



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας  
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών  
«Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων»**

**Διπλωματική Εργασία**

**«Χρήση της βλάστησης ως μέσο μετριασμού των  
επιπτώσεων της αστικής θερμικής νησίδας και της  
κλιματικής αλλαγής»**

**ΙΩΑΝΝΑ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ**

Επιβλέπων καθηγητής:

Ιωάννης Χαραλαμπίδης

ΠΑΤΡΑ, 2019

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2019

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**«Χρήση της βλάστησης ως μέσο μετριάσμού των  
επιπτώσεων της αστικής θερμικής νησίδας και της  
κλιματικής αλλαγής»**

**ΙΩΑΝΝΑ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ**

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Χαραλαμπίδης

Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό,  
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας

Συν – Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Νικόλαος Χατζηδάκης

Αγρ. Τοπογράφος Μηχ.

Πάτρα, 2019

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου,  
κ. Ιωάννη Χαραλαμπίδου για την πολύτιμη βοήθεια του,  
την καθοδήγησή του και την υπομονή του  
καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της ΔΕ  
και την οικογένειά μου, που ο καθένας με το δικό του τρόπο  
με στήριξε για την ολοκλήρωση  
των μεταπτυχιακών σπουδών μου.*

*Στους υπέροχους γονείς μου....*

## Περίληψη

Η αστική επέκταση και η αύξηση του πληθυσμού συμβάλλουν στην μεταβολή του κλίματος σε όλες τις κλίμακες. Χαρακτηριστικό φαινόμενο της τροποποίησης του κλίματος στην αστική κλίμακα είναι η δημιουργία της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ). Η σχετική βιβλιογραφία έχει παρουσιάσει ότι η φύτευση σε αστικές περιοχές επηρεάζει τις παραμέτρους του μικροκλίματος, όπως τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, το ανεμομετρικό πεδίο και τις βροχοπτώσεις. Συνεπώς το πράσινο θεωρείται μια σημαντική στρατηγική προσέγγισης για την άμβλυνση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας και τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Σκοπός της μελέτης είναι να αποτυπωθεί σε λεπτομέρεια ο μηχανισμός επίδρασης της βλάστησης στις μικρο- έως και τόπο- κλιματικές συνθήκες. Μέσα από την μελέτη μεγάλου αριθμού διεθνών βιβλιογραφικών πηγών θα αναλυθούν συστηματικά οι επιπτώσεις της φύτευσης σε ποικιλία κλιματικών και αστικών διαμορφώσεων. Επίσης, θα δημιουργηθεί συνοπτικός οδηγός με τις βέλτιστες πρακτικές που ως κύριο εργαλείο τους θα είναι η αξιοποίηση της βλάστησης στη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών.

Εν κατακλείδι, στόχος της μελέτης είναι να παράσχει στους σχεδιαστές των αστικών ανοικτών χώρων τα κατάλληλα εφόδια για την ορθή χρήση της βλάστησης, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις επικρατούσες συνθήκες της κάθε περιοχής.

## Λέξεις κλειδιά:

Αστικοποίηση, Αστική Θερμική Νησίδα, Κλιματική Αλλαγή, Αστικό Μικροκλίμα, Αστικά Πάρκα, Αστικά Δένδρα, Γρασίδι, Πράσινες στέγες, Πράσινοι τοίχοι, Αστικές Πράσινες Υποδομές, Θερμική άνεση

## **Abstract**

Urban expansion and population growth contribute to climate change on all scales. A typical phenomenon of climate change on the urban scale is the creation of the Urban Thermal Island (UHI). The relevant literature has shown that planting in urban areas affects the microclimate parameters, such as temperature, relative humidity, anemometric field and rainfall. Greening is therefore considered an important approach strategy for mitigating the urban heat island phenomenon and mitigating the effects of climate change.

The purpose of the study is to capture in detail the mechanism of effect of vegetation in micro- and local climatic conditions. Through the study of a large number of international bibliographic sources, the impact of planting on a variety of climatic and urban configurations will be systematically analyzed. Also, a brief guide will be created with best practices, which will be the main tool for the use of vegetation in the improvement of bioclimatic conditions.

In conclusion, the aim of the study is to provide designers of urban open spaces with the appropriate resources for the proper use of vegetation, always taking into account the prevailing conditions of each area

## **Keywords**

Urbanisation, Urban Heat Island, Climatic change, Urban microclimate, Urban parks, Urban trees, Grass, Green roofs, Green walls, Urban Green Infrastructure, Thermal comfort

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	vi
Abstract .....	vii
Περιεχόμενα.....	viii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων .....	xi
Κατάλογος Πινάκων .....	xix
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xx
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια .....	xxi
Highlights.....	xxii
Συνεισφορά .....	xxiii
1. Εισαγωγή .....	24
2. Σκοπός και μεθοδολογία.....	26
3. Βασικές έννοιες.....	28
3.1. Κλίμα .....	28
3.1.1 Γενικά για το κλίμα.....	30
3.1.1.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	30
3.1.1.2 Θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα .....	32
3.1.1.3 Άνεμος .....	32
3.1.1.4 Υγρασία ατμόσφαιρας .....	34
3.2. Μικροκλίμα.....	36
3.2.1 Αστικό μικροκλίμα .....	37
3.2.1.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	41
3.2.1.2 Θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα .....	41
3.2.1.3 Άνεμος .....	42
3.2.1.4 Υγρασία ατμόσφαιρας .....	42
3.3. Αστική θερμική νησίδα.....	44
3.4. Κλιματική αλλαγή.....	52
3.4.1 Τι είναι η κλιματική αλλαγή .....	52
3.4.2 Επιπτώσεις τις κλιματικής αλλαγής.....	54
3.4.3 Πολιτικές για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής.....	55
3.4.4 Κλιματική αλλαγή και αστικές περιοχές .....	58
3.5. Θερμική άνεση.....	59
3.5.1 Βασικές έννοιες.....	59
3.5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση του ανθρώπου .....	60
3.5.2.1 Θερμοκρασία αέρα.....	60
3.5.2.2 Θερμική ακτινοβολία .....	61



3.5.2.3 Κίνηση αέρα.....	62
3.5.2.4 Υγρασία .....	63
3.5.2.5 Ενδυμασία.....	64
3.5.2.6 Δραστηριότητα.....	65
3.5.3 Θερμικοί Δείκτες .....	66
3.5.3.1 Λειτουργική Θερμοκρασία (Operative Temperature) .....	66
3.5.3.2 Τυπική Ενεργός Θερμοκρασία (Standard Effective Temperature, SET) .....	66
3.5.3.3 Φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασίας (Physiological Equivalent Temperature - PET) .....	66
3.5.3.4 Παγκόσμιος θερμικός κλιματικός δείκτης (Universal Thermal Climate Index – UTCI).....	67
3.5.3.5 Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος (Predicted Mean Vote, PMV) .....	68
3.5.3.6 Προβλεπόμενο Ποσοστό Ανικανοποιήτων (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) .....	69
3.5.4 Επιπτώσεις του θερμικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο .....	70
3.6. Αστικό πράσινο.....	72
2.6.1 Κατηγορίες αστικού πράσινου.....	72
3.7.Η Βλάστηση .....	86
3.7.1 Οι ιδιότητες της βλάστησης.....	86
3.7.1.1 Βλάστηση και ακτινοβολία.....	86
3.7.1.2 Βλάστηση και ανεμομετρικό πεδίο.....	88
3.7.1.3 Βλάστηση και θερμοκρασία του αέρα.....	88
3.7.1.4 Βλάστηση και σχετική υγρασία .....	89
3.7.2 Τα οφέλη του πράσινου .....	91
3.7.2.1 Περιβαλλοντικά οφέλη .....	91
3.7.2.2 Κοινωνικά οφέλη .....	93
3.7.2.3 Οικονομικά οφέλη .....	93
4. Επιπτώσεις διαφορετικών ειδών βλάστησης σε ποικιλία κλιματικών και αστικών διαμορφώσεων .....	95
4.1 Πάρκα .....	95
4.2 Μεμονωμένα δέντρα ή ομάδες .....	116
4.3 Πράσινες στέγες.....	135
4.4 Πράσινοι τοίχοι.....	140
4.5 Γρασίδι.....	142
4.6 Συνδυασμός πράσινων υποδομών .....	144
5. Στατιστική ανάλυση της βιβλιογραφίας .....	169

6. Συμπεράσματα και οδηγίες βέλτιστων πρακτικών αξιοποίησης της βλάστησης για τη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών.....	178
Βιβλιογραφία .....	184

## Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1: Κύριοι παράγοντες διαμόρφωσης του κλίματος στη Γη με περιορισμένες ενδείξεις μηχανισμών ανάδρασης (Oliver, 2005).....	29
Εικόνα 2: Ο μέσος παγκόσμιος προϋπολογισμός ακτινοβολίας μικρού μήκους που δείχνει τη διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια (Oliver, 2008).....	31
Εικόνα 3: Ημερήσια και ετήσια αντίστοιχα μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (Αριανούτσου et al., 1999).....	35
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση κάθετης διατομής της ατμόσφαιρας της Γης (Oliver, 2005) .....	37
Εικόνα 5: Η επίδραση της πυκνότητας των κτιρίων (H / W) στο καθεστώς ροής του ανέμου σε διάφορους τύπους αστικών κτιρίων σε αεροδυναμική σήραγγα (Oke et al., 2017). ....	42
Εικόνα 6: Η δημιουργία της Αστικής Θερμικής Νησίδας (Rizwan et al., 2008) .....	46
Εικόνα 7: Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη μετάβαση από μια αγροτική σε μια περιαστική και τέλος σε μια αστική περιοχή (Odli et al., 2016) .....	48
Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των κύριων τμημάτων της αστικής ατμόσφαιρας (Voogt, 2004).....	49
Εικόνα 9: Επιπτώσεις της αστικοποίησης στις διαδικασίες που επηρεάζουν το κλίμα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (Cleugh and Grimmond, 2012) .....	51
Εικόνα 10: Σχηματικό διάγραμμα των ροών ενέργειας που δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου της Γης. Το πλάτος των βέλων είναι ανάλογο με την ποσότητα ενέργειας. Η συνολική εισερχόμενη ενέργεια από τον Ήλιο είναι κατά μέσο όρο $342 \text{ Wm}^{-2}$ (NAST, 2000) .....	53
Εικόνα 11: Βασικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του αστικού θερμικού περιβάλλοντος (Τροποποιημένο σχήμα των Lai et al (2019a)) .....	60
Εικόνα 12: Η επίδραση της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από τον προσανατολισμό του ατόμου σε σχέση με την πηγή ακτινοβολίας (Parsons, 1993). ....	62
Εικόνα 13: Η έννοια του UTCI που προέρχεται ως ισοδύναμη θερμοκρασία από τη δυναμική απόκριση του θερμοφυσιολογικού μοντέλου UTCI – Fiala (Fiala et al., 2001), που συνδυάστηκε με ένα μοντέλο ενδυμάτων (Havenith et al., 2012) (Bröde et al., 2012) .....	68

Εικόνα 14: Προβλεπόμενο Ποσοστό Ανικανοποίητων (PPD) σε σχέση με την Προβλεπόμενη Μέση Ψήφο (PMV) (Hall, 2010).....	70
Εικόνα 15: Το πάρκο γειτονιάς Clementi Woods Park στη Σιγκαπούρη (Yu and Hien, 2006) .....	72
Εικόνα 16: Το πάρκο γειτονιάς Clementi Woods Park στη Σιγκαπούρη (Yu and Hien, 2006) .....	73
Εικόνα 17: Φαράγγι δρόμου με κτίρια μεσαίου ύψους στο Chongqing της Νοτιοδυτικής Κίνας (Lu et al., 2017) .....	74
Εικόνα 18: The Sydney and Walda Besthoff Sculpture Garden στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ (Kwang, n.d.).....	75
Εικόνα 19: The Sydney and Walda Besthoff Sculpture Garden στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ (Kwang, n.d.).....	75
Εικόνα 20: The Sydney and Walda Besthoff Sculpture Garden στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ (Kwang, n.d.).....	76
Εικόνα 21: The Ulsan Grand Park στο Ulsan της Κορέας (Kwang, n.d.) .....	77
Εικόνα 22: The Sunyudo Park στη Σεούλ της Κορέας (Kwang, n.d.).....	78
Εικόνα 23: The Sunyudo Park στη Σεούλ της Κορέας (Kwang, n.d.).....	78
Εικόνα 24: The Elizabeth & Nona Evans Restorative Garden στο Οχάιο των ΗΠΑ (Kwang, n.d.) .....	79
Εικόνα 25: Ιδιωτικός κήπος στην Παλλήνη Αττικής (Προσωπικό αρχείο).....	79
Εικόνα 26: Ιδιωτικό ταρατσόκηπος στην Αθήνα (Προσωπικό αρχείο).....	80
Εικόνα 27: Κοινόχρηστος χώρος πρασίνου μεταξύ πολυκατοικιών στο Μοσχάτο Αττικής (Προσωπικό αρχείο).....	81
Εικόνα 28: Ιδιωτικός κήπος στο Σούνιο Αττικής (Προσωπικό αρχείο) .....	82
Εικόνα 29: Ιδιωτικός κήπος στο Σούνιο Αττικής (Προσωπικό αρχείο) .....	82
Εικόνα 30: Κτίριο αυλής με πράσινους τοίχους στην πανεπιστημιούπολη του Πανεπιστημίου του Πόρτλαντ (Taleghani, 2018).....	83
Εικόνα 31: Δημιουργία πράσινου χώρου κατά μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής στο Hangzhou της Κίνας (Wolch et al., 2014) .....	83

Εικόνα 32: Court Square Press Courtyard στη Μασαχουσέτη των ΗΠΑ (Kwang, n.d.) .....	84
Εικόνα 33: Court Square Press Courtyard στη Μασαχουσέτη των ΗΠΑ (Kwang, n.d.) .....	85
Εικόνα 34: Γενικευμένα φασματικά χαρακτηριστικά φύλλων φυτών μεταξύ 400 και 1000nm (από διάφορες πηγές). Α = απορρόφηση, R = αντανάκλαση και T = μετάδοση. Η σκιασμένη περιοχή αντιπροσωπεύει τη μεταδιδόμενη ακτινοβολία (Fitter and Hay, 2002).....	87
Εικόνα 35: Στο αριστερό σχήμα παρουσιάζεται η αύξηση της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα ως λειτουργία τοπικής μέγιστης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα για τη στρατηγική της βλάστησης. Στο δεξί σχήμα παρουσιάζονται θηκογράμματα μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα για ξηρά και υγρά αντίστοιχα κλίματα (Lai et al., 2019b) .....	89
Εικόνα 36: Τιμές ωριαίας σχετικής υγρασίας σε πάρκα με διαφορετικά είδη βλάστησης και στις γύρω οικιστικές περιοχές κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (Potchter et al., 2006). .....	90
Εικόνα 37: Η επίδραση ψύξης ενός πάρκου με διαφορετικές πυκνότητες φύτευσης και ηλικίες δέντρων (Vidrih and Medved, 2013).....	95
Εικόνα 38: Μέσος ημερήσιος κύκλος της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, του ελλείμματος πίεσης ατμών και της ειδικής υγρασίας σε επτά διαφορετικά ύψη πάνω από το έδαφος μέσα σε ένα θόλο του εγκατεστημένου δάσους (Hardwick et al., 2015) .....	97
Εικόνα 39: Δύο πάρκα στο Ταϊπέι που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα (Chen - Yi Sun et al., 2012) .....	98
Εικόνα 40: Τα δεδομένα θερμοκρασίας των 2 σταθμών των πάρκων κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης (Chen - Yi Sun et al., 2012) .....	98
Εικόνα 41: Σχέσεις μεταξύ της $\Delta PET_m$ και των παραμέτρων τοπίου στο πάρκο στις 14:00 (Sun et al., 2017).....	101
Εικόνα 42: Προφίλ της Αστικής Θερμικής Νησίδας στη Σιγκαπούρη (Wong and Yu, 2005) .....	103
Εικόνα 43: Εικόνα της αστικής περιοχής και του πάρκου (Hamada and Ohta, 2010) .....	104
Εικόνα 44: Σχέση μεταξύ της έντασης της Αστικής Θερμικής Νησίδας και της απομάκρυνσης από το πάρκο για τρεις τύπους νύχτας, και ειδικότερα Τύπος Α: 9 Αυγούστου – Τύπος Β: 7 Σεπτεμβρίου – Τύπος C: 30 Νοεμβρίου (Doick et al., 2014) .....	105

Εικόνα 45: Εικόνα της προς μελέτη περιοχής, η λήψη της οποίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ το Νοέμβριο του 2014 και τον Ιανουάριο του 2015 (Chen et al., 2015)..... 106

Εικόνα 46: Σχέση των δεικτών LST και NDVI για τα έτη 1991 και 2009 (Buyadi et al., 2013) ..... 107

Εικόνα 47: Σύγκριση των μέσων θερμοκρασιών εντός και εκτός του πάρκου (Yan et al., 2018) ..... 108

Εικόνα 48: Σχέση μεταξύ της απόστασης από το πάρκο και της θερμοκρασίας του αέρα για κάθε θέση μέτρησης (Yan et al., 2018)..... 109

Εικόνα 49: Σχέση μεταξύ της έντασης της ψυκτικής επίδρασης και του μεγέθους του πάρκου (α) την άνοιξη, (β) το καλοκαίρι και (γ) το φθινόπωρο (n = 92). Οι συμπαγείς γραμμές είναι γραμμές γραμμικής παλινδρόμησης (Cao et al., 2010). ..... 110

Εικόνα 50: Η μετρούμενη θερμοκρασία αέρα ( $T_a$ ) σε δύο διαφορετικές ημέρες σε συνθήκες ήλιου (αριστερά) και σκιάς (δεξιά) (Oliveira et al., 2011) ..... 112

Εικόνα 51: Κατανομή των μέσων θερμοκρασιών περιβάλλοντος κατά μήκος δύο διαδρομών (Α και Β) Επίσης, δίνονται οι μέσες θερμοκρασίες του πάρκου (Skoulika et al., 2014) ..... 113

Εικόνα 52: Ωριαίες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου των πάρκων και του γύρω δομημένου περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια επιλεγμένων περιόδων: (α). πάρκο με γρασίδι, (β). πάρκο με μεσαία και πυκνά δένδρα) και (γ). πάρκο με ψηλά και πλατύφυλλα δένδρα (Potchter et al., 2006). ..... 115

