμών στη δημιουργία καινούργιων κτηρίων, για την επίτευξη στόχων που αφορούν στη μείωση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ.**

Στο ίδιο πνεύμα, οι *Aflaki, et al., (2017)*, σε μια ανασκόπηση της αρθρογραφίας που αφορούσε τις τεχνικές μείωσης της επιφανειακής θερμοκρασίας στις Kuala Lumpur, Singapore και Hong Kong συμπέραναν ότι στρατηγικές εμπλουτισμού των αστικών

περιοχών με πράσινο μπορούν να ελαττώσουν σημαντικά τα αποτελέσματα των ΑΘΝ, άμεσα και έμμεσα κατά 4-4,5 °C.

Στην πόλη του Λονδίνου, ανάλογη έρευνα προτείνει ως κύρια στρατηγική την υιοθέτηση πολιτικών που επιβάλουν τη μορφή, την κατεύθυνση και τον προσανατολισμό νέων κτηρίων. Συνοδευτικά, προτείνει τη συστηματική χρήση κοντών δέντρων, γκαζόν και θάμνων, όπου είναι δυνατόν, όπως και τη χρήση υλικών με υψηλή λευκαύγεια, στο εξωτερικό περιβλήμα των κτηρίων (*O'Malley, et al., 2014*).

Σε ανάλογη έρευνα στην πόλη της Τεχεράνης, οι *Sodoudi, et al., (2014)* απέδειξαν την ύπαρξη ΑΘΝ και των θερμικών αποτελεσμάτων της. Εκτίμησαν πως η ένταση του φαινομένου μεγιστοποιείται τον Ιούλιο, με την αστική περιοχή να είναι θερμότερη από τις περιμετρικές περιοχές κατά 6Κ, στο μέσο όρο. Πειραματικά δοκίμασαν την αποτελεσματικότητα τριών διαφορετικών στρατηγικών. Πρώτη η χρήση υλικών υψηλής ανακλαστικότητας, ως υλικό επικάλυψης. Δεύτερη, σε κάθε δυνατό χώρο πράσινες επιστρώσεις, στο έδαφος και στις οροφές των κτηρίων. Τρίτη μια μικτή κατάσταση των άλλων δύο.

Οι *Andoni και Wonorahardjo, (2018)*, σε μια ανασκόπηση της αρθρογραφίας, συγκέντρωσαν ένα πλήθος στρατηγικών που έχουν προταθεί κατά καιρούς, με στόχο τη μετρίαση και την ταπείνωση της έντασης των ΑΘΝ. Στις αναφορές τους περιλαμβάνονται η υιοθέτηση πράσινων επιφανειών, κάλυψη με βλάστηση, πράσινες οροφές, υλικά με υψηλή ανακλαστικότητα και μικρή θερμοχωρητικότητα, τεχνικές σκίασης και θερμική μόνωση των κτηρίων.

Σε ανάλογα συμπεράσματα καταλήγει και έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Mexicali του Μεξικού. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το μέγιστο της απόδοσης, σε ότι αφορά στο μετριασμό των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, μπορεί να επιτευχθεί όταν βρίσκουν κατάλληλη εφαρμογή ταυτόχρονα όλες οι ενδεδειγμένες στρατηγικές και όχι μεμονωμένα. Στις στρατηγικές συμπεριλαμβάνουν ψυχρά οικοδομικά υλικά, φυτοκάλυψη και δεντροκάλυψη, πράσινες οροφές. Σε αντίθετη περίπτωση μόνο αποσπασματικά αποτελέσματα είναι εφικτά. (*Villamueva-Solis, 2017*).

Στην ενδεικτική αυτή ανασκόπηση της βιβλιογραφίας υπάρχουν μερικά σημεία που πρέπει να τονιστούν περαιτέρω και τα οποία συνιστούν τις κοινές συνιστώσες σε όλες τις περιπτώσεις.

- Τα ερευνητικά συμπεράσματα είχαν σε όλες τις περιπτώσεις μια τεχνοκρατική προσέγγιση, που μεταχειριζόταν τους συντελεστές ως υπολογιστικές παραμέτρους. Δεν συμπεριλαμβανόταν ως παράμετρος ο άνθρωπος, οι συνήθειες, οι αντιλήψεις, η δυνατότητα αφομοίωσης αλλαγών και εναρμόνισης σε νέες πρακτικές. Η αντιμετώπιση των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ είναι ένα σχετικά νέο τοπίο προκλήσεων και σε αυτό καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η συμμετοχή των κατοίκων των αστικών κέντρων. Είναι ευνόητο πως όταν θέματα όπως η φτώχεια, η κοινωνική απομόνωση, οι διακρίσεις και εγκληματικότητα βρίσκονται στις πρώτες θέσεις της κοινωνικής ατζέντας, η προτεραιότητα που δίνεται στην αντιμετώπιση των ΑΘΝ, να περνάει σε δεύτερη μοίρα. Με άλλα λόγια, πολύ διαφορετικά αντιμετωπίζει το φαινόμενο ο κάτοικος της εταιρείας γαλλικής Ριβιέρας από τον κάτοικο των άναρχων παραγκουπόλεων της Ν. Αμερικής (*Carneiro, et al., 2021*).
- Φαίνεται πως οι κοινές γραμμές της τεχνολογικής αντιμετώπισης των ΑΘΝ είναι γνωστές. Πράσινο παντού, νέα ψυχρά υλικά, πολεοδομική αναδιάρθρωση, μικρότερο ύψος κτηρίων σε μεγαλύτερη απόσταση το ένα από το άλλο, με καλή κυκλοφορία αέρα. Σε πρακτικό επίπεδο κάθε συντεταγμένη πολιτεία θα μπορούσε να επιβάλει πολεοδομικούς κανονισμούς, εναρμονισμένους με αυτές τις απαιτήσεις. Πάρα ταύτα, ακόμα και με τους κινδύνους που η κλιματική αλλαγή ελλοχεύει για τη βιωσιμότητα των πόλεων, ανάλογα μέτρα δεν έχουν ληφθεί. Φαίνεται πως η διαδικασία λήψης μέτρων, ακόμα και όταν οι μηχανισμοί και η τεχνολογία είναι γνωστά, δεν είναι τόσο απλή ούτε τόσο γραμμική. Οικονομικά αντίβαρα που σχετίζονται με την υπεραξία των ιδιοκτησιών στο εσωτερικό των πόλεων, τα οικονομικά φράγματα του real estate και των οργανωμένων συμφερόντων, όπως και η πίεση του πληθυσμού για οικιστική κάλυψη ξεπερνούν σε προτεραιότητα την αναγκαιότητα της αντιμετώπισης κλιματολογικών προβλημάτων. Αυτό συμβαίνει ακόμα και σε πόλεις όπου το πρόβλημα της υπερθέρμανσης λόγω του γεωγραφικού πλάτους στο οποίο βρίσκονται είναι πολύ οξύ (*Kaloustian, et al., 2016*).
- Ακόμα και στις περιπτώσεις των δημόσιων κατασκευών και χώρων στις οποίες η ιδιωτική συμμετοχή είναι πολύ μικρή, οι λήψεις αποφάσεων δεν ευνοούν

στρατηγικές που να επιφέρουν μείωση των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ. Η αλλαγή είναι πολύ αργή, δεν έχει πρώτη γραμμή προτεραιότητας, οι αναπλάσεις και οι ανακατασκευές εξυπηρετούν άλλους στόχους: εντυπωσιασμού, προβολής του κέντρου της πόλης ή ανάπτυξη φιλικότητας στην πρόσβαση. Τα ίδια λάθη επαναλαμβάνονται και παλιές πρακτικές χρησιμοποιούνται για λάθος περιστάσεις.

Ο κοινός παρονομαστής που συνδέει τις συνιστώσες που αναφέρθηκαν, είναι ως επί το πλείστον το γεγονός πως οι επιπτώσεις των ΑΘΝ συσσωρεύουν κόστη. Τα κόστη είναι άμεσα και έμμεσα, βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, σε κάθε περίπτωση όμως είναι πραγματικά. Οι αλλαγές που απαιτούνται στις υποδομές και διακρίνονται σε δημόσιες και ιδιωτικές, απαιτούν ένα - σε πολλές περιπτώσεις - υψηλό κόστος που ούτε οι ιδιώτες θέλουν να καταβάλλουν ούτε το δημόσιο το έχει σε πρώτη προτεραιότητα. Η αποτίμηση του κόστους των ΑΘΝ, όπως μπορεί να εντοπιστεί στην αρθρογραφία, είναι το αντικείμενο του επόμενου κεφαλαίου.

4. Το Κόστος των Θερμικών Αποτελεσμάτων των ΑΘΝ

Στο κεφάλαιο προσεγγίζεται το θέμα της κοστολόγησης των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ. Η αρθρογραφία σχετικά με το βαθμό επίδρασης των ΑΘΝ στη συντήρηση υποδομών και στη λειτουργικότητα των παραγωγικών κοινωνικών μηχανισμών στα αστικά κέντρα, είναι ελλιπής. Για την κοστολόγηση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ δεν υπάρχει τυποποιημένη μέθοδος. Η οικονομική αποτίμηση των επιπτώσεων των ΑΘΝ είναι ουσιαστικό στάδιο για το σχεδιασμό στρατηγικών βελτίωσης της ανθεκτικότητας των πόλεων. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια πιο διευρυμένη συγκέντρωση δημοσιεύσεων, με αποτελέσματα ερευνών σχετικά με τα αποτελέσματα των θερμικών επιδράσεων των ΑΘΝ σε διάφορους παραγωγικούς συντελεστές και τα οποία αυξάνουν το κόστος παραγωγής και διαβίωσης στις πόλεις. Παρουσιάζεται πρωτότυπη ομαδοποίηση και ταξινόμηση των οικονομικών επιδράσεων των ΑΘΝ που προέρχεται από την οργάνωση της βιβλιογραφίας.

4.1 αναφ Συντελεστές Κοστολόγησης των Αποτελεσμάτων των ΑΘΝ

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, η έρευνα, αναφορικά με τις αιτιάσεις της δημιουργίας των ΑΘΝ, με την ένταση των θερμικών αποτελεσμάτων τους και με τις στρατηγικές μετριασμού των επιδράσεων στην έκταση των αστικών περιοχών, είναι αρκετά διευρυμένη. Ωστόσο, δεν είναι αρκετές οι προσεγγίσεις που να αφορούν στα συλλογικά ή τμηματικά οικονομικά αποτελέσματα των θερμικών επιδράσεων σε επίπεδο πόλεων. Με άλλα λόγια, δεν είναι ξεκάθαρη στη βιβλιογραφία, κάποια προσέγγιση, ένα σταθερό πρωτόκολλο σε σχέση με την κοστολόγηση της επίδρασης των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ.

Οι κλιματολογικές διαφοροποιήσεις στην έκταση των αστικών κέντρων, επηρεάζουν τη λειτουργικότητα (Yao, et al., 2019), τη βιωσιμότητα και υγιεινή των πόλεων. Οι Alderton, et al., (2019), εξειδικεύουν τους όρους “βιωσιμότητα” και “υγιεινή” για τα αστικά κέντρα. Επισημαίνουν πως οι επιστήμες που συνδέονται με τη λειτουργικότητα των αστικών κέντρων εισπράττουν αυξανόμενη αναγνώριση, υπό το βάρος της οικονομικής σημαντικότητας που αυτά συγκεντρώνουν. Επισημαίνουν την ανάγκη σύγκλισης του σχεδιασμού, υπό την επίτευξη συνθηκών διαβίωσης του πληθυσμού, έτσι ώστε να εξασφαλίζουν τη δημόσια υγεία. Οι πόλεις που οι λειτουργίες τους σχεδιάζονται με ευαισθησία στην προστασία της, αποτελούν τις πόλεις με υψηλά ποσοστά βιωσιμότητας. Αυτό βέβαια επισημαίνεται και σε άλλους ερευνητές (Giles-

Corti, et al., 2016), (*McCosker, et al., 2018*). Η αστική βιωσιμότητα είναι στενά παραλληλισμένη με τις έννοιες και τις παραμέτρους που καθορίζουν τη δημόσια υγεία (*Khorrami, et al., 2021*), (*Higgs, et al., 2019*). Βελτιώνοντας τη βιωσιμότητα των αστικών κέντρων, βελτιώνεται και το μέσο επίπεδο της δημόσιας υγείας και του βιοπορισμού των κατοίκων, ενόσω ταυτόχρονα, μειώνεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των πόλεων. Για παράδειγμα, , απόψεις της αστικής βιωσιμότητας όπως η ποιότητα των δημόσιων μεταφορών (*Christian, et al., 2017*), η ύπαρξη χώρων για βάδισμα στις γειτονιές (*Frank, et al., 2006*), (*Hirsch, et al., 2014*) και η δυνατότητα πρόσβασης σε πάρκα και δημόσιους ανοιχτούς χώρους, σχετίζονται θετικά με το κεφάλαιο της δημόσιας υγείας. Αρκετές μελέτες συγκλίνουν στο συμπέρασμα πως οι παράμετροι που καθορίζουν την βιωσιμότητα των πόλεων, συνεπιδρούν την αύξηση της φυσικής δραστηριότητας και υποβοηθούν την ψυχική υγεία (*Turrell, et al., 2014*), (*Stevenson, et al., 2016*). Η αυξημένη βιωσιμότητα των αστικών κέντρων μειώνει επίσης τις επιδράσεις των κλιματικών αλλαγών, τα θερμικά αποτελέσματα του σχηματισμού των ΑΘΝ (*Rizwan, et al., 2008*), (*Kleerekoper, et al., 2012*). Οι ίδιοι παράγοντες επιδρούν και στη μείωση της εξάρτησης από τη χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων και τις εκπομπές αέριων ρύπων που επιδρούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (*Giles-Corti, et al., 2010*).