Εικόνα 53: Προσομοιωμένη μέση θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST) στο επίπεδο της περιοχής μελέτης για τα σενάρια του πράσινου χώρου στάθμευσης στην άνοιξη (α) και το καλοκαίρι (b) (Onishi et al., 2010). ..... 117

Εικόνα 54: Τοποθεσία και φωτογραφίες των αστικών φαραγγιών: BourkeSt. (CBD), Gipps St. (OPN) και George St. (TRD) (Coutts et al., 2016) ..... 118

Εικόνα 55: Ημισφαιρικές φωτογραφίες των οκτώ (8) δέντρων που μελετήθηκαν (Morakinyo et al., 2017) ..... 119

Εικόνα 56: Άποψη των εξεταζόμενων δρόμων, όπου εμφανίζονται οι τρεις διαφορετικοί τύποι δρόμων που εξετάζονται (Klemm et al., 2015) ..... 121

Εικόνα 57: Χωροταξικό σχέδιο, το οποίο αντιπροσωπεύει το θόλο βλάστησης και τη θέση των μετεωρολογικών σταθμών (Taha et al., 1991)..... 125

Εικόνα 58: Στην εικόνα (α) παρουσιάζεται η περιοχή με δένδρα με υψηλό δείκτη SVF. Στις εικόνες (c) και (b) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ροής λογικής θερμότητας με και χωρίς διάταξη δένδρων αντίστοιχα. Στις εικόνες (e) και (d) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στην κατανομή της

θερμοκρασίας του αέρα σε ύψος 1.5 m με και χωρίς διάταξη δένδρων αντίστοιχα στις 13:00 (Tan et al., 2016)..... 126

Εικόνα 59: Σύγκριση της θερμοκρασίας του αέρα σε ύψος 1.5 m για τις διαφορετικές διατάξεις των δένδρων (Τα άνω και κάτω όρια των θηκογραμμάτων υποδεικνύουν το 25 % και το 75% των τιμών, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το 5% και το 90%, τα κόκκινα σημεία δείχνουν τη μέση τιμή και οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τη διάμεση τιμή) (Zhao et al., 2018)..... 128

Εικόνα 60: Σύγκριση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$ ) για τις διαφορετικές διατάξεις των δένδρων (Τα άνω και κάτω όρια των θηκογραμμάτων υποδεικνύουν το 25 % και το 75 % των τιμών, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το 5% και το 90%, τα κόκκινα σημεία δείχνουν τη μέση τιμή και οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τη διάμεση τιμή) (Zhao et al., 2018)..... 128

Εικόνα 61: Οι περιοχές μελέτης. Αριστερά η οπτική φωτογραφία των περιοχών και δεξιά η περιγραφή της θέσης των μετεωρολογικών σταθμών και στις δύο πλευρές των δρόμων. Στην ανοικτή πλευρά του δρόμου οι σταθμοί ήταν τοποθετημένοι μακριά από το θόλο των δένδρων. (Sanusi et al., 2017) ..... 129

Εικόνα 62:Αριστερά: Προσομοιωμένες θερμοκρασίες αέρα στο δρόμο για σενάρια παθητικής ψύξης, περίπτωση 1: αύξηση της κάλυψης των δένδρων, περίπτωση 2: εμβάθυνση ανοικτού χώρου. Δεξιά: Ημερήσιες τιμές φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) των κύριων περιπτώσεων: βασική περίπτωση, περίπτωση με δένδρα, περίπτωση εμβάθυνσης και το γενικό σενάριο. Επίσης το μοτίβο της PET για την υποθετική βασική περίπτωση του δρόμους εντελώς στη σκιά. Η οριζόντια γραμμή δείχνει το ανώτερο όριο άνεσης για τους ανθρώπους της Αθήνας (Shashua-Bar et al., 2012). ..... 132

Εικόνα 63: Προσομοιωμένο δυναμικό ημερήσιας ψυκτικής επίδρασης των τριών ειδών δένδρων που μελετήθηκαν σε έναν αστικό δρόμο με διαφορετικούς λόγους H / W (Shashua-Bar et al., 2009b)..... 133

Εικόνα 64: Διαφορά μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας αέρα ( $T_a$ ) μεταξύ σκιασμένης και μη σκιασμένης θέσης των δένδρων κατά την καλοκαιρινή περίοδο (μεταξύ 06:00 και 21:00) (Wang et al., 2015a) ..... 134

Εικόνα 65: Διαφορά μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας αέρα ( $T_a$ ) μεταξύ σκιασμένης και μη σκιασμένης θέσης των δένδρων κατά την χειμερινή περίοδο (μεταξύ 06:00 και 21:00) (Wang et al., 2015a) ..... 134

Εικόνα 66: Συμβατική και πράσινη στέγη, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της έρευνας (Sun et al., 2012)..... 136

Εικόνα 67:Τα δεδομένα θερμοκρασίας των 2 σταθμών στην οροφή του κτιρίου κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης (Sun et al., 2012)..... 136



Εικόνα 68: Παρατηρούμενα αποτελέσματα της θερμοκρασίας επιφάνειας κατά το μήνα Αύγουστο (αριστερά) και κατά το μήνα Νοέμβριο (δεξιά) (Takebayashi and Moriyama, 2007).....	137
Εικόνα 69: Ο τοίχος ελέγχου και τα 8 συστήματα πράσινων κατακόρυφων τοίχων στη Σιγκαπούρη (Wong et al., 2010) .....	140
Εικόνα 70: Η περιοχή στην οποία διεξήχθη το πείραμα (προέρχεται από το Google Earth), η διάταξη των σημείων μέτρησης και τα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη επιφανειών εδάφους (δεξιά). Για τα σημεία 5, 6 και 7 μετρήθηκαν και οι δύο μεταβλητές της υπερκείμενης επιφάνειας. Για το σημείο 9 παρατηρήθηκαν μόνο οι μεταβλητές της πάνω επιφάνειας. Για τα σημεία 1, 2, 3, 4, 8 και 10 μετρήθηκαν μόνο η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία σε ύψος 0.2 m και 1.5 m πάνω από το έδαφος. Ο αισθητήρας του ανεμόμετρου τοποθετήθηκε στο κέντρο της πλατείας, 2.0 m πάνω από το έδαφος (Yang et al., 2013) .....	142
Εικόνα 71: Σύγκριση των παρατηρηθέντων και μοντελοποιημένων $T_s$ και $T_a$ σε 0.2 m και 1.5 m πάνω από το έδαφος για τους τέσσερις τύπους εδάφους. Το ύψος παρατήρησης 0.2 m αντιστοιχεί σε ύψος 0.3 m στο μοντέλο (Yang et al., 2013).....	143
Εικόνα 72: Τα προς μελέτη αστικά φαράγγια με τη θέση των υποδοχέων, των δέντρων, την απόσταση μεταξύ των δέντρων ( $D_1$ ), την απόσταση των υποδοχέων ( $D_2$ ) και την κάλυψη των φύλλων των δέντρων. Επίσης $H / W = 3.5$ αντιστοιχεί σε συμπαγές φαράγγι με χαμηλά κτίρια, $H / W = 1.5$ σε συμπαγές φαράγγι με μεσαίου ύψους κτίρια και $H / W = 1.3$ σε ανοιχτό φαράγγι με πολυώροφα κτίρια (Lobaccaro and Acero, 2015).....	144
Εικόνα 73: Τα επτά σενάρια που μελετήθηκαν και αναλύθηκαν (Lobaccaro and Acero, 2015) .....	145
Εικόνα 74: Σχέδιο διαμόρφωσης της αυλής στο οποίο φαίνεται η τοποθεσία των σημείων μέτρησης και των δέντρων στη δυτική αυλή (αριστερά) και το σκιασμένο πλέγμα στην ανατολική αυλή (δεξιά) (Shashua-Bar et al., 2009a).....	146
Εικόνα 75: Δείκτης τιμών θερμικής άνεσης (ITS) κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ημερήσιων ωρών (LST) για μη σκιασμένους χώρους (αριστερά) και για διαμορφώσεις αυλής με σκίαση από δέντρα ή πλέγμα, με τα αντίστοιχα επίπεδα θερμικής άνεσης (Shashua-Bar et al., 2011).....	147
Εικόνα 76: Οι οπτικές και οι αντίστοιχες θερμικές εικόνες υπέρυθρης ακτινοβολίας σε διαμορφώσεις αυλών με χορτάρι και δέντρα (αριστερά) και με γυμνό οδόστρωμα και σκιασμένο πλέγμα (δεξιά) περίπου στις 12:20LST στις 17 Ιουλίου 2007. Οι θερμικές εικόνες δείχνουν τις ακτινοβολούμενες επιφανειακές θερμοκρασίες (σε $^{\circ}\text{C}$ ) σε ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος 0.92 (Shashua-Bar et al., 2011) .....	147
Εικόνα 77: Οι προς μελέτη περιοχές στο Άσπεν της Ολλανδίας (Google earth – δεξιά και στιγμιότυπο οθόνης του Open Street Map – αριστερά) (Wang et al., 2015b).....	149



Εικόνα 78: Θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2 m από το έδαφος στις 3 μ.μ. της προς μελέτης περιοχής από την προσομοίωση με το ENVI – met (Ng et al., 2012) ..... 150

Εικόνα 79: Σχέδια πράσινου για ορθογώνια πλατεία που μελετήθηκαν στο Μόναχο της Γερμανίας (Zölch et al., 2019)..... 151