Συμπεραίνουμε πως οι παράγοντες που επιδρούν στην βιωσιμότητα των πόλεων, είναι ανάμεσα σε αυτούς που επιδρούν στο κόστος των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ. Η ποσοτική τους διακύμανση επηρεάζει την κοινωνική λειτουργικότητα, την παραγωγικότητα και τη δημόσια υγεία του πληθυσμού των αστικών κέντρων. Στη διαδικασία αποσαφήνισης των οικονομικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ στη λειτουργία των πόλεων, θεωρείται για τη συνέχεια της παρούσας, πως αυτού του τύπου οι κλιματολογικές ανομοιομορφίες στο αστικό χώρο, επιδρούν στην ποιότητα ζωής, στη δημόσια υγεία, την παραγωγικότητα του ανθρώπινου παράγοντα και στην κοινωνική διάρθρωση του αστικού πληθυσμού. Κατά συνέπεια, θα θεωρούνται μια από τις παραμέτρους επιπρόσθετου κόστους από την επίδραση των ΑΘΝ. Ένας από τους λόγους που η κοστολόγηση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ δεν είναι μοντελοποιημένη επαρκώς είναι πως οι σχέσεις μεταξύ των θερμικών αιτίων και των οικονομικών αποτελεσμάτων δεν είναι επαρκώς προφανείς ή/και γραμμικές. Για παράδειγμα, υπάρχει αυξανόμενο πλήθος από αναφορές που συνδέουν τα επίπεδα εγκληματικότητας με τις κλιματολογικές συνθήκες. Η συσχέτιση της αύξησης της θερμοκρασίας με την αύξηση των εγκλημάτων παρατηρήθηκε σχετικά νωρίς (*Field, 1992*). Σε νεότερη έρευνα, οι *Stevens, et al., (2019)*, βρήκαν στατιστικά σημαντική τη

συσχέτιση μεταξύ της χωρικής κατανομής των τιμών της θερμοκρασίας επιφανείας και του ρυθμού των παραβατικών συμπεριφορών για την Νέα Ουαλία της Αυστραλίας. Συμπέραναν πως η αυξημένη θερμοκρασία επιφάνειας επιδρά στην ανθρώπινη συμπεριφορά, κάνοντας τον υποκείμενο πληθυσμό περισσότερο επιρρεπή σε αποκλίνουσες και παράνομες ενέργειες. Σε ανάλογα συμπεράσματα, για τις ΗΠΑ κατέληξε έρευνα που στηρίχτηκε σε εμπειρικά δεδομένα καταγεγραμμένων περιπτώσεων εγκλημάτων (*Harp and Karnauskas, 2020*). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι ερευνητές βρήκαν διαφοροποίηση των κατανομών πιθανότητας για την διάπραξη εγκλημάτων στο γενικό πληθυσμό. Βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις κατανομές ανάλογα με τους βαθμούς κελσίου επιβάρυνσης της επιφανειακής θερμοκρασίας. Ανάλογες συμπεριφορές έχουν αναφερθεί και για επιμέρους περιοχές του πλανήτη. Για την πόλη του S. Louis, ο *Mares, (2013)*, με δεδομένα 20 ετών συμπέρανε πως τα πλέον σημαντικά περιστατικά εγκλημάτων είχαν μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν κατά τις περιόδους με έξαρση της θερμοκρασίας. Σε ανάλογα αποτελέσματα, η συσχέτιση μεταξύ της διάχυτης θερμότητας και της επιθετικής διάθεσης που υιοθετούν οι πολίτες για μια περίοδο 6 ετών μελετήθηκε στην Φινλανδία. Διαπιστώθηκε πως η διακύμανση της διάχυτης θερμότητας συναρτούσε ποσοστό 10% της διακύμανσης της εγκληματικότητας (*Tiihonen, et al., 2017*). Ένας συνεχώς αυξανόμενος όγκος έρευνας, συσχετίζει τα κλιματολογικά φαινόμενα αύξησης της επιφανειακής θερμοκρασίας με την αύξηση του ρυθμού εγκληματικότητας (*Mares and Moffett, 2019*). Η αθέατη αυτή αιτιότητα επιπροσθέτει κόστος στην κοινωνική λειτουργία του ανθρώπινου δυναμικού μιας πόλης, ως άμεσο αποτέλεσμα της δράσης μιας ΑΘΝ. Το κόστος αυτό είναι δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια και η εκτίμησή του γίνεται προσεγγιστικά.

Επειδή οι ΑΘΝ έχουν κατά βάση ανθρωπογενή προέλευση, οι επιδράσεις τους, έχουν προσθετικά αποτελέσματα με άλλου τύπου ακραία κλιματολογικά φαινόμενα. Οι καύσωνες, για παράδειγμα, αποτελούν ένα από τα χαρακτηριστικότερα ακραία κλιματολογικά φαινόμενα για τις ανθρώπινες κοινωνίες. Αναλύσεις ευαισθησίας των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της έντασης των ΑΘΝ και της συχνότητας των επεισοδίων καυσώνων έδειξαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις σε τοπικού επιπέδου σενάρια και προσομοιώσεις (*Zhao, et al., 2018*). Σε άλλες περιπτώσεις, όταν οι υψηλές, συνδυασμένες θερμοκρασίες, καύσωνα και ΑΘΝ, συμπίπτουν με συνθήκες υψηλής ατμοσφαιρικής υγρασίας, η αίσθηση της θερμοκρασίας είναι ακόμα μεγαλύτερη και οι ανθρωποκεντρικές δραστηριότητες είναι υποπαραγωγικές και υποβαθμίζονται (*Basara, et al., 2010*).

Οι επιδράσεις του φαινομένου των ΑΘΝ, πάνω στις ζώνες μαζικής ανθρώπινης διαμονής, τόσο από τη θεώρηση της ποιότητας διαβίωσης, όσο και από τις αμιγώς περιβαλλοντικές προεκτάσεις τους, έχουν ως κεντρικό άξονα τα οικονομικά αποτελέσματα της παρουσίας τους. Στο μέγεθος των οικονομικών επιπτώσεων συν επιδρούν παράγοντες στους οποίους περιλαμβάνονται οι δημογραφικές αλλαγές, η οικονομική ανάπτυξη ή/και η μορφολογία και δομική του ίδιου του αστικού κέντρου. Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν οι συντελεστές που επιτείνουν αυτά τα οικονομικά αποτελέσματα των θερμικών επιδράσεων. Αυτό είναι ένα πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση της κατανόησης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους και για την σύνθεση αριθμητικών μοντέλων αποτίμησης του κόστους σε νομισματικές μονάδες. Μεταξύ των συντελεστών που επιβαρύνονται οικονομικά από τη θερμική πίεση των ΑΘΝ είναι και η δημόσια υγεία. Έχει παρατηρηθεί πως οι θερμές περιόδους σχετίζονται και με υψηλές συχνότητες νοσηρότητας και υποβάθμισης της δημόσιας υγείας. Ιστορικά, έχουν μελετηθεί σε επιδημιολογικό επίπεδο, οι επιπτώσεις στην υγεία σε περιπτώσεις καύσωνα όπως αυτές στο Σικάγο του 1995 (*Semenza, et al., 1999*), (*Whitman, et al., 1997*), στην Ευρώπη το 2003 (*Robine, et al., 2008*), στη Ρωσία το 2004 (*Shaposhnikov, et al., 2014*), (*Barriopedro, et al., 2011*), στην Αγγλία το 2013 (*Elliot, et al., 2014*), κ.τ.λ. Η έρευνα, σε επιδημιολογικό επίπεδο, σχετικά με τις επιπτώσεις των ακραίων κλιματικών θερμοκρασιών, είναι αρκετά διευρυμένη (*Sheridan and Allen, 2015*). Σε ένα περιγραφικό διάγραμμα της συσχέτισης της συχνότητας θανάτων σε σχέση με την επιφανειακή θερμοκρασία αέρα, που ονόμασαν u-plot, οι *Curriero, et al., (2002)*, έδειξαν πως οι οριακές θερμοκρασίες συνδέονταν με αυξημένη συχνότητα θανάτων. Το μέγεθος της συχνότητας των θανάτων φαίνεται να μεγαλώνει ανάλογα με την ένταση των ακραίων θερμοκρασιών (*Gasparrini, et al., 2015*).

Η βιβλιογραφία παρουσιάζει αρκετά παραδείγματα σχετικά με το πως οι ακραίες θερμοκρασίες μπορούν να πιέσουν την παραγωγή και να υπερφορτώσουν το δίκτυο μεταφοράς ενέργειας. Σε πολλές περιπτώσεις, η οριακή αυτή λειτουργία του δικτύου, οδηγεί σε αστοχίες και παρατεταμένα blackouts (*Pechan and Eisenack, 2013*). Επιπλέον, αναφέρεται ότι τα παράπλευρα αποτελέσματα της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης στη διάρκεια ακραίων θερμικών επεισοδίων, συνδέονται με αυξημένα επίπεδα εκπομπών όζοντος στην τροπόσφαιρα από τις αστικές περιοχές. Αυτός είναι ένας ακόμα παράγοντας που επιτείνει τα προβλήματα δημόσιας υγείας υπό την επίδραση των ΑΘΝ και επιφέρει επιπλέον ενεργειακή κατανάλωση (*Añel, 2016*).

Η ρυθμιστική δυνατότητα μείωσης των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ από την παρουσία πράσινων επιφανειών και βλάστησης μέσα στον αστικό ιστό, έχει αποδειχτεί πειραματικά σε ένα διευρυμένο πλήθος δημοσιεύσεων (*Kardan, et al., 2015*), (*Hartig and Kahn, 2016*), (*Feyisa, et al., 2014*), (*Declet-Barreto, et al., 2013*), (*Sharma, et al., 2016*). Παρά το γεγονός ότι η σημαντικότητα της ύπαρξης βλάστησης στις αστικές περιοχές στον περιορισμό των θερμικών αποτελεσμάτων είναι αναγνωρισμένη, συχνά το κόστος χρήσης του νερού που απαιτείται για την συντήρησή της αποτελεί ένα επιπλέον αφανή παράγοντα κόστους λόγω των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ. Οι *Guhathakurta και Gober, (2010)*, σε εμπειρική τους έρευνα στην πόλη του Phoenix συμπέραναν ότι οι αδιαπέραστες επιφάνειες κάλυψης, συνεισφέρουν στην αύξηση της ζήτησης του νερού επιτείνοντας τα θερμικά αποτελέσματα της ΑΘΝ. Συμπέραναν ακόμα πως οι μεγάλες επιφάνειες με δεξαμενές, πισίνες και σιντριβάνια, αύξαναν τη ζήτηση νερού καθώς μείωναν την ημερήσια διαφορά θερμοκρασίας. Συμπέραναν, τέλος, πως ένας αποτελεσματικότερος σχεδιασμός για τη μείωση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, πρέπει να ξεπερνά την απλή κατασκευή δεξαμενών νερού και συστάδων βλάστησης. Σημειώνουν επίσης ότι, εναλλακτικά απαιτείται ένας δυναμικός συνδυασμός μεταξύ υλικών κάλυψης, χρήσεων γης, και χρήσεων νερού. Έχει αναφερθεί ότι ο φυτικός δείκτης NDVI έχει αρνητική σχέση με τη θερμοκρασία εδάφους. Τα δύο μεγέθη αναφέρονται να συσχετίζονται αρνητικά με στατιστικά σημαντικό συντελεστή που μεταβάλλεται από -0.1 ως -0.6 (*Hassan, et al., 2021*).

Η αύξηση του ποσοστού των καλυμμένων με αδιαπέραστα υλικά επιφανειών μέσα στον αστικό ιστό, φέρεται να σχετίζεται ισχυρά με αυξημένο έλλειμμα ζήτησης εξατμισοδιαπνοής. Η μέγιστη αύξηση του ελλείμματος αυτού παρατηρείται στις υψηλότερες θερμοκρασίες κατά την περίοδο της ανάπτυξης της βλάστησης. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή καταγράφεται 10% υψηλότερη λόγω των θερμικών πιέσεων των ΑΘΝ, δημιουργώντας αύξηση στη ζήτηση του νερού και της ενέργειας σαν αποτέλεσμα της αστικοποίησης. Ερευνητικά αποτελέσματα αποδεικνύουν πως ο αποκλεισμός επιφανειών με αδιαπέραστα υλικά έχει μεγάλη επίδραση στη ζήτηση της εξατμισοδιαπνοής και πιθανές εμπλοκές στους κύκλους του νερού και του άνθρακα στα αστικά οικοσυστήματα (*Zipper, et al., 2017*).

Σε άλλες περιπτώσεις, η διευρυμένη εγκατάσταση ψυχρών καλύψεων στις οροφές των κτηρίων, φαίνεται πως όχι μόνο μειώνει τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ αλλά αποδεικνύεται σημαντική στρατηγική μείωσης της κατανάλωσης τόσο του πόσιμου όσο και του προς άρδευση νερού, στα αστικά κέντρα. Οι *Vahmani και Jones, (2017)* συμπέραναν ότι η κατανάλωση νερού, κατά μήκος των αστικών περιοχών, μειώθηκε

κατά 9% και η εξοικονόμηση κατά κεφαλή του αρδευτικού νερού κυμαινόταν από 1.8 to 15.4 γαλόνια ανά μέρα κατά μήκος 18 περιφερειών που εξέτασαν. Το εντυπωσιακό αποτέλεσμα τους ήταν πως η συνολική εξοικονόμηση νερού για την αστική ζώνη της Ν. Υόρκης μπορεί να φτάσει τα 83 εκατομμύρια γαλόνια ανά μέρα. Η εγκατάσταση στις οροφές των κτηρίων ψυχρής – πράσινης κάλυψης, διαφαίνεται μια σημαντική στρατηγική στην αντιμετώπιση των επεισοδίων θερμών περιόδων και των ΑΘΝ.

4.2 Ομαδοποίηση των Συντελεστών Κόστους

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να περιγράψει τους συντελεστές που επιδρούν στην αύξηση του κόστους λειτουργίας των αστικών κέντρων σαν συνέπεια των αποτελεσμάτων της δράσης των ακραίων κλιματολογικών θερμοκρασιών και των ΑΘΝ. Τα πραγματικά - αλλά αθέατα - κόστη στα οποία υπόκειται η αστική κοινωνία λόγω των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, δρουν προσθετικά σε όσα άλλα κόστη προκύπτουν από την μεταστροφές του κλίματος και των περιβαλλοντικών παρεμβάσεων. Οι στρατηγικές μετρίασης των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ έχουν παρουσιαστεί από πολλούς ερευνητές με μεγάλη λεπτομέρεια και τεκμηρίωση – για παράδειγμα (*Tian, et al., 2021*). Παρόλα αυτά, η οικονομική διάσταση των αποτελεσμάτων αυτών δεν έχει πλήρως αποσαφηνιστεί. Δεν είναι δηλαδή ακριβές το μέγεθος του κόστους που συσσωρεύεται στις υποδομές, το κόστος των αναπλάσεων που απαιτούνται για την ελάττωση των θερμικών πιέσεων, την φθορά και συμπεριφορά των μηχανών. Οι βιβλιογραφικές αναφορές, σε ότι αφορά την κοστολόγηση, είναι μάλλον επιμεριστικές, ελλιπείς ή εξειδικευμένες σε περιπτώσεις αναφοράς. Για παράδειγμα, οι *Miner, et al., (2017)*, σε έρευνα που πραγματοποίησαν στην πόλη του Phoenix USA, για τους θερινούς μήνες του χρόνου, εκτίμησαν το ετήσιο κόστος του ΑΘΝ στα 479 εκατ. δολάρια σε τιμές 2017. Το πλέον χρήσιμο στοιχείο της ανάλυσης είναι πως δεν διαχωρίζουν το κόστος σε δημόσιο και ιδιωτικό και πως λαμβάνουν υπόψιν τρεις μόνο πηγές κόστους προερχόμενο από την ΑΘΝ υπερβάλλον κόστος λειτουργίας μονάδων κλιματισμού, κόστος μειωμένης λειτουργίας κινητήρων αυτοκινήτων και μηχανών εσωτερικής καύσης, και την μείωση του χρόνου ζωής γενικά των ηλεκτρικών – ηλεκτρονικών μηχανών λόγω θερμικού stress. Λαμβάνοντας υπόψιν τη σχετική οδηγία της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Προστασίας (Environmental Protection Agency)⁶, οι σημαντικότερες αρνητικές επιπτώσεις των ΑΘΝ είναι η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για κλιματισμό, οι υψηλότερες εκπομπές αέριων ρύπων, η υποβάθμιση της δημόσιας υγείας και ποιότητας ζωής και η μείωση της διαθεσιμότητας και ποιότητας του γλυκού νερού.

Τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ μπορεί να συνδυαστούν με περιόδους καύσωνα και ανάμεσα στις άλλες επιπτώσεις να αποφέρουν και οικονομικές απώλειες λόγω της μειωμένης παραγωγικότητας στην εργασία. Σε σχετική έρευνα οι *Zander, et*

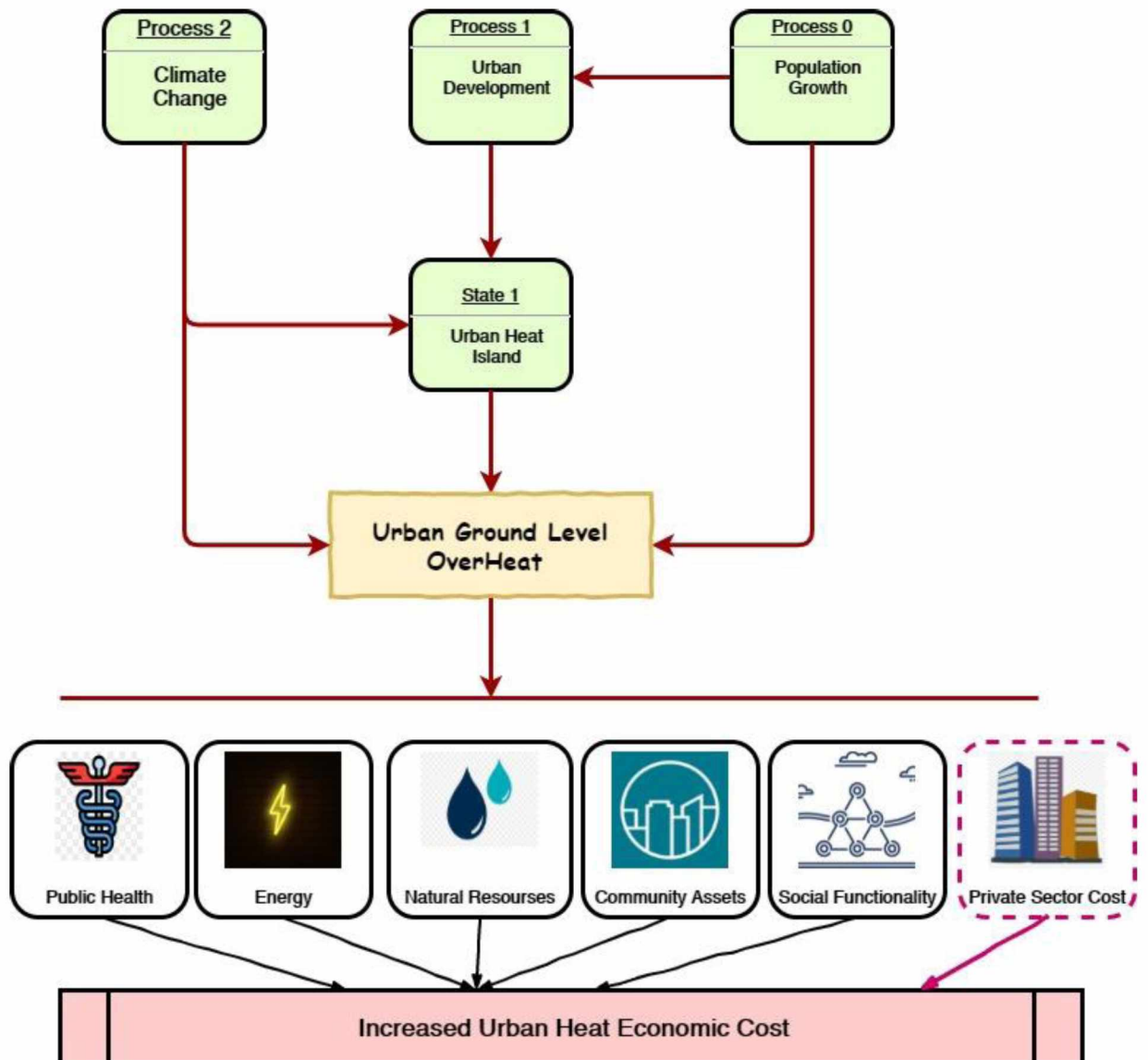
⁶ . US EPA Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Heat Isl. Reduct. Act. 1–23 (2008).

al., (2015), σε ένα σύνολο από 1,214 εργαζόμενους, εκτίμησαν 35% πτώση της παραγωγικότητας στις μέρες στις οποίες ήταν εκτεθειμένοι σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ανέφεραν επίσης πως ήταν λιγότερο παραγωγικοί για 10 μέρες το δωδεκάμηνο και εργάστηκαν 27 ώρες λιγότερο στην ίδια περίοδο. Σε μια ενδιαφέρουσα προσομοίωση κόστους εγκατάστασης και αλλαγής των υλικών κάλυψης των οροφών των οικοδομών με πράσινες ή λευκές σε 3 πόλεις της Αυστρίας, οι *Johnson, et al.*, (2020), βρήκαν ότι τα οφέλη, σε οικονομικό επίπεδο, όντως υπερβάλλουν του κόστους εγκατάστασης. Η αναλογιστική μάλιστα κόστους/ωφέλειας ήταν σε όλες τις περιπτώσεις θετική, υποστηρίζοντας σε οικονομικό επίπεδο τις υλοποιήσεις στρατηγικών σε παραλληλισμό με τα σενάρια αντιμετώπισης των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, που ερευνηθήκαν.

Πίνακας 2. Ομαδοποίηση των κατηγοριών κόστους λόγω των επιπτώσεων των ΑΘΝ

Κοινωνική λειτουργικότητα	Παραγωγικότητα στην εργασία
	Εγκληματικότητα
	Διαβίωση πολιτών
	Μεταφορές και συγκοινωνία
	Δημόσιες δραστηριότητες
	Σημαντικά γεγονότα
Δημόσια Υγεία	Αύξηση συχνότητας νοσηρότητας
	Αύξηση περιστατικών θανάτων
Φυσικοί Πόροι	Αύξηση ζήτησης νερού
	Επιβάρυνση ποιότητας αέρα
Ενέργεια	Αύξηση ζήτησης στις δημόσιες δομές
	Κόστος συντήρησης δικτύου
Δημόσια Περιουσία	Συντήρηση εγκαταστάσεων – κτηρίων
	Συντήρηση δημόσιων χώρων
	Συντήρηση χώρων πρασίνου – αναψυχής
	Φυτικό και ζωικό κεφάλαιο.

Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται οι ομαδοποιήσεις των συντελεστών κόστους όπως αναφέρονται στις σχετικές έρευνες και οι οποίοι αφορούν τους ιδιωτικούς και δημόσιους τομείς. Η ομαδοποίηση αφορά μόνο στα τρέχοντα κόστη και δεν περιέχει πιθανές ανακατασκευές και αλλαγές στα υλικά κάλυψης. Το εννοιολογικό πλαίσιο αλληλεπιδράσεων για την διαμόρφωση των συντελεστών που διαμορφώνουν το κόστος των επιπτώσεων του ΑΘΝ παριστάνεται στο Γράφημα 1. Στις ομάδες περιέχονται όλοι οι συντελεστές που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφική αναζήτηση. Η ομαδοποίηση έγινε με κριτήριο την ελάχιστη δυνατή αλληλεπίδραση μεταξύ των υποομάδων. Αυτός ο διαχωρισμός όμως είναι δύσκολος και σε περιπτώσεις μόνο κατά σύμβαση δυνατός. Π.χ η Δημόσια υγεία και η παραγωγικότητα στην εργασία είναι αυτονόητο πως αλληλεξαρτώνται ακόμα και αν στην αφαιρετική ομαδοποίηση θεωρείται πως όχι.



Διάγραμμα 1. εννοιολογικό πλαίσιο αλληλεπιδράσεων των οντοτήτων που διαμορφώνουν τους τελικούς συντελεστές κόστους (Ίδια κατασκευή και μορφοποίηση)

Στον Πίνακα 3 συνοψίζεται η ενδεικτική βιβλιογραφία στην οποία περιέχονται οι ανάλογοι συντελεστές κόστους από τις επιδράσεις των ΑΘΝ.

Πίνακας 3. Ενδεικτικές αναφορές στη βιβλιογραφία στις οποίες αναφέρονται οι ομάδες των συντελεστών

Κοινωνική λειτουργικότητα	(Cai, et al, 2018)
	(Chakraborty, et al, 2019)
	(Mirzaei, et al, 2020b)
	(Kamruzzaman, et al, 2018)
	(Chakraborty, et al, 2020)
	(Lehoczky, et al, 2017)
Δημόσια Υγεία	(Huang, et al, 2020)
	(Paravantis, et al, 2017)
	(Varquez, et al, 2020)
Φυσικοί Πόροι	(Scott, et al, 2009)
	(Gober, et al, 2010)
	(Di Sabatino, et al, 2020)
Ενέργεια	(Li, et al, 2019)
	(Calice, et al, 2017)
	(Magli, et al, 2015)
Δημόσια Περιουσία	(Miner, et al, 2017)

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο γίνεται η συγκέντρωση των συμπερασμάτων που προέρχονται από την ανασκόπηση της βιβλιογραφία σε ότι αφορά στους συντελεστές που επιδρούν στην αύξηση του κόστους λειτουργίας των αστικών περιοχών, από τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ. Γίνεται συνολική αποτίμηση και προτάσεις για μελλοντική προέκταση της έρευνας.