Εικόνα 80: Στις εικόνες παρουσιάζονται: (1) η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα σε ένα φαράγγι με προσανατολισμό ανατολής δύσης, με αναλογία ύψους / πλάτος 5 / 10, με παράλληλη ροή αέρα, όταν οι στέγες και οι τοίχοι καλύπτονται με βλάστηση (πάνω αριστερά), (2) η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα σε ένα φαράγγι με προσανατολισμό ανατολής δύσης, με αναλογία ύψους / πλάτος 5 / 10, με παράλληλη ροή αέρα, όταν καλύπτονται μόνο οι τοίχοι με βλάστηση (πάνω δεξιά), (3) η μείωση της θερμοκρασίας επιφάνειας της στέγης όταν καλύπτεται με βλάστηση (κάτω αριστερά), (4) η μείωση της θερμοκρασίας της ασφάλτου σε ένα φαράγγι με αναλογία ύψους / πλάτος 5/10 όταν οι τοίχοι καλύπτονται με βλάστηση (κάτω αριστερά), για όλα τα εξεταζόμενα κλίματα (Alexandri and Jones, 2008) ..... 153

Εικόνα 81: Σύγκριση της 24-ώρης μέσης θερμοκρασίας αέρα κατά το μήνα Ιούλιο σε ύψη 2.5 m και 9.0 m και για τους τρεις εξεταζόμενους χώρους (Sonne and Vieira, 2000) ..... 155

Εικόνα 82: Η θερμοκρασία επιφάνειας ενός πάρκου σε σύγκριση με το γύρω δομημένο περιβάλλον στο Πανεπιστήμιο του Πόρτλαντ (Taleghani, 2018)..... 156

Εικόνα 83: Περιοχή προσομοίωσης (κίτρινο περίγραμμα) και των βιομετεωρολογικών σταθμών (mp1 έως mp5) (Lee et al., 2016)..... 158

Εικόνα 84: Εξεταζόμενα σενάρια – Α: υφιστάμενη κατάσταση, Β: μόνο γρασίδι, C: χωρίς πράσινο, D: μόνο δένδρα (Lee et al., 2016)..... 158

Εικόνα 85: Απεικόνιση της θερμοκρασίας επιφάνειας γης (LST) για τις πράσινες περιοχές και το δομημένο αστικό περιβάλλον για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο κάθε χρόνου (Alavipanah et al., 2015). ..... 160

Εικόνα 86: Η ψυκτική επίδραση του αστικού πράσινου στο κέντρο και στις δύο πλευρές του δρόμου (Ahmadi Venhari et al., 2019)..... 161

Εικόνα 87: Σχέση μεταξύ ποσοστού αδιαπέραστων επιφανειών εντός (PI\_in) του πράσινου χώρου και της LST. (Du et al., 2017) ..... 163

Εικόνα 88: Σχέση μεταξύ του σχήματος (LSI) του πράσινου χώρου και της LST (Du et al., 2017) ..... 163

Εικόνα 89: Τα υλικά επιφάνειας που εξετάστηκαν (Chatzidimitriou and Yannas, 2015) ..... 165

Εικόνα 90: Διαφορές στη θερμοκρασία επιφάνειας για τα διαφορετικά σενάρια μελέτης (Skelhorn et al., 2014)..... 167

Εικόνα 91: Διαφορές στη θερμοκρασία του αέρα για τα διάφορα σενάρια μελέτης (Skelhorn et al., 2014).....	168
--	-----

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Μεταβολή των κλιματικών δεδομένων εξαιτίας της αστικοποίησης (Oke, 1997) .....	40
Πίνακας 2: Ταξινόμηση των αστικών μορφολογικών μονάδων. Οι διαστάσεις των μονάδων 4 έως 6 βασίζονται σε μια πόλη με περίπου 1 εκατομμύριο κατοίκους (Oke et al., 2017) .....	41
Πίνακας 3: Τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας (ISO84).....	65
Πίνακας 4: Παραδείγματα τιμών φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για διαφορετικά κλιματικά σενάρια (Höppe, 1999) .....	67
Πίνακας 5: Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος (Predicted Mean Vote, PMV), σύμφωνα με τον Fanger .....	69
Πίνακας 6: Ταξινόμηση της βλάστησης που μελετήθηκε (Τροποποιημένος πίνακας των (Zhang et al., 2018))......	123
Πίνακας 7: Τροποποιημένος συγκεντρωτικός πίνακας των θερμοκρασιών επιφάνειας (Wongetal., 2010) .....	140
Πίνακας 8: Σύγκριση της τυπικής ενεργής θερμοκρασίας (SET) γύρω από τα φυτά στο επίπεδο των πεζών και ώρα 12:00 (Lin et al., 2008).....	154
Πίνακας 9: Σύγκριση της τυπικής ενεργής θερμοκρασίας (SET) γύρω από τα φυτά στο επίπεδο των πεζών και ώρα 15:00 (Lin et al., 2008).....	154
Πίνακας 10: Τρόποι ψύξης που παρέχονται από διαφορετικές αστικές υποδομές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και οι τοποθεσίες προτεραιότητας τους για τη βελτιστοποίηση των οφελών ψύξης (Norton et al., 2015).....	157
Πίνακας 11: Υπολογισμένες τιμές $T_{mrt}$ , PMV, και PET σε τέσσερις θέσεις, το απόγευμα (16:00) (Chatzidimitriou and Yannas, 2015) .....	166

## **Κατάλογος Διαγραμμάτων**

Διάγραμμα 1: Στατιστική ανάλυση των ετών που κάλυψαν τα προς μελέτη κείμενα. ....	169
Διάγραμμα 2: Στατιστική ανάλυση της χωρικής κατανομής των κειμένων που μελετήθηκαν. ....	170
Διάγραμμα 3: Στατιστική ανάλυση της κλιματικής κατανομής των κειμένων που μελετήθηκαν. ....	170
Διάγραμμα 4: Στατιστική ανάλυση των ειδών βλάστησης των κειμένων που μελετήθηκαν. ....	171
Διάγραμμα 5: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τα πάρκα. ....	172
Διάγραμμα 6: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τα δένδρα. ....	173
Διάγραμμα 7: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τις πράσινες στέγες. ....	174
Διάγραμμα 8: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για το συνδυασμό πράσινων υποδομών. ....	174
Διάγραμμα 9: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα πάρκα. ....	175
Διάγραμμα 10: Στατιστική ανάλυση της απόστασης της ψυκτικής επίδρασης των πάρκων στο γύρω αστικό περιβάλλον. ....	176
Διάγραμμα 11: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα δένδρα. ....	177
Διάγραμμα 12: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τις πράσινες στέγες. ....	177

## Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

Συντομογραφία / Ακρωνύμιο	Αναλυτική Περιγραφή
ΑΣΝ	Αστική Θερμική Νησίδα
UHI	Urban Heat Island
UHII	Urban Heat Island Intesity
UNFCC	Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές
CLHI	Layer Heat Island
BLHI	Boundary Layer Heat Island
SHI	Surface Heat Island
OHE	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
LAI	Leaf Area Index
HCT	Human Thermal Comfort
PET	Physiologically Equivalent Temperature
PCI	Park Cooling Intensity
PMV	Predicted Mean Vote
SVF	Sky View Factor
PAI	Plant Area Index
CII	Cool Island Intensity

## Highlights

- Αποτύπωση με λεπτομέρεια του μηχανισμού δράσης της βλάστησης στις μικρο – έως και τόπο – κλιματικές συνθήκες.
- Εξέταση διαφορετικών ειδών βλάστησης: πάρκα, δένδρα, πράσινες στέγες και τοίχοι, γρασίδι και συνδυασμός πράσινων υποδομών.
- Ποσοτική αποτύπωση της επίδρασης των διαφορετικών ειδών βλάστησης στο μετριασμό της ΑΘΝ και της κλιματικής αλλαγής.
- Οι αστικές πράσινες υποδομές επιδρούν θετικά στις θερμικές συνθήκες και βελτιώνουν τη θερμική αντίληψη των ανθρώπων.
- Οι αστικές πράσινες υποδομές συμβάλλουν θετικά σε μια ισορροπημένη αμφίδρομη σχέση ανθρώπου, περιβάλλοντος και κλίματος.
- Καταγραφή συνοπτικών προτάσεων / οδηγιών – Χρήσιμο εργαλείο για τους επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στο πεδίο του αστικού περιβάλλοντος.

## **Συνεισφορά**

Τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία αστικοποίηση έχει προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα στον αστικό χώρο, κυρίως εξαιτίας της αύξησης του δομημένου περιβάλλοντος και συνεπώς έχει καταστεί επιτακτική η ανάγκη αναζήτησης τρόπων αντιμετώπισής τους. Η παρούσα μελέτη αποτυπώνει με λεπτομέρεια το μηχανισμό δράσης των διαφορετικών ειδών βλάστησης στις μικρο – έως και τόπο – κλιματικές συνθήκες. Από τη μελέτη δημοσιεύσεων σε έγκυρα περιοδικά με κριτές αναλύθηκαν συστηματικά οι επιπτώσεις της φύτευσης σε ποικιλία κλιματικών και αστικών διαμορφώσεων. Επίσης πραγματοποιήθηκε ανάλυση των επιμέρους χαρακτηριστικών των δημοσιεύσεων και εξήχθησαν ποσοτικά χαρακτηριστικά (στατιστικά). Τέλος δημιουργήθηκε συνοπτικός οδηγός για τις βέλτιστες πρακτικές που ως κύριο εργαλείο τους είναι η αξιοποίηση της βλάστησης στη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών. Ο εν λόγω οδηγός αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για πολεοδόμους, μηχανικούς, γεωπόνους και άλλους επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στο πεδίο του αστικού περιβάλλοντος.