5.1 Το Κόστος των Επιδράσεων των ΑΘΝ

Συμπερασματικά, είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα (*Grimm, et al., 2008*), τις κλιματολογικές εναλλαγές (*Wunch, et al., 2005*), (*Arnfield, 2003*), (*Yang, et al., 2017*), τη ζήτηση και κατανάλωση της ενέργειας (*Yu, et al., 2020*) και τη δημόσια υγεία (*Liu and Weng, 2012*). Επηρεάζει την οικονομική και κοινωνική ζωή στα αστικά κέντρα (*Grimm, et al., 2008*).

Οι ΑΘΝ είναι ένα από τα παραπροϊόντα, με κλιματολογικές επιδράσεις, του αστικού ανθρώπινου πολιτισμού. Με την αναλογία του παγκόσμιου πληθυσμού που διαβιού σε αστικά κέντρα να αυξάνεται, από 54% που είναι σήμερα, σε 66% - κατ' εκτίμηση - το 2050, η δημιουργία ανθεκτικών πόλεων αποκτά παγκόσμια σημασία. Οι αναλογιστικές οικονομικές σε επίπεδο αναθεώρησης των λειτουργιών των πόλεων, οφείλουν να λαμβάνουν υπόψη την θερμική υποβάθμιση που προέρχεται από τα αποτελέσματα των ΑΘΝ· σε δεύτερο επίπεδο, να προλαμβάνουν μελλοντικές προσθήκες και να περιγράφουν το πλαίσιο κανονισμών, υποκείμενο σε στρατηγικές μείωσης των θερμικών επιδράσεων. Σε αυτή τη λογική οι *Estrada, et al., (2017)*, τόνισαν ότι οι μελέτες που αγνοούν τις τοπικές θερμικές επιδράσεις των ΑΘΝ, είναι πολύ πιθανό να υποεκτιμούν τις κλιματικές επιπτώσεις σε οικονομικό επίπεδο.

Οι τοπικές αστικές κλιματικές αποκλίσεις θερμοκρασίας είναι αποτελέσματα συνεπίδρασης της κλιματικής αλλαγής, των ΑΘΝ και των εποχιακών κλιματικών αποκλίσεων. Υποεκτίμηση του συνολικού φαινομένου της αύξησης της θερμοκρασίας επιφάνειας στα αστικά κέντρα, μπορεί να καταλήξει σε παρεμβάσεις μετριασμού του φαινομένου με αστοχίες και έξω από τους αντικειμενικούς οικονομικούς στόχους. Η ελλιπής αντιμετώπιση της θερμοκρασιακής αύξησης σε επίπεδο πόλης, μπορεί να

οδηγήσει σε μείωση της ανθεκτικότητας των αστικών κέντρων και οικονομικού τύπου απώλειες, με πάγιο χαρακτήρα.

Ο οικονομικός χαρακτήρας του φαινομένου συνδέεται με το επιπλέον κόστος που η ύπαρξη των ΑΘΝ επιφέρει στη λειτουργία των δομών και των δραστηριοτήτων του αστικού κέντρου. Οι εκάστοτε πολιτικές αρχές των πόλεων έχουν την επιφόρτιση να προσαρμόσουν στρατηγικές για τον περιορισμό της συχνότητας, έντασης και διάρκειας των επεισοδίων αυξημένης της θερμοκρασίας. Η κατάστρωση ανάλογων σχεδιασμών με μακροπρόθεσμες αλλά και άμεσης ενέργειας παρεμβάσεις είναι ευκολότερο να υιοθετηθούν από της μικρότερης κλίμακας τοπικές διοικήσεις παρά από το συλλογικό κράτος. Οι τοπικές διοικήσεις είναι πλέον ευέλικτες και μπορούν να είναι καλύτερα ενημερωμένες με τα πραγματικά προβλήματα μια πόλης. Δεν είναι εύκολη διαδικασία η ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ. Σε επίπεδο πόλης για να αξιολογηθούν τα οικονομικά μέτρα νομισματικές μονάδες πρέπει να υπάρχουν αρκετά δεδομένα. Στην κατεύθυνση αυτή, στην παρούσα διατριβή παρουσιάζεται μια προσέγγιση στην κατεύθυνση της συλλογής των βασικών συντελεστών κόστους των ΑΘΝ, όπως αυτοί εντοπίζονται στην βιβλιογραφία. Οι συντελεστές αυτοί, επηρεαζόμενοι από την δράση των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ, συναθροίζουν επιπλέοντα και μη συνυπολογισθέντα κόστη, στην λειτουργία των πόλεων. Η προσέγγιση που παρουσιάζεται, αποτελεί τη βασική διάρθρωση συντελεστών που πρέπει να συμπεριληφθούν σε μελέτες αποτίμησης μελλοντικού ή παρόντος κόστους και να αποσβεστούν με το σχεδιασμό κατάλληλων παρεμβάσεων.

Η ερώτηση που προσπαθεί να απαντήσει η παρούσα εργασία είναι αυτολεξεί η εξής:

Με την προϋπόθεση ύπαρξης ενός ΑΘΝ με γνωστά χαρακτηριστικά, να απαριθμηθούν οι συντελεστές που συνεισφέρουν πρόσθετο κόστος στις λειτουργίες ενός αστικού κέντρου.

Προτάθηκαν πέντε γενικές κατηγορίες τέτοιων συντελεστών: Κοινωνική λειτουργικότητα, Δημόσια Υγεία, Φυσικοί Πόροι, Ενέργεια, Δημόσια Περιουσία. Κάθε ένας από αυτούς αποτελείται από υποπαράγοντες, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. **Η πρακτική αξία μιας τέτοιας ομαδοποίησης βρίσκεται στο ότι παρέχει τους άξονες γύρω από τους οποίους πρέπει να γίνεται η συγκέντρωση πληροφορίας από ιστορικά στοιχεία.** Τα στοιχεία αυτά αφορούν στη συμπεριφορά και την σταθμική αντίδραση των τιμών των συντελεστών κόστους, ανά βαθμό °C. Για παράδειγμα, έστω πως ζητούμενο είναι να αποτιμηθεί το πρόσθετο κόστος που

προέρχεται από την αυξημένη ζήτηση νερού σε περιπτώσεις ακραίων θερμοκρασιών. Από την καταγεγραμμένη ιστορικά πληροφορία έπρεπε να αναζητηθεί η μέση κατανάλωση σε νερό μιας αστικής ζώνης σε περιόδους φυσιολογικής θερμοκρασίας, να αφαιρεθεί από την κατανάλωση σε περιόδους θερμοκρασιακής έξαρσης και η επιπλέον ποσότητα να αναχθεί σε ανά άτομο και ανά βαθμό επιπλέον θερμοκρασίας, όγκο. Με τον τρόπο αυτό ποσοτικοποιούνται και όλοι οι άλλοι συντελεστές κόστους. Η εκτίμηση γίνεται είτε με μοντελοποίηση του ισοζυγίου είτε με προσαρμογή κάποιου στοχαστικού ομοιώματος. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό του κόστους των θανάτων και της νοσηρότητας, οι *Nicholls, et al., (2008)*, συμπέραναν πως τα περιστατικά θανάτων αυξάνουν πέρα από το μέσο όρο, για θερμοκρασίες πάνω από 21.7 °C. Για τη σύνθεση ενός μοντέλου κόστους θανάτου λόγω υψηλών θερμοκρασιών στηρίζεται:

- Στην αξία της στατιστικής ζωής. Η κατανομή δηλαδή του μέσου οικονομικού οφέλους των ατόμων στη διάρκεια της ζωής τους.
- Στο μέσο προσδόκιμο επιβίωσης για αυτούς με ηλικία πάνω από 64 (περίπου 15.1 έτη)
- Στη τιμή του στατιστικού χρόνου επιβίωσης /χρόνο
- Στη στάθμιση του κόστους αυτού για όλους του θανάτους που συμβαίνουν πάνω από το όριο των 21.7. Είναι δυνατή μια εκτίμηση του συνολικού κόστους θανάτων λόγω των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ.

Στα βήματα του παραδείγματος, φαίνεται η διαδικασία με την οποία κατασκευάζεται ένα λογιστικό μοντέλο αποτίμησης κόστους των ΑΘΝ. Απαραίτητο στάδιο είναι η ύπαρξη κατάλληλων δεδομένων. Σε άλλη περίπτωση, η αποτίμηση των παραμέτρων έχει εμπειρικό χαρακτήρα και είναι κατά εκτίμηση.

Για κάθε μια ομάδα συντελεστών κόστους αποτιμάται ξεχωριστά το συνολικό της κόστος και από την συνάθροιση υπολογίζεται το ολικό κόστος των θερμικών αποτελεσμάτων.

5.2 Προεκτάσεις Και Μελλοντική Έρευνα

Το χαρακτηριστικό που οι πόλεις οφείλουν να διαφυλάσσουν και να παρέχουν στον πληθυσμό τους είναι η εξασφάλιση καλής λειτουργίας των κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων. Οριακές κλιματολογικές συνθήκες αντιπροσωπεύουν ζώνες που οι συντελεστές κόστους επιβαρύνονται, δυσχεραίνει η ζωή στην πόλη και ανεβαίνουν τα κόστη παραγωγής και διαβίωσης. Επιπλέον, οριακές

θερμοκρασιακές συνθήκες, αποτελούν ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα για όλες τις δραστηριότητες που βασίζονται σε προβλέψιμο και μικρής διακύμανσης κλίμα. Ακραίες συμπεριφορές του κλίματος συνδέονται με ακραίες μεταστροφές του. Πολύ θερμές περιόδους συνοδεύονται από ατμοσφαιρικές αναταράξεις και υψηλές βροχοπτώσεις που καταλήγουν σε πλημμύρες στα αστικά κέντρα. Η τυποποίηση σχεδίων και πρακτικών μείωσης των θερμικών αποτελεσμάτων των ΑΘΝ οφείλει να βρίσκεται μέσα στους σχεδιασμούς μιας εκλεγμένης διοίκησης μιας μεγαλούπολης. Αυτό βασίζεται σε μακρόπνοο σχεδιασμό και διαρθρωτικές αλλαγές με κίνητρα χρηματοδότησης στους ιδιώτες. Πεδίο έρευνας είναι και το κατά πόσο αυτά τα σχέδια θα έχουν την επιθυμητή αποδοχή και αποτελέσματα. Από την βιβλιογραφία φαίνεται πως η εφαρμογή σχεδίων αντιμετώπισης ακραίων θερμικών επεισοδίων, βελτίωσαν το σύστημα υγείας, έφεραν υψηλότερους βαθμούς ετοιμότητας στις υπηρεσίες πολιτικής ασφάλειας και παρατηρήθηκαν μειώσεις θανάτων από θερμικά (Toloo, et al., 2013). Ειδικότερα στον αναπτυσσόμενο κόσμο, σχέδια για τη μείωση των κλιματολογικών ακραίων τιμών μπορούν να αναπτυχθούν περαιτέρω, με την παροχή δυνατότητας της πρόσβασης σε καταφύγια και επαφή με υπηρεσίες κοινωνικής ωφέλειας για την παροχή βοήθειας κατ' οίκων (Kravchenko, et al., 2013).

Το κρίσιμο μέγεθος για τη κατάστροφη αξιόπιστων σχεδίων μετρίασης των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ είναι η ύπαρξη δεδομένων. Αξιόπιστα δεδομένα σε κρίσιμες παραμέτρους όπως κλιματολογικά, κοινωνικά όπως η μέση μετακίνηση των εργαζομένων στην πόλη και τα ποσοστά εγκληματικότητας, φτώχειας, κατανομής εισοδήματος, κυκλοφοριακά, όπως η απόσταση και χρόνος των οχημάτων μέσα στην πόλη. Όλα αυτά τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν ώστε να διαμορφωθούν μοντέλα εξειδικευμένα για κάθε αστικό κέντρο και ομάδα πληθυσμού χωριστά (Gronlund, et al., 2014). Έχοντας ως προοπτική πως ο πληθυσμός στον αναπτυσσόμενο κόσμο είναι γερασμένος, ειδικές ανάγκες θα εμφανίζονται όλο και συχνότερα για μεγαλύτερες ομάδες ατόμων και οι εξαρτήσεις που αναμένονται από τις κλιματικές αλλαγές θα έχουν συνεχώς ευρύτερες επιπτώσεις αν δεν υιοθετηθούν πολιτικές και στρατηγικές ανάσχεσης (Banwell, et al., 2012).

Ειδικότερα για τον Ελληνικό χώρο, δεν μπορούμε να καταδείξουμε εμφανέστερο παράδειγμα από την περιοχή της ευρύτερης Αττικής στην οποία έχει μετοικήσει το 40 με 50 % του πληθυσμού της χώρας. Παρά το γεγονός ότι προβλήματα ακραίων θερμοκρασιών έχουν αφανιστεί, δεν υπάρχει ούτε λειτουργεί συγκεκριμένο σχέδιο μείωσης των θερμικών αποτελεσμάτων της κλιματικής αλλαγής και των ΑΘΝ. Μια πιθανή προέκταση της παρούσας έρευνας θα μπορούσε να είναι η επισήμανση και

χαρτογράφηση του κόστους των θερμικών αποτελεσμάτων ΑΘΝ στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AboElata, A. A. A. (2017) 'Study the Vegetation as Urban Strategy to Mitigate Urban Heat Island in Mega City Cairo', *Procedia Environmental Sciences*, 37, pp. 386–395. doi: 10.1016/j.proenv.2017.03.004.

Abulibdeh, A. (2021) 'Analysis of urban heat island characteristics and mitigation strategies for eight arid and semi-arid gulf region cities', *Environmental Earth Sciences*. Springer Berlin Heidelberg, 80(7), pp. 1–26. doi: 10.1007/s12665-021-09540-7.

Achmad, A., Zainuddin and Muftiadi, M. (2019) 'The relationship between land surface temperature and water index in the urban area of a tropical city', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 365(1). doi: 10.1088/1755-1315/365/1/012013.

Aflaki, A. *et al.* (2017) 'Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong', *Cities*, 62, pp. 131–145. doi: 10.1016/j.cities.2016.09.003.

Akbari, H. and Kolokotsa, D. (2016) 'Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 133, pp. 834–842. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.09.067.

Akbari, H. and Konopacki, S. (2005) 'Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies', *Energy Policy*, 33(6), pp. 721–756. doi: 10.1016/j.enpol.2003.10.001.

Alderton, A. *et al.* (2019) 'What is the meaning of urban liveability for a city in a low-to-middle-income country? Contextualising liveability for Bangkok, Thailand', *Globalization and Health*. Globalization and Health, 15(1), pp. 1–13. doi: 10.1186/s12992-019-0484-8.

Amorim, M. C. de C. T. and Dubreuil, V. (2017) 'Intensity of urban heat islands in tropical and temperate climates', *Climate*, 5(4). doi: 10.3390/cli5040091.

Andoni, H. and Wonorahardjo, S. (2018) 'A Review on Mitigation Technologies for Controlling Urban Heat Island Effect in Housing and Settlement Areas', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 152(1). doi: 10.1088/1755-1315/152/1/012027.

Añel, J. A. (2016) 'Atmospheric ozone: historical background and state-of-the-art: A review of Ozone in the atmosphere: basic principles, natural and human impacts, by P. Fabian and M. Dameris.', *Contemporary Physics*. Taylor & Francis, 57(3), pp. 417–420. doi: 10.1080/00107514.2016.1156748.

Arifwidodo, S. D. (2015) 'Factors contributing to urban heat Island in Bangkok, Thailand', *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(15), pp. 6435–6439.

Arnfield, A. J. (2003) 'Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island', *International Journal of Climatology*, 23(1), pp. 1–26. doi: 10.1002/joc.859.

Ayanlade, A. (2016) 'Variation in diurnal and seasonal urban land surface temperature: landuse change impacts assessment over Lagos metropolitan city', *Modeling Earth Systems and Environment*. Springer International Publishing, 2(4), pp. 1–8. doi: 10.1007/s40808-016-0238-z.

Banwell, C. *et al.* (2012) 'Socio-cultural reflections on heat in Australia with implications for health and climate change adaptation', *Global Health Action*, 5(1). doi: 10.3402/gha.v5i0.19277.

Barriopedro, D. *et al.* (2011) 'The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe', *Science*, 332(6026), pp. 220–224. doi: 10.1126/science.1201224.

Basara, J. B. *et al.* (2010) 'The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City', *Advances in Meteorology*, 2010, pp. 1–10. doi: 10.1155/2010/230365.

Bassett, R. *et al.* (2020) 'Urbanisation's contribution to climate warming in Great Britain', *Environmental Research Letters*, 15(11). doi: 10.1088/1748-9326/abbb51.

Battista, G. *et al.* (2020) ‘Urban heat island mitigation strategies: Experimental and numerical analysis of a university campus in Rome (Italy)’, *Sustainability (Switzerland)*, 12(19), pp. 1–18. doi: 10.3390/su12197971.

Bechtel, B. *et al.* (2019) ‘SUHI analysis using Local Climate Zones—A comparison of 50 cities’, *Urban Climate*. Elsevier, 28(July 2018), p. 100451. doi: 10.1016/j.uclim.2019.01.005.

Cai, X., Lu, Y. and Wang, J. (2018) ‘The impact of temperature on manufacturing worker productivity: Evidence from personnel data’, *Journal of Comparative Economics*, 46(4), pp. 889–905. doi: 10.1016/j.jce.2018.06.003.

Calice, C. *et al.* (2017) ‘Urban Heat Island Effect on the Energy Consumption of Institutional Buildings in Rome’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(8). doi: 10.1088/1757-899X/245/8/082015.

Cao, L., Li, P. and Zhang, L. (2008) ‘Impact of impervious surface on urban heat island in Wuhan, China’, *International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA)*, 7285(March 2015), p. 72855H. doi: 10.1117/12.815911.

Carneiro, E., Lopes, W. and Espindola, G. (2021) ‘Linking urban sprawl and surface urban heat island in the teresina–timon conurbation area in Brazil’, *Land*, 10(5). doi: 10.3390/land10050516.

Chakraborty, T. *et al.* (2019) ‘Disproportionately higher exposure to urban heat in lower-income neighborhoods: A multi-city perspective’, *Environmental Research Letters*. IOP Publishing, 14(10). doi: 10.1088/1748-9326/ab3b99.

Chakraborty, T. and Lee, X. (2019) ‘A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability’, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier, 74(October 2018), pp. 269–280. doi: 10.1016/j.jag.2018.09.015.

Chakraborty, T., Northwest, P. and Sarangi, C. (2020) ‘A Reduction in Human Activities can Enhance the Urban Heat Island Intensity : Insights from the COVID-19

Lockdowns Reduction in human activity can enhance the urban heat island : insights from the COVID-19 lockdown’, (December).

Chapman, S. *et al.* (2019) ‘The impact of climate change and urban growth on urban climate and heat stress in a subtropical city’, *International Journal of Climatology*, 39(6), pp. 3013–3030. doi: 10.1002/joc.5998.

Chen, L. *et al.* (2012) ‘Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: A GIS-based simulation approach’, *International Journal of Climatology*, 32(1), pp. 121–136. doi: 10.1002/joc.2243.

Christian, H. *et al.* (2017) ‘A longitudinal analysis of the influence of the neighborhood environment on recreational walking within the neighborhood: Results from RESIDE’, *Environmental Health Perspectives*, 125(7), pp. 1–10. doi: 10.1289/EHP823.

Di Clemente, R., Strano, E. and Batty, M. (2021) ‘Urbanization and economic complexity’, *Scientific Reports*. Nature Publishing Group UK, 11(1), pp. 1–10. doi: 10.1038/s41598-021-83238-5.

Colunga, M. L. *et al.* (2015) ‘The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico’, *Atmosfera*, 28(3), pp. 205–218. doi: 10.20937/ATM.2015.28.03.05.

Cui, N. *et al.* (2019) ‘Impact of urbanization on ecosystem health: A case study in Zhuhai, China’, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23). doi: 10.3390/ijerph16234717.

Cui, Y. *et al.* (2016) ‘Influence of urbanization factors on surface urban heat island intensity: A comparison of countries at different developmental phases’, *Sustainability (Switzerland)*, 8(8). doi: 10.3390/su8080706.

Curriero, F. C. *et al.* (2002) ‘Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States’, *American Journal of Epidemiology*, 155(1), pp. 80–87. doi: 10.1093/aje/155.1.80.

Declet-Barreto, J. *et al.* (2013) 'Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: Heat mitigation strategy for Phoenix, AZ', *Urban Ecosystems*, 16(3), pp. 617–635. doi: 10.1007/s11252-012-0278-8.

Derdouri, A., Wang, R. and Murayama, Y. (2021) 'Understanding the Links between LULC Changes and SUHI in Cities : Insights from Two-Decadal Studies (2001 – 2020)'.

Dewan, A. *et al.* (2021) 'Surface urban heat island intensity in five major cities of Bangladesh: Patterns, drivers and trends', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier Ltd, 71(December 2020), p. 102926. doi: 10.1016/j.scs.2021.102926.

Dissanayake, D. *et al.* (2019) 'Impact of urban surface characteristics and socio-economic variables on the spatial variation of land surface temperature in Lagos City, Nigeria', *Sustainability (Switzerland)*, 11(1). doi: 10.3390/su11010025.

Doulos, L., Santamouris, M. and Livada, I. (2004) 'Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials', *Solar Energy*, 77(2), pp. 231–249. doi: 10.1016/j.solener.2004.04.005.

Elliot, A. J. *et al.* (2014) 'Using real-time syndromic surveillance to assess the health impact of the 2013 heatwave in England', *Environmental Research*. Elsevier, 135, pp. 31–36. doi: 10.1016/j.envres.2014.08.031.

Estoque, R. C. and Murayama, Y. (2017) 'Monitoring surface urban heat island formation in a tropical mountain city using Landsat data (1987–2015)', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (ISPRS), 133, pp. 18–29. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.09.008.

Estrada, F., Botzen, W. J. W. and Tol, R. S. J. (2017) 'A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts', *Nature Climate Change*, 7(6), pp. 403–406. doi: 10.1038/nclimate3301.

Feyisa, G. L., Dons, K. and Meilby, H. (2014) 'Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa', *Landscape and Urban Planning*. Elsevier B.V., 123, pp. 87–95. doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.12.008.

Field, S. (1992) 'The Effect of Temperature on Insulin', *BRIT.J. CRIMINOL.* *V*, 32(3), p. 340. doi: 10.1177/014572178601200124.

Founda, D. and Santamouris, M. (2017) 'Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012)', *Scientific Reports*. Springer US, 7(1), pp. 1–11. doi: 10.1038/s41598-017-11407-6.

Frank, L. *et al.* (2006) 'Many Pathways from Land Use to Health and Air Quality', *Journal of the American Planning Association*, 72(No. 1), pp. 75–87.

Gadrani, L., Lominadze, G. and Tsitsagi, M. (2018) 'F assessment of landuse/landcover (LULC) change of Tbilisi and surrounding area using remote sensing (RS) and GIS', *Annals of Agrarian Science*. Agricultural University of Georgia, 16(2), pp. 163–169. doi: 10.1016/j.aasci.2018.02.005.

Gasparrini, A., Guo, Y. and Hashizume, M. (2015) 'Mortalité attributable au froid et à la chaleur : Analyse multi-pays', *Environnement, Risques et Sante*, 14(6), pp. 464–465. doi: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0.

Ghosh, S. and Das, A. (2018) 'Modelling urban cooling island impact of green space and water bodies on surface urban heat island in a continuously developing urban area', *Modeling Earth Systems and Environment*. Springer International Publishing, 4(2), pp. 501–515. doi: 10.1007/s40808-018-0456-7.

Giles-Corti, B. *et al.* (2010) 'The co-benefits for health of investing in active transportation', *New South Wales Public Health Bulletin*, 21(5–6), pp. 122–127. doi: 10.1071/NB10027.

Giles-Corti, B. *et al.* (2016) 'City planning and population health: a global challenge', *The Lancet*. Elsevier Ltd, 388(10062), pp. 2912–2924. doi: 10.1016/S0140-6736(16)30066-6.

Gober, P. *et al.* (2010) 'Using watered landscapes to manipulate urban heat island effects: How much water will it take to cool phoenix?', *Journal of the American Planning Association*, 76(1), pp. 109–121. doi: 10.1080/01944360903433113.

Grawe, D. *et al.* (2013) 'Modelling the impact of urbanisation on regional climate in the Greater London Area', *International Journal of Climatology*, 33(10), pp. 2388–2401. doi: 10.1002/joc.3589.

Grimm, N. B. *et al.* (2008) 'The changing landscape: Ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(5), pp. 264–272. doi: 10.1890/070147.

Gronlund, C. J. *et al.* (2014) 'Heat, heat waves, and hospital admissions among the elderly in the United States, 1992–2006', *Environmental Health Perspectives*, 122(11), pp. 1187–1192. doi: 10.1289/ehp.1206132.

Grossman-Clarke, S. *et al.* (2010) 'Contribution of land use changes to near-surface air temperatures during recent summer extreme heat events in the Phoenix metropolitan area', *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(8), pp. 1649–1664. doi: 10.1175/2010JAMC2362.1.

Guhathakurta, S. and Gober, P. (2010) 'Residential land use, the Urban heat island, and water use in phoenix: A path analysis', *Journal of Planning Education and Research*, 30(1), pp. 40–51. doi: 10.1177/0739456X10374187.

Gunawardena, K. R., Wells, M. J. and Kershaw, T. (2017) 'Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity', *Science of the Total Environment*. The Author(s), 584–585, pp. 1040–1055. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.158.

Harman, I. N. and Belcher, S. E. (2006) 'The surface energy balance and boundary layer over urban street canyons', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132(621), pp. 2749–2768. doi: 10.1256/qj.05.185.

Harp, R. D. and Karnauskas, K. B. (2020) 'Global warming to increase violent crime in the United States', *Environmental Research Letters*. IOP Publishing, 15(3). doi: 10.1088/1748-9326/ab6b37.