## 1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία αστικοποίηση έχει προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα στον αστικό χώρο, κυρίως εξαιτίας της αύξησης του δομημένου περιβάλλοντος και συνεπώς έχει καταστεί επιτακτική η ανάγκη αναζήτησης τρόπων αντιμετώπισης τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής συνιστώσας σε όλα τα επίπεδα σχεδιασμού (χωροταξικό, πολεοδομικό, αρχιτεκτονικό).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή, η τρύπα του όζοντος και άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα συνδέονται άμεσα με τα ρυπογόνα προβλήματα των αστικών περιοχών. Επιπρόσθετα, οι τρόποι, οι μέθοδοι και οι εφαρμογές δόμησης που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, έχουν προκαλέσει αλλαγές στο περιβάλλον των πόλεων. Οι αλλαγές αυτές σχετίζονται με την κίνηση του αέρα εντός του αστικού χώρου, την πιο συχνή δημιουργία ακραίων καιρικών φαινομένων, την υπερθέρμανση των πυκνά δομημένων περιοχών, τις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ γειτονικών περιοχών και τη δημιουργία φαινομένων, όπως αυτό της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Ειδικότερα, το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του αστικού μικροκλίματος και συνεπώς στην ποιότητα ζωής των κατοίκων των πόλεων. Οι πιο άμεσα αντιληπτές συνέπειες του φαινομένου είναι η μείωση της ποιότητας του αέρα και η επιβάρυνση της δημόσιας υγείας. Επιπλέον, η μείωση των επιφανειών πρασίνου έχουν τη δική τους συμμετοχή στην όξυνση των παραπάνω προβλημάτων και γενικότερα της κλιματικής αλλαγής.

Επομένως, μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στον αστικό σχεδιασμό είναι η προώθηση στρατηγικών για την προσαρμογή του αστικού μικροκλίματος. Οι επιπτώσεις στην αλλαγή του κλίματος απαιτούν επανεξέταση του αστικού σχεδιασμού, και ιδιαίτερα του σχεδιασμού των πράσινων αστικών χώρων και στοιχείων, όπως τα αστικά πάρκα, τα δάση, οι κήποι και τα αστικά δένδρα. Αυτοί οι χώροι και τα στοιχεία αναφέρονται γενικά ως αστικές πράσινες υποδομές και παρέχουν οφέλη μέσω των υπηρεσιών οικοσυστήματος. Η ρύθμιση του μικροκλίματος είναι μια από αυτές τις υπηρεσίες. Οι αστικές πράσινες υποδομές, αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο για την ικανότητά τους να μειώνουν τα επίπεδα θερμότητας στις πόλεις και να βελτιώνουν την υγεία, την ευημερία και την θερμική



άνεση των κατοίκων των πόλεων. Επιπλέον αποτελούν έναν από τους απλούστερους και αποτελεσματικότερους τρόπους για τη μείωση της ζήτησης ενέργειας. Για το λόγο αυτό οι ευεργετικές λειτουργίες της βλάστησης εξετάζονται διεξοδικά και τεκμηριώνονται τόσο από βιολογική άποψη (π.χ. εξατμισοδιαπνοή) όσο και από φυσική (π.χ. σκίαση, μείωση της ταχύτητας του ανέμου). Σημαντικό χαρακτηριστικό της βλάστησης, από την σκοπιά της μικροκλιματικής αλλαγής, είναι η ικανότητα της να ψύχει ή να θερμαίνει το παρακείμενο περιβάλλον μέσω των λειτουργιών της σκίασης και της εξατμισοδιαπνοής. Επιπλέον ο τύπος της βλάστησης (πάρκο, δένδρα, ιδιωτικοί κήποι κλπ.) αποτελεί σημαντικό παράγοντα ευεργετικής επίδρασης στις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Οι θετικές επιδράσεις των αστικών πράσινων υποδομών στις θερμικές συνθήκες περιγράφονται σε διάφορες αστικές κλίμακες και για διαφορετικούς τύπους δομών αστικής βλάστησης. Εκτός από την ενίσχυση των φυσικών θερμικών συνθηκών, οι αστικές πράσινες υποδομές έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν και τη θερμική αντίληψη των ανθρώπων.

Ωστόσο οι αστικές πράσινες υποδομές θα πρέπει να αποτελούν ένα δίκτυο χώρων πρασίνου μέσα στην πόλη και όχι μεμονωμένες και σημειακές ευκαιρίες για ξεκούραση. Με αυτό τον σχεδιασμό οι χώροι πρασίνου θα αποτελούν οργανικά στοιχεία της πόλης, δημιουργώντας ένα συνεχές πλέγμα, έναν ιστό, που περιλαμβάνει χώρους κίνησης και ξεκούρασης.

Η χρήση της βλάστησης ως συνιστώσα του αστικού σχεδιασμού δεν αποτελεί την λύση όλων των προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος αστικός χώρος. Όμως, είναι δυνατόν οι ανοιχτοί πράσινοι δημόσιοι χώροι να συμβάλλουν θετικά σε μια ισορροπημένη αμφίδρομη σχέση ανθρώπου, περιβάλλοντος και κλίματος.

## **2. Σκοπός και μεθοδολογία**

Η αστικοποίηση έχει προκαλέσει πολλές ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές αλλαγές. Κατά την εξέλιξή της αστικοποίησης η μορφή του τοπίου αλλάζει, οι φυσικές εκτάσεις αντικαθίστανται από τον αστικό ιστό, στον οποίο παρουσιάζονται θερμοκρασίες υψηλότερες σε σύγκριση με τις γύρω από αυτόν φυσικές περιοχές, φαινόμενο γνωστό ως Αστική Θερμική Νησίδα. Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του αστικού μικροκλίματος και συνεπώς στην ποιότητα ζωής των κατοίκων των αστικών περιοχών. Η κλιματική αλλαγή επιβαρύνει ακόμη περισσότερο τις αστικές περιοχές εντείνοντας τα δυσμενή φαινόμενα. Εδώ και δεκαετίες, οι σχετικές μελέτες δείχνουν πως ένα από τα βασικά εργαλεία ανάσχεσης των αρνητικών επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος σε πλανητικό επίπεδο, αλλά και της τροποποίησης του κλίματος στην αστική κλίμακα είναι η βλάστηση. Φαίνεται πως είναι το αποτελεσματικότερο μέσο βελτίωσης των βιοκλιματικών και άλλων συνθηκών στις αστικές περιοχές του πλανήτη.

Σκοπός, λοιπόν, της μελέτης είναι να αποτυπωθεί με λεπτομέρεια ο μηχανισμός δράσης της βλάστησης στις μικρο – έως και τόπο – κλιματικές συνθήκες. Από τη μελέτη δημοσιεύσεων σε έγκυρα περιοδικά με κριτές αναλύθηκαν συστηματικά οι επιπτώσεις της φύτευσης σε ποικιλία κλιματικών και αστικών διαμορφώσεων. Επίσης, δημιουργήθηκε συνοπτικός οδηγός με τις βέλτιστες πρακτικές που ως κύριο εργαλείο τους θα είναι η αξιοποίηση της βλάστησης στη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών.

Η αναζήτηση των σχετικών ερευνητικών δημοσιεύσεων διεξήχθη με τη χρήση βάσεων δεδομένων χρησιμοποιώντας συνδυασμούς σχετικών λέξεων – κλειδιών. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν οι βάσεις δεδομένων Web of Science και Google Scholar. Οι λέξεις - κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: αστικοποίηση, Αστική Θερμική Νησίδα, κλιματική αλλαγή, αστικό μικροκλίμα, αστικά πάρκα, αστικά δένδρα, γρασίδι, πράσινες στέγες, πράσινοι τοίχοι, αστικές πράσινες υποδομές και θερμική άνεση. Μελετήθηκαν περίπου 300 άρθρα που πληρούσαν τα παραπάνω κριτήρια και επιλέχθηκαν για να παρουσιαστούν αναλυτικά στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας 148 από αυτά. Η ανάλυση και η παρουσίαση τους έχει γίνει με βάση τυποποιημένη κατηγοριοποίηση. Ακολούθησε ανάλυση επιμέρους χαρακτηριστικών των δημοσιεύσεων (metanalysis) ώστε να εξαχθούν ποσοτικά

χαρακτηριστικά (στατιστικά). Τέλος έγινε καταγραφή συμπερασμάτων με τη μορφή συνοπτικών προτάσεων / οδηγιών ώστε να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για πολεοδόμους, μηχανικούς, γεωπόνους και άλλους επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στο πεδίο του αστικού περιβάλλοντος.

### 3. Βασικές έννοιες

#### 3.1. Κλίμα

Το κλίμα είναι η σύνθεση των καθημερινών καιρικών συνθηκών σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το πραγματικό κλίμα αποτελείται από μακροχρόνιες μετρήσεις (όπως μέσες τιμές, αποκλίσεις, πιθανότητες ακραίων τιμών) της κατάστασης της ατμόσφαιρας στην περιοχή αυτή ή των μετεωρολογικών στοιχείων στην περιοχή αυτή. Η σύνθεση συνεπάγεται πολύ περισσότερο από απλό μέσο όρο. Το κλίμα μπορεί επίσης να περιγραφεί ως στατιστική περιγραφή των καιρικών συνθηκών και των ατμοσφαιρικών συνθηκών όπως παρουσιάζονται από τα πρότυπα τέτοιων συνθηκών, σε μια δεδομένη περιοχή, για μια καθορισμένη χρονική περίοδο αρκετά μεγάλη ώστε να είναι αντιπροσωπευτική (συνήθως 30 έτη). Από τους παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα καθοριστικοί είναι το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο, το ανάγλυφο και η κάλυψη του εδάφους, οι άνεμοι και η διανομή ξηράς και θάλασσας (Maunder, 1992).

Η κλιματολογία έχει πολλαπλούς στόχους. Στην ιστορική της ανάπτυξη, οι πρώτες προσπάθειες κατευθύνονταν προς μια γεωγραφική απογραφή των κλιματικών συνθηκών, η οποία οδήγησε σε προσπάθειες για την ταξινόμηση του κλίματος. Ως φυσική επιστήμη, οι εξελίξεις οδήγησαν σε θεωρίες σχετικά με την αιτιώδη συνάφεια τόσο του παγκόσμιου όσο και του περιφερειακού και τοπικού κλίματος. Λόγω της επίδρασης του κλίματος στις ανθρώπινες δραστηριότητες, έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια για την εφαρμογή της γνώσης που αποκτήθηκε σχετικά με το κλίμα για την ανθρώπινη ευημερία, συμπεριλαμβανομένων προσπαθειών για την ανάπτυξη σχεδίων πρόβλεψης των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών. Ένα σημαντικό κίνητρο για αυτό ήταν να εκτιμηθούν οι δυνατότητες ανθρωπογενών μεταβολών του κλίματος (Oliver, 2008).

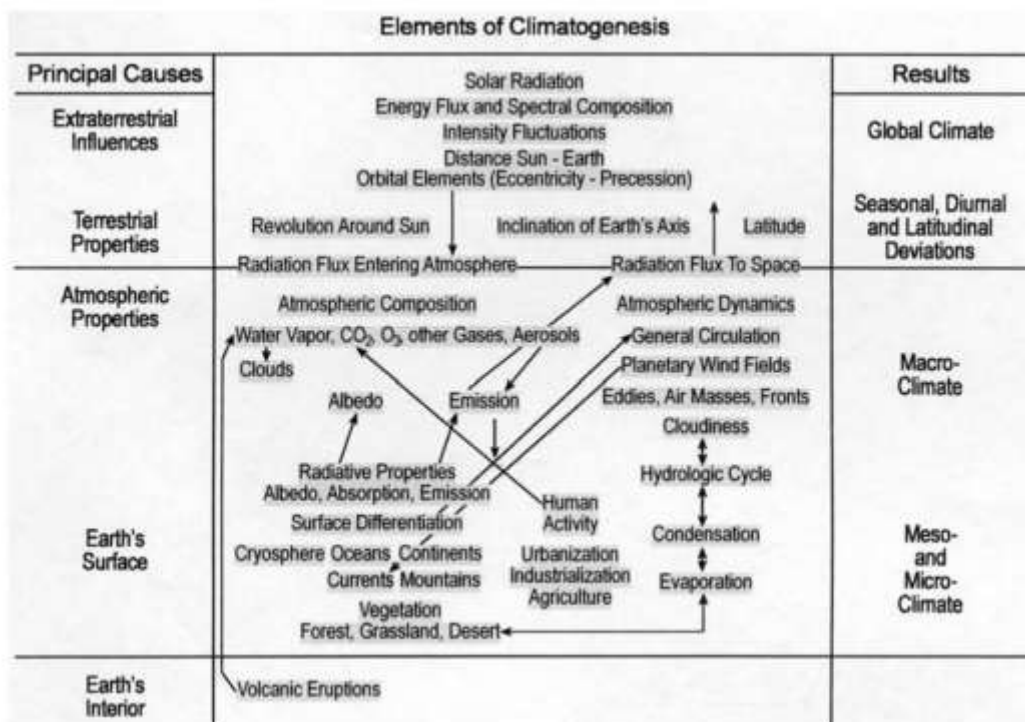
Συνεπώς η κατανόηση του κλίματος αποτελεί το σημαντικότερο δεδομένο που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας στον τρόπο χρήσης της βλάστησης για το μετριασμό των επιπτώσεων της αστικής θερμικής νησίδας και της κλιματικής αλλαγής.

Τα κυριότερα κλιματικά στοιχεία είναι:

- η βροχόπτωση,

- η θερμοκρασία,
- η υγρασία,
- η ηλιοφάνεια και
- η ταχύτητα του ανέμου,

Εκτός από τα κύρια κλιματικά στοιχεία, μπορούμε να συμπεριλάβουμε στο κλίμα και τα εξής στοιχεία: τη νεφοκάλυψη, την εξάτμιση, τις ελάχιστες θερμοκρασίες του εδάφους και τις θερμοκρασίες του εδάφους σε διάφορα βάθη, καθώς και άλλα στοιχεία - συμπεριλαμβανομένων αυτών του ανώτερου αέρα. Στην Εικόνα 1 αντικατοπτρίζονται ορισμένα από τα διάφορα στοιχεία της διαμόρφωσης του κλίματος και κάποιες από τις αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις (Oliver, 2005).



Εικόνα 1: Κύριοι παράγοντες διαμόρφωσης του κλίματος στη Γη με περιορισμένες ενδείξεις μηχανισμών ανάδρασης (Oliver, 2005).

Ανάλογα με τη χρήση των μετεωρολογικών πληροφοριών για την καταγραφή του κλίματος χρησιμοποιούνται τρεις κλίμακες (Barry and Carleton, 2001):

- το **μακροκλίμα**, το οποίο είναι η γενικευμένη εικόνα μιας περιοχής με διάφορα γεωφυσικά χαρακτηριστικά
- το **μέσοκλίμα**, το οποίο καθορίζεται από τα γεωφυσικά χαρακτηριστικά ενός τόπου καθώς και τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις

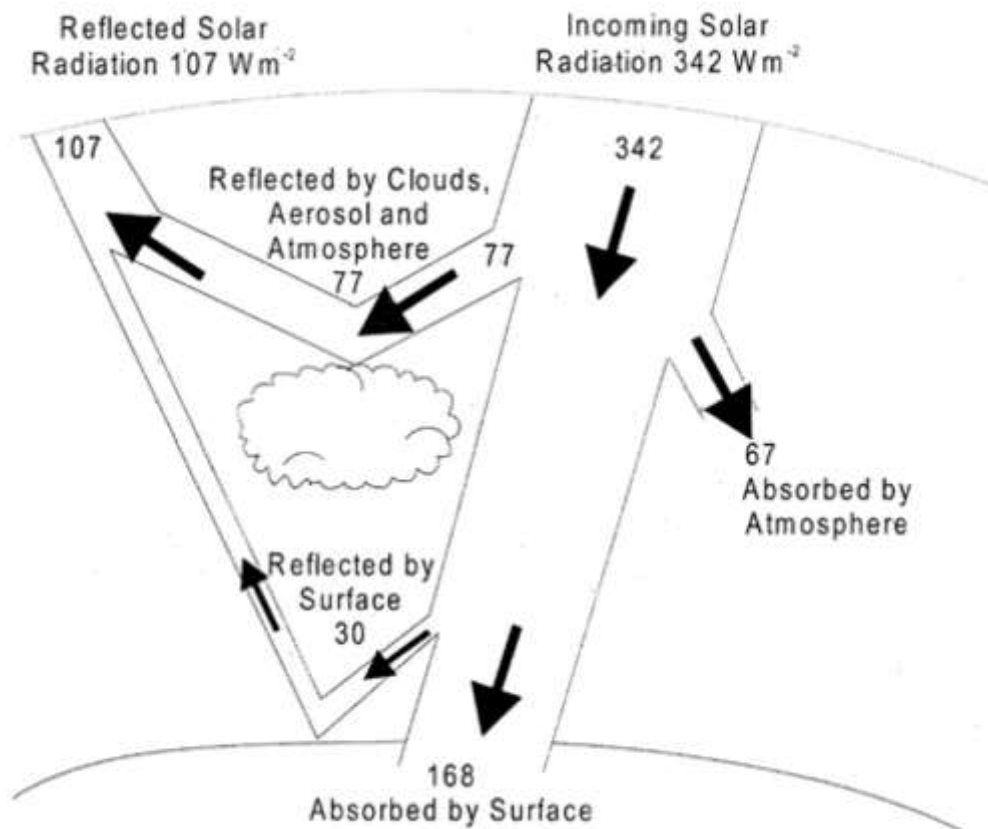
- το **μικροκλίμα**, το κλίμα που μπορεί να εμφανιστεί σε ένα μεμονωμένο πεδίο ή γύρω από ένα κτίριο. Το μικροκλίμα μπορεί να εκτείνεται οριζόντια από από το 1 m έως τα 100 m και κάθετα από την επιφάνεια στα 100 m.

Στην παρούσα μελέτη ενδιαφέρον παρουσιάζει το μικροκλίμα και ιδιαίτερα το αστικό μικροκλίμα, στο οποίο θα αναφερθούμε με λεπτομέρεια.