Hartig, T. and Kahn, P. (2016) 'Living in cities, naturally', *Science*, 352(6288), pp. 938–940. doi: doi.org/10.1126/science.aaf3759.

Hassan, T. *et al.* (2021) ‘Surface urban heat islands dynamics in response to land use and vegetation across south asia (2000–2019)’, *Remote Sensing*, 13(16), pp. 1–24. doi: 10.3390/rs13163177.

Heaviside, C., Macintyre, H. and Vardoulakis, S. (2017) ‘The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment’, *Current environmental health reports*. Current Environmental Health Reports, 4(3), pp. 296–305. doi: 10.1007/s40572-017-0150-3.

Heusinkveld, G. B. *et al.* (2014) ‘Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use’, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(3), pp. 677–692. doi: 10.1002/2012JD019399.

Higgs, C. *et al.* (2019) ‘The Urban Liveability Index: Developing a policy-relevant urban liveability composite measure and evaluating associations with transport mode choice’, *International Journal of Health Geographics*. BioMed Central, 18(1), pp. 1–25. doi: 10.1186/s12942-019-0178-8.

Hirsch, J. A. *et al.* (2014) ‘Changes in the built environment and changes in the amount of walking over time: Longitudinal results from the Multi-Ethnic study of Atherosclerosis’, *American Journal of Epidemiology*, 180(8), pp. 799–809. doi: 10.1093/aje/kwu218.

Hoffmann, P., Schoetter, R. and Schlünzen, K. H. (2018) ‘Statistical-dynamical downscaling of the urban heat island in Hamburg, Germany’, *Meteorologische Zeitschrift*, 27(2), pp. 89–109. doi: 10.1127/metz/2016/0773.

Hofstad, H. *et al.* (2021) ‘The role of goal-setting in urban climate governance’, *Earth System Governance*. Elsevier Ltd, 7(March), p. 100088. doi: 10.1016/j.esg.2020.100088.

Hong, J. W. *et al.* (2019) ‘Temporal dynamics of urban heat island correlated with the socio-economic development over the past half-century in Seoul, Korea’, *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 254, p. 112934. doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.102.

- Hsu, A. *et al.* (2021) ‘Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities’, *Nature Communications*. Springer US, 12(1), pp. 1–11. doi: 10.1038/s41467-021-22799-5.
- Hu, X. M. *et al.* (2013) ‘Impact of low-level jets on the nocturnal urban heat island intensity in Oklahoma city’, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(8), pp. 1779–1802. doi: 10.1175/JAMC-D-12-0256.1.
- Hua, A. K. (2017) ‘Land Use Land Cover Changes in Detection of Water Quality: A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistics’, *Journal of Environmental and Public Health*, 2017, pp. 5–7. doi: 10.1155/2017/7515130.
- Hua, L. *et al.* (2020) ‘The impacts of the expansion of urban impervious surfaces on urban heat islands in a coastal city in China’, *Sustainability (Switzerland)*, 12(2). doi: 10.3390/su12020475.
- Huang, H. *et al.* (2020) ‘Spatio-temporal mechanism underlying the effect of urban heat island on cardiovascular diseases’, *Iranian Journal of Public Health*, 49(8), pp. 1455–1466. doi: 10.18502/ijph.v49i8.3889.
- Huang, J. M. *et al.* (2021) ‘Canopy-scale built-environment characteristics and urban heat island effect in a tropical medium-sized city’, *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), pp. 1–17. doi: 10.3390/su13020868.
- Ibrahim, S. H. *et al.* (2018) ‘The impact of road pavement on urban heat island (UHI) phenomenon’, *International Journal of Technology*, 9(8), pp. 1597–1608. doi: 10.14716/ijtech.v9i8.2755.
- Imhoff, M. L. *et al.* (2010) ‘Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA’, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier B.V., 114(3), pp. 504–513. doi: 10.1016/j.rse.2009.10.008.
- Izakovičová, Z., Mederly, P. and Petrovič, F. (2017) ‘Long-term land use changes driven by urbanisation and their environmental effects (example of Trnava City, Slovakia)’, *Sustainability (Switzerland)*, 9(9). doi: 10.3390/su9091553.
- Jacobs, C. *et al.* (2020) ‘Are urban water bodies really cooling?’, *Urban Climate*. Elsevier, 32(February), p. 100607. doi: 10.1016/j.uclim.2020.100607.

Jamei, Y., Rajagopalan, P. and Sun, Q. (Chayn) (2019) ‘Spatial structure of surface urban heat island and its relationship with vegetation and built-up areas in Melbourne, Australia’, *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 659, pp. 1335–1351. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.308.

Johnson, D. *et al.* (2020) ‘A cost–benefit analysis of implementing urban heat island adaptation measures in small- and medium-sized cities in Austria’, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 0(0), pp. 1–20. doi: 10.1177/2399808320974689.

Kabano, P., Lindley, S. and Harris, A. (2021) ‘Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city’, *Landscape and Urban Planning*. Elsevier B.V., 206(November 2020), p. 103989. doi: 10.1016/j.landurbplan.2020.103989.

Kaloustian, N., Bitar, H. and Diab, Y. (2016) ‘Urban Heat Island and Urban Planning in Beirut’, *Procedia Engineering*, 169, pp. 72–79. doi: 10.1016/j.proeng.2016.10.009.

Kamruzzaman, M., Deilami, K. and Yigitcanlar, T. (2018) ‘Investigating the urban heat island effect of transit oriented development in Brisbane’, *Journal of Transport Geography*. Elsevier, 66(May 2017), pp. 116–124. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2017.11.016.

Kardan, O. *et al.* (2015) ‘Neighborhood greenspace and health in a large urban center’, *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 5, pp. 1–14. doi: 10.1038/srep11610.

Keramitsoglou, I. *et al.* (2012) ‘Evaluation of satellite-derived products for the characterization of the urban thermal environment’, *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1), p. 061704. doi: 10.1117/1.jrs.6.061704.

Khorrami, Z. *et al.* (2021) ‘The indicators and methods used for measuring urban liveability: A scoping review’, *Reviews on Environmental Health*, 36(3), pp. 397–441. doi: 10.1515/reveh-2020-0097.

Kim, S. W. and Brown, R. D. (2021) 'Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 779, p. 146389. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146389.

Kleerekoper, L., Van Esch, M. and Salcedo, T. B. (2012) 'How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 64, pp. 30–38. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.06.004.

Koopmans, S. *et al.* (2014) 'Modelling the influence of urbanization on the 20th century temperature record of weather station De Bilt (The Netherlands)', *International Journal of Climatology*, 35(8), pp. 1732–1748. doi: 10.1002/joc.4087.

Kotharkar, R., Ramesh, A. and Bagade, A. (2018) 'Urban Heat Island studies in South Asia: A critical review', *Urban Climate*. Elsevier, 24(October 2017), pp. 1011–1026. doi: 10.1016/j.uclim.2017.12.006.

Kotharkar, R. and Surawar, M. (2016) 'Land Use, Land Cover, and Population Density Impact on the Formation of Canopy Urban Heat Islands through Traverse Survey in the Nagpur Urban Area, India', *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), p. 04015003. doi: 10.1061/(asce)up.1943-5444.0000277.

Kravchenko, J. *et al.* (2013) 'Minimization of heatwave morbidity and mortality', *American Journal of Preventive Medicine*. Elsevier Inc., 44(3), pp. 274–282. doi: 10.1016/j.amepre.2012.11.015.

Kuddus, M. A., Tynan, E. and McBryde, E. (2020) 'Urbanization: A problem for the rich and the poor?', *Public Health Reviews*. Public Health Reviews, 41(1), pp. 1–4. doi: 10.1186/s40985-019-0116-0.

Lai, D. *et al.* (2019) 'A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 661, pp. 337–353. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.062.

Leal Filho, W. *et al.* (2021) 'Addressing the urban heat islands effect: A cross-country assessment of the role of green infrastructure', *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), pp. 1–20. doi: 10.3390/su13020753.

Lee, K. *et al.* (2020) ‘Trend analysis of urban heat island intensity according to urban area change in Asian mega cities’, *40th Asian Conference on Remote Sensing, ACRS 2019: Progress of Remote Sensing Technology for Smart Future*.

Lee, Y. Y. *et al.* (2017) ‘Overview of Urban Heat Island (UHI) phenomenon towards human thermal comfort’, *Environmental Engineering and Management Journal*, 16(9), pp. 2097–2112. doi: 10.30638/eemj.2017.217.

Lehoczky, A. *et al.* (2017) ‘The Urban Heat Island Effect in the City of Valencia: A Case Study for Hot Summer Days’, *Urban Science*, 1(1), p. 9. doi: 10.3390/urbansci1010009.

Li, H. *et al.* (2018) ‘Interaction between urban heat island and urban pollution island during summer in Berlin’, *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 636, pp. 818–828. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.254.

Li, J. *et al.* (2020) ‘Observed Relationships Between the Urban Heat Island, Urban Pollution Island, and Downward Longwave Radiation in the Beijing Area’, *Earth and Space Science*, 7(6). doi: 10.1029/2020EA001100.

Li, J. and Donn, M. (2017) ‘The influence of building height variability on natural ventilation and neighbor buildings in dense urban areas Architecture School , Victoria University of Wellington , Wellington , New Zealand Abstract’, pp. 2398–2406.

Li, S. *et al.* (2018) ‘Impacts of land-use and land-cover changes on water yield: A case study in Jing-Jin-Ji, China’, *Sustainability (Switzerland)*, 10(4), pp. 1–16. doi: 10.3390/su10040960.

Li, X. *et al.* (2019) ‘Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings’, *Energy*. Elsevier Ltd, 174, pp. 407–419. doi: 10.1016/j.energy.2019.02.183.

Li, X. *et al.* (2021) ‘How urbanisation alters the intensity of the Urban heat island in a tropical African city’, *PLoS ONE*, 16(7 July), pp. 1–18. doi: 10.1371/journal.pone.0254371.

Li, Y. *et al.* (2020) ‘On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity’, *Nature Communications*. Springer US, 11(1), pp. 1–9. doi: 10.1038/s41467-020-16461-9.

Liang, L., Wang, Z. and Li, J. (2019) ‘The effect of urbanization on environmental pollution in rapidly developing urban agglomerations’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 237, p. 117649. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117649.

Litardo, J. *et al.* (2020) ‘Urban Heat Island intensity and buildings’ energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies’, *Sustainable Cities and Society*. Elsevier, 62(February), p. 102387. doi: 10.1016/j.scs.2020.102387.

Liu, H. and Weng, Q. (2012) ‘Enhancing temporal resolution of satellite imagery for public health studies: A case study of West Nile Virus outbreak in Los Angeles in 2007’, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier B.V., 117, pp. 57–71. doi: 10.1016/j.rse.2011.06.023.

Louiza, H., Zérual, A. and Djamel, H. (2015) ‘Impact of the Transport on the Urban Heat Island’, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(3), pp. 252–263. doi: 10.7708/ijtte.2015.5(3).03.

Magli, S. *et al.* (2015) ‘Analysis of the urban heat island effects on building energy consumption’, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 6(1), pp. 91–99. doi: 10.1007/s40095-014-0154-9.

Mallick, J. and Rahman, A. (2012) ‘Impact of population density on the surface temperature and micro-climate of Delhi’, *Current Science*, 102(12), pp. 1708–1713.

Manteghi, G., Bin Limit, H. and Remaz, D. (2015) ‘Water bodies an urban microclimate: A review’, *Modern Applied Science*, 9(6), pp. 1–12. doi: 10.5539/mas.v9n6p1.

Marelle, L. *et al.* (2020) ‘Urbanization in megacities increases the frequency of extreme precipitation events far more than their intensity’, *Environmental Research Letters*, 15(12). doi: 10.1088/1748-9326/abcc8f.

Mares, D. (2013) 'Climate change and crime: Monthly temperature and precipitation anomalies and crime rates in St. Louis, MO 1990-2009', *Crime, Law and Social Change*, 59(2), pp. 185–208. doi: 10.1007/s10611-013-9411-8.

Mares, D. M. and Moffett, K. W. (2019) 'Climate Change and Crime Revisited: An Exploration of Monthly Temperature Anomalies and UCR Crime Data', *Environment and Behavior*, 51(5), pp. 502–529. doi: 10.1177/0013916518781197.

Masson, V. *et al.* (2020) 'Urban climates and climate change', *Annual Review of Environment and Resources*, 45, pp. 411–444. doi: 10.1146/annurev-environ-012320-083623.

Mathew, A., Khandelwal, S. and Kaul, N. (2016) 'Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature: Study of Chandigarh city, India', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier B.V., 26, pp. 264–277. doi: 10.1016/j.scs.2016.06.018.

McCosker, A., Matan, A. and Marinova, D. (2018) 'Implementing Healthy Planning and Active Living Initiatives: A Virtuous Cycle', *Urban Science*, 2(2), p. 30. doi: 10.3390/urbansci2020030.

Mehmood, R. *et al.* (2017) 'Appraisal of Urban Heat Island and Its Impacts on Environment Using Landsat TM in Peshawar, Pakistan', *Advances in Remote Sensing*, 06(03), pp. 192–200. doi: 10.4236/ars.2017.63014.