### **3.1.1 Γενικά για το κλίμα**

#### **3.1.1.1 Ηλιακή ακτινοβολία**

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο κοινός όρος για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο. Σχεδόν όλη η ακτινοβολούμενη ενέργεια που λαμβάνεται από τη Γη προέρχεται από τον ήλιο ως ηλιακή ακτινοβολία. Χωρίς αυτή την εισροή ακτινοβολούμενης ενέργειας η Γη θα ήταν ένας ψυχρός, σκοτεινός, άψυχος πλανήτης. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα που επηρεάζει τόσο τα μετεωρολογικά και κλιματικά φαινόμενα που παρατηρούνται στη Γη όσο και στις διακυμάνσεις τους. Η πραγματική ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης είναι συνάρτηση της γεωμετρίας της ηλιοφάνειας και των ιδιοτήτων απορρόφησης και σκέδασης της ατμόσφαιρας που περιβάλλει τον πλανήτη. Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά φτάνει στην επιφάνεια της Γης διακρίνεται στην **άμεση**, τη **διάχυτη** και την **ανακλώμενη** ακτινοβολία. Η άμεση αφορά τη δέσμη των παράλληλων ακτίνων οι οποίες προέρχονται απευθείας από τον ήλιο. Η διάχυτη είναι αυτή που φτάνει στο έδαφος μετά από τη σκέδασή της στην ατμόσφαιρα, δηλαδή της αλλαγής της διεύθυνσης διάδοσής της λόγω συγκρούσεων με αιωρούμενα σωματίδια και απορρόφησης από τα μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα και τις αέριες χημικές ενώσεις. Ανακλώμενη είναι το τμήμα της ακτινοβολίας που ανακλάται προς το Διάστημα ανάλογα με το είδος της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει. Το σύνολο της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας αποτελούν την **ολική ηλιακή ακτινοβολία** και είναι μικρού μήκους κύματος. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται ο μέσος παγκόσμιος προϋπολογισμός ακτινοβολίας μικρού μήκους που δείχνει τη διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια (Oliver, 2008).



Εικόνα 2: Ο μέσος παγκόσμιος προϋπολογισμός ακτινοβολίας μικρού μήκους που δείχνει τη διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια (Oliver, 2008)

Η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος διαφέρει ανάλογα τόσο με την εποχή όσο και με τις γεωγραφικές συντεταγμένες. Τους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος τους διακρίνουμε σε αστρονομικούς, γεωγραφικούς και γεωμετρικούς. Και ειδικότερα (Liou, 1980):

A. Αστρονομικοί παράγοντες:

- Η μεταβολή της απόστασης Γης – Ήλιου
- Το ύψος του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα

B. Γεωγραφικοί παράγοντες:

- Το γεωγραφικό πλάτος
- Το ύψος του σημείου μέτρησης από την επιφάνεια της θάλασσας
- Η τοπογραφία του ορίζοντα στο σημείο παρατήρησης
- Το είδος και η υφή της επιφάνειας που δέχεται την ακτινοβολία

Γ. Γεωμετρικοί παράγοντες:

- Ο προσανατολισμός της επιφάνειας



- Η κλίση της επιφάνειας

### **3.1.1.2 Θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα**

Οι κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα καθορίζονται από τη θερμοκρασία. Θερμοκρασία αέρα ορίζουμε τη θερμοκρασία υπό σκιά σε ύψος 1.5 με 2 m από το έδαφος (Maunder, 1992).

Οι θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν σε έναν τόπο εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες (Αριανούτσου et al., 1999):

- Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου
- Την εποχή του έτους
- Την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας
- Το ισοζύγιο ακτινοβολίας
- Τα ποσά θερμότητας που εκλύονται ή προσλαμβάνονται κατά την αλλαγή των φάσεων του νερού
- Την κάλυψη του εδάφους
- Το ποσό της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας
- Το ανάγλυφο του εδάφους
- Την κατανομή ξηράς και θάλασσας
- Τα θαλάσσια ρεύματα
- Το υψόμετρο
- Τη νεφοκάλυψη
- Τους επικρατούντες ανέμους
- Τη συγκέντρωση υδρατμών και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα.

### **3.1.1.3 Άνεμος**

Η διαφορά πίεσης που δημιουργείται μεταξύ περιοχών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του ανέμου. Ενώ η μετακίνηση του αέρα πάνω στις επιφάνειες της Γης των περιοχών με υψηλές και χαμηλές βαρομετρικές πιέσεις έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της διεύθυνσης και της έντασης αυτού.

Σε παγκόσμια κλίμακα, οι άνεμοι του πλανήτη λειτουργούν ως πρωτογενής μηχανισμός θερμικής ισορροπίας που συμβάλλει στην αντιστάθμιση της συνεχής



γεωγραφικής ενεργειακής ανισορροπίας της γης. Αυτή η ανισορροπία προκαλείται από το γεγονός ότι η ισημερινή περιοχή απορροφά περισσότερη ακτινοβολία από ότι μπορεί να χάσει και ότι οι πολικές περιοχές χάνουν περισσότερη ακτινοβολία από ότι λαμβάνουν από τον ήλιο. Η μεγάλη κίνηση της ατμόσφαιρας - η ατμοσφαιρική κυκλοφορία - μεταφέρει ένα μεγάλο μέρος της πλεονάζουσας θερμότητας από τις ισημερινές περιοχές στα ψυχρότερα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Δεδομένου ότι οι θέσεις των περιοχών με υψηλές και χαμηλές βαρομετρικές πιέσεις παρουσιάζουν περιοδικότητα, οι παρατηρούμενες εποχιακές μεταβολές στα χαρακτηριστικά του ανέμου είναι σχετικά σταθερές. Η εποχιακή μεταβολή της μέσης ταχύτητας του ανέμου δεν εμφανίζει τις διακυμάνσεις (μέγιστα, ελάχιστα) της θερμοκρασίας ή της υγρασίας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η ταχύτητα του ανέμου εμφανίζει μέγιστη τιμή τις μεσημεριανές και τις πρώτες απογευματινές ώρες και ελάχιστη αργά τη νύχτα. Την καλοκαιρινή περίοδο, εξαιτίας κυρίως της ηλιακής θέρμανσης και των ισχυρών κατακόρυφων κινήσεων το εύρος μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης ταχύτητας του ανέμου αποκτά τις μεγαλύτερες τιμές. Αντίθετα τη χειμερινή περίοδο εξαιτίας της περιορισμένης κατακόρυφης κυκλοφορίας η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου είναι μικρότερη (Barry and Chorley, 1998).

Το στρώμα που εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος του 1.5 χιλιομέτρου ορίζεται ως οριακό στρώμα και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διεύθυνση και την ένταση του ανέμου μέσα σε αυτό είναι (Oke, 2002):

- Οι μεγάλης κλίμακας οριζόντιες διαφορές πίεσης και θερμοκρασίας στην κατώτερη ατμόσφαιρα
- Το ανάγλυφο του εδάφους
- Η περιστροφική κίνηση της γης
- Ο ενδοημερήσιος κύκλος θέρμανσης και ψύξης του εδάφους που καθορίζει τη θερμική δομή του οριακού στρώματος
- Το ύψος του οριακού στρώματος
- Η τροφοδοσία ατμοσφαιρικού αέρα στο οριακό στρώμα
- Οι ανταλλαγές μάζας, ενέργειας και υγρασίας στην κορυφή του οριακού στρώματος
- Οι μεγάλης κλίμακας οριζόντιες συγκλίσεις ή αποκλίσεις αέριων μαζών
- Η παρουσία νεφών στο οριακό στρώμα

- Ο υετός στο οριακό στρώμα.

Στις αστικές περιοχές το πεδίο ανέμου επηρεάζεται τόσο από το έντονο ανάγλυφο της πόλης όσο από τα «φαράγγια» (canyon), τα οποία δημιουργούνται στους οδικούς άξονες ή τις ελεύθερες διόδους.

#### **3.1.1.4 Υγρασία ατμόσφαιρας**

Η υγρασία αναφέρεται στην περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Στην ατμόσφαιρα το 95% της συνολικής ποσότητας νερού βρίσκεται υπό μορφή υδρατμών ενώ το υπόλοιπο 5% υπό τη μορφή υδροσταγονιδίων και παγοκρυστάλλων. Παρόλο που η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς κατ' όγκο είναι μόνο 4%, η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι καθοριστική, δεδομένου ότι περιορίζουν τη διάδοση της γήινης ακτινοβολίας προς το διάστημα. Η περιεκτικότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα μειώνεται ανάλογα με το ύψος, αυτό οφείλεται στη μείωση της θερμοκρασίας, η οποία συμβάλλει και στη μείωση της ικανότητας του ατμοσφαιρικού αέρα να συγκρατήσει τους υδρατμούς (Oliver, 2008).

Η υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα είναι δυνατόν να εκφραστεί με τους παρακάτω τρόπους (Oliver, 2008):

**Τάση των υδρατμών (mmHg ή mb):** πρόκειται για τη μερική πίεση που ασκούν οι υδρατμοί που δημιουργούνται από την εξάτμιση. Αν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι κορεσμένος, τότε η τάση αυτή καλείται μέγιστη τάση υδρατμών.