Miles, V. and Esau, I. (2017) 'Seasonal and spatial characteristics of Urban Heat Islands (UHIs) in northern West Siberian cities', *Remote Sensing*, 9(10). doi: 10.3390/rs9100989.

Miner, M. J. *et al.* (2017) 'Efficiency, economics, and the urban heat island', *Environment and Urbanization*, 29(1), pp. 183–194. doi: 10.1177/0956247816655676.

Mirzaei, M. *et al.* (2020a) 'Urban heat island monitoring and impacts on citizen's general health status in Isfahan metropolis: A remote sensing and field survey approach', *Remote Sensing*, 12(8), pp. 1–17. doi: 10.3390/RS12081350.

Mirzaei, M. *et al.* (2020b) ‘Urban heat island monitoring and impacts on citizen’s general health status in Isfahan metropolis: A remote sensing and field survey approach’, *Remote Sensing*, 12(8). doi: 10.3390/RS12081350.

Mirzaei, P. A. and Haghghat, F. (2010) ‘Approaches to study Urban Heat Island - Abilities and limitations’, *Building and Environment*. Elsevier Ltd, 45(10), pp. 2192–2201. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.04.001.

Mohajerani, A., Bakaric, J. and Jeffrey-Bailey, T. (2017) ‘The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete’, *Journal of Environmental Management*, 197(April), pp. 522–538. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.095.

Mohamed, A. A., Odindi, J. and Mutanga, O. (2017) ‘Land surface temperature and emissivity estimation for Urban Heat Island assessment using medium- and low-resolution space-borne sensors: A review’, *Geocarto International*. Taylor & Francis, 32(4), pp. 455–470. doi: 10.1080/10106049.2016.1155657.

Mohan, M. *et al.* (2020) ‘Industrial heat island: a case study of Angul-Talcher region in India’, *Theoretical and Applied Climatology*. Theoretical and Applied Climatology, 141(1–2), pp. 229–246. doi: 10.1007/s00704-020-03181-9.

Mostovoy, G. V. *et al.* (2006) ‘Statistical estimation of daily maximum and minimum air temperatures from MODIS LST data over the State of Mississippi’, *GIScience and Remote Sensing*, 43(1), pp. 78–110. doi: 10.2747/1548-1603.43.1.78.

De Munck, C. *et al.* (2013) ‘How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France?’, *International Journal of Climatology*, 33(1), pp. 210–227. doi: 10.1002/joc.3415.

Naikoo, M. W. *et al.* (2020) ‘Analyses of land use land cover (LULC) change and built-up expansion in the suburb of a metropolitan city: Spatio-temporal analysis of Delhi NCR using landsat datasets’, *Journal of Urban Management*. Elsevier B.V., 9(3), pp. 347–359. doi: 10.1016/j.jum.2020.05.004.

Ngie, A. *et al.* (2014) ‘Assessment of urban heat island using satellite remotely sensed imagery: A review’, *South African Geographical Journal*, 96(2), pp. 198–214. doi: 10.1080/03736245.2014.924864.

Ngie, A. (2020) 'THERMAL REMOTE SENSING of URBAN CLIMATES in SOUTH Africa through the MONO-WINDOW ALGORITHM', *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3/W11), pp. 117–123. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W11-117-2020.

Nguyen, H. T. T., Van Nguyen, Chau and Van Nguyen, Cong (2020) 'The effect of economic growth and urbanization on poverty reduction in Vietnam', *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(7), pp. 229–239. doi: 10.13106/jafeb.2020.vol7.no7.229.

Nichol, J. (2005) 'Remote sensing of urban heat islands by day and night', *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(5), pp. 613–621. doi: 10.14358/PERS.71.5.613.

Nicholls, N. *et al.* (2008) 'A simple heat alert system for Melbourne, Australia', *International Journal of Biometeorology*, 52(5), pp. 375–384. doi: 10.1007/s00484-007-0132-5.

Ningrum, W. (2018) 'Urban Heat Island towards Urban Climate', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1). doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012048.

O'Malley, C. *et al.* (2014) 'An investigation into minimizing urban heat island (UHI) effects: A UK perspective', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 62(0), pp. 72–80. doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.368.

Oke, T. R. (1982) 'The energetic basis of the urban heat island (Symons Memorial Lecture, 20 May 1980).', *Quarterly Journal, Royal Meteorological Society*, 108(455), pp. 1–24.

de Oliveira Souto, J. I. and Cohen, J. C. P. (2021) 'Spatiotemporal variability of urban heat island: Influence of urbanization on seasonal pattern of land surface temperature in the Metropolitan Region of Belém, Brazil', *Urbe*, 13. doi: 10.1590/2175-3369.013.E20200260.

Olivieri, F. *et al.* (2013) 'Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal

climate', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 63, pp. 1–14. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.03.054.

Paravantis, J. *et al.* (2017) 'Mortality associated with high ambient temperatures, heatwaves, and the urban heat island in Athens, Greece', *Sustainability (Switzerland)*, 9(4). doi: 10.3390/su9040606.

Paschalis, A. *et al.* (2021) 'Urban Forests as Main Regulator of the Evaporative Cooling Effect in Cities', *AGU Advances*, 2(2). doi: 10.1029/2020av000303.

Patra, S. *et al.* (2018) 'Impacts of urbanization on land use /cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level', *Journal of Urban Management*. Elsevier B.V., 7(2), pp. 70–84. doi: 10.1016/j.jum.2018.04.006.

Pechan, A. and Eisenack, K. (2013) 'The impact of heat waves on electricity spot markets Anna', *Oldenburg Discussion Papers in Economics*, V-357–13. doi: <http://hdl.handle.net/10419/105046>.

Pena Acosta, M. *et al.* (2021) 'How to bring UHI to the urban planning table? A data-driven modeling approach', *Sustainable Cities and Society*, 71(December 2020). doi: 10.1016/j.scs.2021.102948.

Peng, S. *et al.* (2012) 'Surface urban heat island across 419 global big cities', *Environmental Science and Technology*, 46(12), pp. 6889–6890. doi: 10.1021/es301811b.

Peng, X. *et al.* (2020) 'Correlation analysis of land surface temperature and topographic elements in Hangzhou, China', *Scientific Reports*. Nature Publishing Group UK, 10(1), pp. 1–16. doi: 10.1038/s41598-020-67423-6.

Qiao, Z. *et al.* (2014) 'Influences of urban expansion on urban heat island in Beijing during 1989-2010', *Advances in Meteorology*, 2014. doi: 10.1155/2014/187169.

Ranagalage, M. *et al.* (2018) 'Relation between urban volume and land surface temperature: A comparative study of planned and traditional cities in Japan', *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), pp. 1–17. doi: 10.3390/su10072366.

Rashid, K. J., Islam, S. and Atiqur, R. M. (2021) 'Ecological impact evaluation of urban heat island in Dhaka city ; a spatio-temporal approach', *Research Square*. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-307151/v1>.

Rasul, A. *et al.* (2017) 'A Review on Remote Sensing of Urban Heat and Cool Islands', *Land*, 6(2), p. 38. doi: 10.3390/land6020038.

Rimal, B. *et al.* (2018) 'Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and markov chain', *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(4). doi: 10.3390/ijgi7040154.

Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C. and Liu, C. (2008) 'A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island', *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), pp. 120–128. doi: 10.1016/S1001-0742(08)60019-4.

Robine, J. M. *et al.* (2008) 'Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003', *Comptes Rendus - Biologies*, 331(2), pp. 171–178. doi: 10.1016/j.crv.2007.12.001.

Di Sabatino, S. *et al.* (2020) 'The multiple-scale nature of urban heat island and its footprint on air quality in real urban environment', *Atmosphere*, 11(11). doi: 10.3390/atmos11111186.

Santamouris, M., Paraponiaris, K. and Mihalakakou, G. (2007) 'Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece', *Climatic Change*, 80(3–4), pp. 265–276. doi: 10.1007/s10584-006-9128-0.

Sarricolea, P. and Meseguer-Ruiz, O. (2019) 'Urban climates of large cities: Comparison of the urban heat Island effect in Latin America', *Urban Climates in Latin America*, pp. 17–32. doi: 10.1007/978-3-319-97013-4_2.

Scott, C. A. *et al.* (2009) 'The Evolution of the Urban Heat Island and Water Demand', American Meteorological Society, Proceedings of the 89th Annual Meeting, Eighth Symposium on the Urban Environment, 11-15 January 2009, (January).

Semenza, J. C. *et al.* (1999) 'Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago', *American Journal of Preventive Medicine*, 16(4), pp. 269–277. doi: 10.1016/S0749-3797(99)00025-2.

Shahmohamadi, P. *et al.* (2010) ‘Reducing urban heat island effects: A systematic review to achieve energy consumption balance’, *International Journal of Physical Sciences*, 5(6), pp. 626–636.

Shahmohamadi, P. *et al.* (2011) ‘The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance’, *Urban Studies Research*, 2011, pp. 1–9. doi: 10.1155/2011/497524.

Shaposhnikov, D. *et al.* (2014) ‘Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010’, *Epidemiology*, 25(3), pp. 359–364. doi: 10.1097/EDE.0000000000000090.

Sharifi, E. and Lehmann, S. (2014) ‘Comparative analysis of surface urban heat island effect in central sydney’, *Journal of Sustainable Development*, 7(3), pp. 23–34. doi: 10.5539/jsd.v7n3p23.

Sharma, A. *et al.* (2016) ‘Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model’, *Environmental Research Letters*. IOP Publishing, 11(6). doi: 10.1088/1748-9326/11/6/064004.

Shatnawi, N. and Abu Qdais, H. (2019) ‘Mapping urban land surface temperature using remote sensing techniques and artificial neural network modelling’, *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 40(10), pp. 3968–3983. doi: 10.1080/01431161.2018.1557792.

Shen, Z. *et al.* (2020) ‘The Migration of the Warming Center and Urban Heat Island Effect in Shanghai During Urbanization’, *Frontiers in Earth Science*, 8(August), pp. 1–12. doi: 10.3389/feart.2020.00340.

Sheridan, S. C. and Allen, M. J. (2015) ‘Changes in the Frequency and Intensity of Extreme Temperature Events and Human Health Concerns’, *Current Climate Change Reports*, 1(3), pp. 155–162. doi: 10.1007/s40641-015-0017-3.

Shi, H. *et al.* (2021) ‘Urban Heat Island and Its Regional Impacts Using Remotely Sensed Thermal Data—A Review of Recent Developments and Methodology’, *Land*, 10(8), p. 867. doi: 10.3390/land10080867.

Shikwambana, L., Kganyago, M. and Mhangara, P. (2021) ‘Temporal Analysis of Changes in Anthropogenic Emissions and Urban Heat Islands during COVID-19 Restrictions in Gauteng Province, South Africa’, *Aerosol and Air Quality Research*, 21(9), p. 200437. doi: 10.4209/aaqr.200437.

Singh, P. et al. (2017) Heat Island Effect in an Industrial Cluster – Identification, Mitigation and Adaptation. doi: 10.13140/RG.2.2.34462.64322.

Sobrino, J. A. and Irakulis, I. (2020) ‘A methodology for comparing the surface urban heat Island in selected urban agglomerations around the world from Sentinel-3 SLSTR data’, *Remote Sensing*, 12(12). doi: 10.3390/RS12122052.

Sodoudi, S. et al. (2014) ‘Mitigating the Urban Heat Island Effect in Megacity Tehran’, *Advances in Meteorology*, 2014. doi: 10.1155/2014/547974.

Steenefeld, G. J. et al. (2011) ‘Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands’, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(20). doi: 10.1029/2011JD015988.

Stevan, S. et al. (2013) ‘Urban heat island research of novi sad (Serbia): A review’, *Geographica Pannonica*, 17(1), pp. 32–36. doi: 10.5937/geopan1301032s.

Stevens, H. R. et al. (2019) ‘Hot and bothered? Associations between temperature and crime in Australia’, *International Journal of Biometeorology*. *International Journal of Biometeorology*, 63(6), pp. 747–762. doi: 10.1007/s00484-019-01689-y.

Stevenson, M. et al. (2016) ‘Land use, transport, and population health: estimating the health benefits of compact cities’, *The Lancet*, 388(10062), pp. 2925–2935. doi: 10.1016/S0140-6736(16)30067-8.

Stewart, I. D. (2011) ‘A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature’, *International Journal of Climatology*, 31(2), pp. 200–217. doi: 10.1002/joc.2141.

Stewart, I. D. and Oke, T. R. (2012) ‘Local climate zones for urban temperature studies’, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), pp. 1879–1900. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

Streutker, D. R. (2002) ‘A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas’, *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), pp. 2595–2608. doi: 10.1080/01431160110115023.

Sun, L. *et al.* (2016) ‘Impact of Land-Use and Land-Cover Change on urban air quality in representative cities of China’, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 142, pp. 43–54. doi: 10.1016/j.jastp.2016.02.022.

Surawar, Meenal; Kotharkar, R. (2017) ‘Assessment of Urban Heat Island through Remote Sensing in Nagpur Urban Area Using Landsat 7 ETM+ satellite images’, *International Journal of Urban and Civil Engineering*, 11(7), pp. 868–874. Available at: <http://waset.org/publications/10007350>.

Susca, T. and Pomponi, F. (2020) ‘Heat island effects in urban life cycle assessment: Novel insights to include the effects of the urban heat island and UHI-mitigation measures in LCA for effective policy making’, *Journal of Industrial Ecology*, 24(2), pp. 410–423. doi: 10.1111/jiec.12980.

Swamy, G., Shiva Nagendra, S. M. and Schlink, U. (2017) ‘Urban Heat Island (UHI) influence on secondary pollutant formation in a tropical humid environment’, *Journal of the Air and Waste Management Association*. Taylor & Francis, 67(10), pp. 1080–1091. doi: 10.1080/10962247.2017.1325417.

Syafii, N. I. *et al.* (2016) ‘Experimental Study on the Influence of Urban Water Body on Thermal Environment at Outdoor Scale Model’, *Procedia Engineering*. The Author(s), 169, pp. 191–198. doi: 10.1016/j.proeng.2016.10.023.

Syafii, N. I. (2021) ‘Promoting Urban Water Bodies as a Potential Strategy to Improve Urban Thermal Environment’, *Geographica Pannonica*, 25(2), pp. 113–120. doi: 10.5937/gp25-30431.

Takebayashi, H. and Moriyama, M. (2007) ‘Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island’, *Building and Environment*, 42(8), pp. 2971–2979. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.06.017.

Takebayashi, H. and 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*. Elsevier Ltd, 86(9), pp. 2255–2262. doi: 10.1016/j.solener.2012.04.019.

Tam, B. Y., Gough, W. A. and Mohsin, T. (2015) ‘The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature variation’, *Urban Climate*. Elsevier B.V., 12, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.uclim.2014.12.004.

Tian, L. *et al.* (2021) ‘Review on urban heat island in china: Methods, its impact on buildings energy demand and mitigation strategies’, *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), pp. 1–31. doi: 10.3390/su13020762.

Tiihonen, J. *et al.* (2017) ‘The Association of Ambient Temperature and Violent Crime’, *Scientific Reports*. Springer US, 7(1), pp. 1–7. doi: 10.1038/s41598-017-06720-z.

Toloo, G. *et al.* (2013) ‘Evaluating the effectiveness of heat warning systems: Systematic review of epidemiological evidence’, *International Journal of Public Health*, 58(5), pp. 667–681. doi: 10.1007/s00038-013-0465-2.

Tomlinson, C. J. *et al.* (2011) ‘Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review’, *Meteorological Applications*, 18(3), pp. 296–306. doi: 10.1002/met.287.

Tomlinson, C. J. *et al.* (2012) ‘Derivation of Birmingham’s summer surface urban heat island from MODIS satellite images’, *International Journal of Climatology*, 32(2), pp. 214–224. doi: 10.1002/joc.2261.

Tremeac, B. *et al.* (2012) ‘Influence of air conditioning management on heat island in Paris air street temperatures’, *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 95, pp. 102–110. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.02.015.

Turrell, G. *et al.* (2014) ‘Change in walking for transport: A longitudinal study of the influence of neighbourhood disadvantage and individual-level socioeconomic position in mid-aged adults’, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11(1). doi: 10.1186/s12966-014-0151-7.

Ulpiani, G. (2021) 'On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework', *Science of the Total Environment*, 751. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141727.

Unger, J., Savić, S. and Gál, T. (2011) 'Modelling of the Annual Mean Urban Heat Island Pattern for Planning of Representative Urban Climate Station Network', *Advances in Meteorology*, 2011, pp. 1–9. doi: 10.1155/2011/398613.

Uttara, S., Bhuvandas, N. and Aggarwal, B. (2012) 'IJREAS Volume 2 , Issue 2 (February 2012) ISSN: 2249-3905 IMPACTS OF URBANIZATION ON ENVIRONMENT', *Ijreas*, 2(2), pp. 1637–1645.

Vahmani, P. and Jones, A. D. (2017) 'Water conservation benefits of urban heat mitigation', *Nature Communications*. Springer US, 8(1). doi: 10.1038/s41467-017-01346-1.

Varquez, A. C. G. *et al.* (2020) 'Future increase in elderly heat-related mortality of a rapidly growing Asian megacity', *Scientific Reports*, 10(1), pp. 1–9. doi: 10.1038/s41598-020-66288-z.

Villanueva-Solis, J. (2017) 'Urban Heat Island Mitigation and Urban Planning: The Case of the Mexicali, B. C. Mexico', *American Journal of Climate Change*, 06(01), pp. 22–39. doi: 10.4236/ajcc.2017.61002.

Voogt, J. A. and Oke, T. R. (2003) 'Thermal remote sensing of urban climates', *Remote Sensing of Environment*, 86(3), pp. 370–384. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.

Wang, G., Jiang, W. and Wei, M. (2008) 'An Assessment of Urban Heat Island Effect using Remote Sensing Data.', *Marine Science Bulletin*, 10(2).

Wang, H. *et al.* (2017) 'Surface urban heat island analysis of shanghai (China) based on the change of land use and land cover', *Sustainability (Switzerland)*, 9(9). doi: 10.3390/su9091538.

Wang, W. *et al.* (2019) 'Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China', *Physics and Chemistry of the Earth*. Elsevier Ltd, 110, pp. 168–175. doi: 10.1016/j.pce.2019.01.002.

Wang, Y. *et al.* (2018) 'Effects of anthropogenic heat due to air-conditioning systems on an extreme high temperature event in Hong Kong', *Environmental Research Letters*, 13(3). doi: 10.1088/1748-9326/aaa848.

Ward, K. *et al.* (2016) 'Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 569–570, pp. 527–539. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.119.

Webb, B. (2017) 'The use of urban climatology in local climate change strategies: a comparative perspective', *International Planning Studies*. Taylor & Francis, 22(2), pp. 68–84. doi: 10.1080/13563475.2016.1169916.

Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J. (2004) 'Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies', *Remote Sensing of Environment*, 89(4), pp. 467–483. doi: 10.1016/j.rse.2003.11.005.

Whitman, S., Good, G. and Donoghue, E. R. (1997) 'Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave Public Health Briefs Mortality in Chicago Attributed to the July 1995 Heat Wave', *American Journal of public health*, 87(September 2016), pp. 1515–1518. Available at: [http://ajph.aphapublications.org/doi/abs/10.2105/AJPH.87.9.1515%5Cn/Users/leiqiu/Library/Application Support/Zotero/Profiles/0ax704m4.default/zotero/storage/R2GKMGX4/cookieAbsent.html](http://ajph.aphapublications.org/doi/abs/10.2105/AJPH.87.9.1515%5Cn/Users/leiqiu/Library/Application%20Support/Zotero/Profiles/0ax704m4.default/zotero/storage/R2GKMGX4/cookieAbsent.html).

Wu, M. *et al.* (2015) 'Generating daily high spatial land surface temperatures by combining ASTER and MODIS land surface temperature products for environmental process monitoring', *Environmental Sciences: Processes and Impacts*. Royal Society of Chemistry, 17(8), pp. 1396–1404. doi: 10.1039/c5em00254k.

Wu, X. *et al.* (2019) 'Investigating surface urban heat islands in South America based on MODIS data from 2003-2016', *Remote Sensing*, 11(10). doi: 10.3390/rs11101212.

Wu, Z. and Zhang, Y. (2019) 'Water bodies' cooling effects on urban land daytime surface temperature: Ecosystem service reducing heat island effect', *Sustainability (Switzerland)*, 11(3). doi: 10.3390/su11030787.

Wunch, D. *et al.* (2005) 'Climatology and predictability of the late summer stratospheric zonal wind turnaround over Vanscoy, Saskatchewan', *Atmosphere - Ocean*, 43(4), pp. 301–313. doi: 10.3137/ao.430402.

Xi, C. *et al.* (2021) 'Impacts of urban-scale building height diversity on urban climates: A case study of Nanjing, China', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 251. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111350.

Xu, X. *et al.* (2017) 'Impacts of park landscape structure on thermal environment using QuickBird and Landsat images', *Chinese Geographical Science*, 27(5), pp. 818–826. doi: 10.1007/s11769-017-0910-x.

Yang, B. *et al.* (2015) 'The impact analysis of water body landscape pattern on urban heat Island: A case study of Wuhan city', *Advances in Meteorology*, 2015. doi: 10.1155/2015/416728.

Yang, J. and Santamouris, M. (2018) 'Urban Heat Island and Mitigation Technologies in Asian and Australian Cities—Impact and Mitigation', *Urban Science*, 2(3), p. 74. doi: 10.3390/urbansci2030074.

Yang, J., Wang, Z. H. and Kaloush, K. E. (2015) 'Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a “silver bullet” for mitigating urban heat island?', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 47, pp. 830–843. doi: 10.1016/j.rser.2015.03.092.

Yang Wei and Xiaoli, J. (2011) 'Influence of Land Use and Land Cover Change on Land surface temperature', *Scientific Reports*. Nature Publishing Group UK, 283(0123456789), p. 01038. doi: 10.1051/e3sconf/202128301038.

Yang, X. *et al.* (2014) 'Environmental consequences of rapid urbanization in Zhejiang province, East China', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(7), pp. 7045–7059. doi: 10.3390/ijerph110707045.

Yang, Y. *et al.* (2017) 'Daily Landsat-scale evapotranspiration estimation over a forested landscape in North Carolina, USA, using multi-satellite data fusion', *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), pp. 1017–1037. doi: 10.5194/hess-21-1017-2017.

Yang, Y. and Pan, P. (2011) 'Research on the impact of impervious surface area on urban heat island in Jiangsu Province', *International Symposium on Lidar and Radar Mapping 2011: Technologies and Applications*, 8286, p. 82861P. doi: 10.1117/12.912517.

Yao, L., Xu, Y. and Zhang, B. (2019) 'Effect of urban function and landscape structure on the urban heat island phenomenon in Beijing, China', *Landscape and Ecological Engineering*. Springer Japan, 15(4), pp. 379–390. doi: 10.1007/s11355-019-00388-5.

Yenneti, K. *et al.* (2020) 'Urban overheating and cooling potential in Australia: An evidence-based review', *Climate*, 8(11), pp. 1–22. doi: 10.3390/cli8110126.

Yu, Z. *et al.* (2020) 'Quantifying seasonal and diurnal contributions of urban landscapes to heat energy dynamics', *Applied Energy*. Elsevier, 264(February), p. 114724. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114724.

Yuan, F. and Bauer, M. E. (2007) 'Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery', *Remote Sensing of Environment*, 106(3), pp. 375–386. doi: 10.1016/j.rse.2006.09.003.

Zander, K. K. *et al.* (2015) 'Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia', *Nature Climate Change*, 5(7), pp. 647–651. doi: 10.1038/nclimate2623.

Zhang, D. L. *et al.* (2011) 'Impact of upstream urbanization on the urban heat island effects along the Washington-Baltimore Corridor', *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(10), pp. 2012–2029. doi: 10.1175/JAMC-D-10-05008.1.

Zhang, K. *et al.* (2010) 'Temporal and spatial characteristics of the urban heat island during rapid urbanization in Shanghai, China.', *Environmental monitoring and assessment*, 169(1–4), pp. 101–112. doi: 10.1007/s10661-009-1154-8.

Zhang, P. *et al.* (2010) 'Characterizing urban heat islands of global settlements using MODIS and nighttime lights products', *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36(3), pp. 185–196. doi: 10.5589/m10-039.

Zhang, R. *et al.* (2020) ‘Impact of rapid and intensive land use/land cover change on soil properties in arid regions: A case study of Lanzhou new area, China’, *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), pp. 1–16. doi: 10.3390/su12219226.

Zhang, Y. Z. *et al.* (2017) ‘Land Surface Temperature and Emissivity Separation from Cross-Track Infrared Sounder Data with Atmospheric Reanalysis Data and ISSTES Algorithm’, *Advances in Meteorology*, 2017. doi: 10.1155/2017/7398312.

Zhao, L. *et al.* (2014) ‘Strong contributions of local background climate to urban heat islands’, *Nature*. Nature Publishing Group, 511(7508), pp. 216–219. doi: 10.1038/nature13462.

Zhao, L. *et al.* (2018) ‘Interactions between urban heat islands and heat waves’, *Environmental Research Letters*, 13(3). doi: 10.1088/1748-9326/aa9f73.

Zhou, B., Rybski, D. and Kropp, J. P. (2013) ‘On the statistics of urban heat island intensity’, *Geophysical Research Letters*, 40(20), pp. 5486–5491. doi: 10.1002/2013GL057320.

Zhou, B., Rybski, D. and Kropp, J. P. (2017) ‘The role of city size and urban form in the surface urban heat island’, *Scientific Reports*, 7(1), pp. 1–9. doi: 10.1038/s41598-017-04242-2.

Zhou, D. *et al.* (2014) ‘Surface urban heat island in China’s 32 major cities: Spatial patterns and drivers’, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 152, pp. 51–61. doi: 10.1016/j.rse.2014.05.017.

Zhu, R. *et al.* (2017) ‘Understanding heat patterns produced by vehicular flows in urban areas’, *Scientific Reports*, 7(1), pp. 1–14. doi: 10.1038/s41598-017-15869-6.

Zipper, S. C. *et al.* (2017) ‘Urban heat island-induced increases in evapotranspirative demand’, *Geophysical Research Letters*, 44(2), pp. 873–881. doi: 10.1002/2016GL072190.