**Απόλυτη υγρασία ( $\text{Kg/m}^3$ ):** επίσης γνωστή ως συγκέντρωση ατμών ή πυκνότητα ατμών. Πρόκειται για το πηλίκο της μάζας των υδρατμών που περιέχονται σε έναν όγκο ατμοσφαιρικού αέρα προς τον όγκο του αέρα, δηλαδή η πυκνότητα του υδρατμού. Για τους μετεωρολόγους η απόλυτη υγρασία δεν είναι πολύ χρήσιμη αφού δεν λαμβάνει υπόψη της θέματα πίεσης.

**Σχετική υγρασία (%):** πρόκειται για το λόγο της μάζας των υδρατμών που περιέχεται σε έναν όγκο ατμοσφαιρικού αέρα προς τη μάζα των υδρατμών που θα περιείχε ο ίδιος όγκος αν ήταν κορεσμένος. Αποτελεί μέτρο κορεσμού του ατμοσφαιρικού αέρα. Ο τέλειος ξηρός αέρας έχει σχετική υγρασία 0% και ο πλήρως κορεσμένος αέρας 100%.

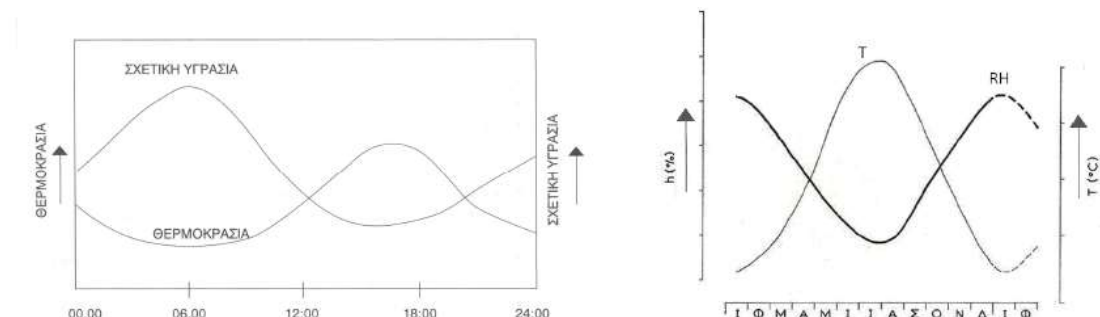
**Ειδική υγρασία** (gr/Kgr): πρόκειται για το λόγο της μάζας των υδρατμών προς τη μάζα του υγρού αέρα που τους περιέχει. Για τη μετεωρολογία είναι πολύ πιο χρήσιμη έκφραση σε σχέση με την απόλυτη υγρασία

**Αναλογία μείγματος** (gr/Kgr): πρόκειται για το λόγο της μάζας των υδρατμών προς τη μάζα του ξηρού αέρα που τους περιέχει.

**Θερμοκρασία δρόσου** ( $^{\circ}\text{C}$ ): πρόκειται στην ουσία για άλλη έκφραση της υγρασίας, καθώς αποτυπώνει τη θερμοκρασία στην οποία θα πρέπει να ψυχθεί μια αέρια μάζα, σε συνθήκες σταθερής πίεσης, ώστε να κορεστεί. Η θερμοκρασία δρόσου εναλλακτικά ονομάζεται και σημείο δρόσου.

**Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου** ( $^{\circ}\text{C}$ ): πρόκειται για τη θερμοκρασία στην οποία θα φτάσει μια θερμικά μονωμένη αέρια μάζα όταν θα κορεστεί από υδρατμούς που εξατμίζονται σε συνθήκες σταθερής πίεσης.

Υπό την προϋπόθεση ότι ο ουρανός είναι ανέφελος και επικρατούν συνθήκες άπνοιας ή σταθερού ανέμου, η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και η θερμοκρασία του αέρα ακολουθούν αντίστροφη πορεία. Στην Εικόνα 3 εμφανίζεται η ημερήσια και η ετήσια αντίστοιχα μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Τις πρωινές ώρες η θερμοκρασία αποκτά τις ελάχιστες τιμές της, ενώ η υγρασία παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της. Αντιθέτως τις μεσημεριανές ώρες η θερμοκρασία αποκτά τις μέγιστες τιμές της, ενώ η υγρασία παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή της. Κατά τη διάρκεια του έτους η σχετική υγρασία εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της το χειμώνα και την ελάχιστη το καλοκαίρι. Συμπεραίνουμε ότι το ετήσιο εύρος της σχετικής υγρασίας είναι εξαρτώμενο από το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος (Αριανούτσου et al., 1999).

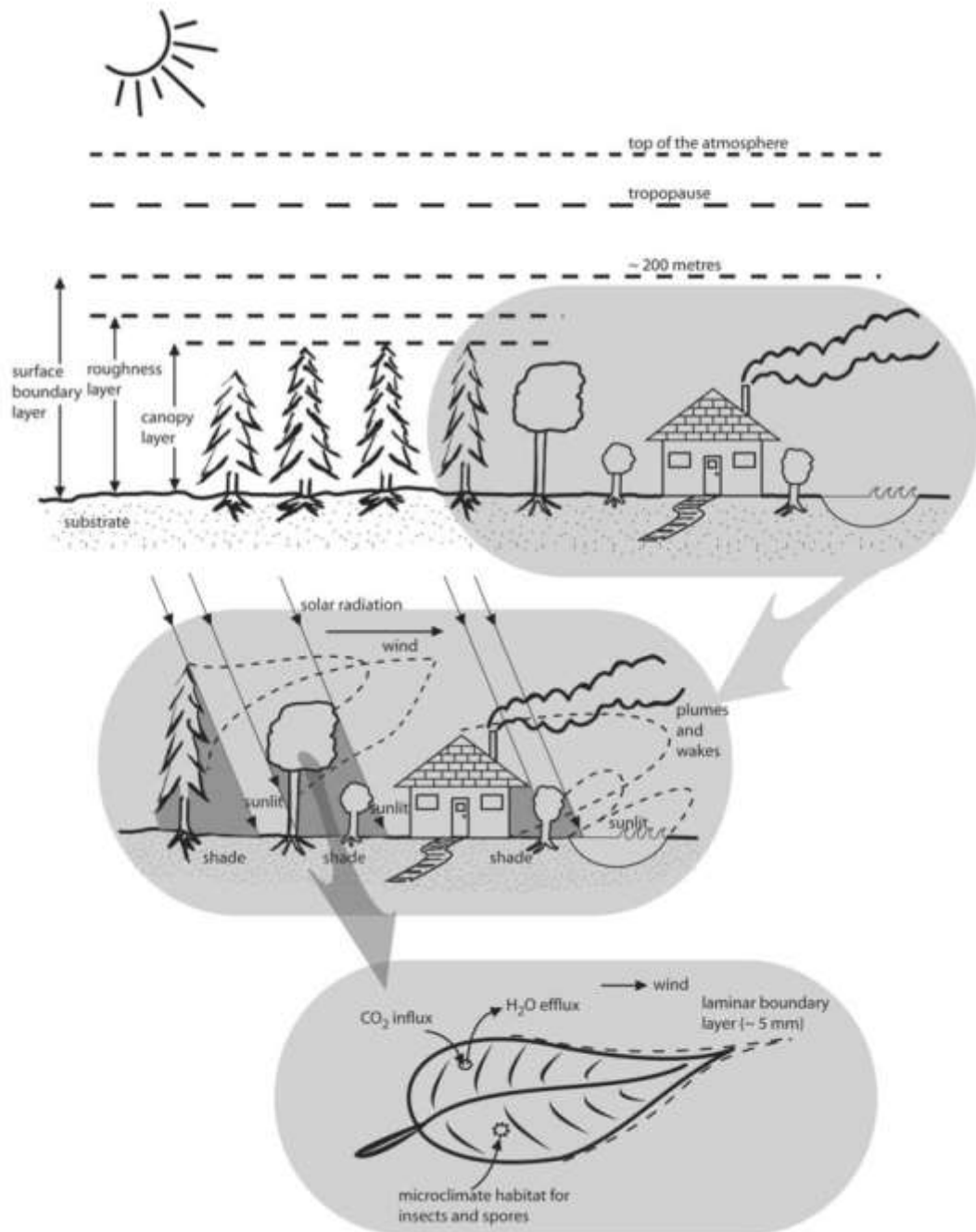


Εικόνα 3: Ημερήσια και ετήσια αντίστοιχα μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (Αριανούτσου et al., 1999)

### 3.2. Μικροκλίμα

Η μικροκλιματολογία, η επιστημονική μελέτη μικροκλίματος, ασχολείται με την ατμοσφαιρική στρώση που εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης σε ένα ύψος όπου τα αποτελέσματα των χαρακτηριστικών της υποκείμενης επιφάνειας δεν μπορούν πλέον να διακριθούν από το τοπικό κλίμα (American Meteorological Society, 2000). Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση κάθετης διατομής της ατμόσφαιρας της Γης. Τα μικροκλίματα εκτείνονται από την επιφάνεια ή ακριβώς κάτω από αυτήν μέχρι ένα ύψος όπου τα αποτελέσματα των επιφανειακών χαρακτηριστικών δεν μπορούν να διακριθούν από το τοπικό κλίμα. Εύκολα μπορούν να διακριθούν πολυάριθμα μικροκλίματα, όπως δάσος, θόλος του δάσους, φυτά κηπευτικών, κτίρια, άκρη λίμνης, επιφάνεια του εδάφους, ενδιαιτήματα εντόμων και άλλα (Oliver, 2005).

Στις αστικές περιοχές το έντονο ανάγλυφο σε συνδυασμό με τις γεωμετρικές παραμέτρους των κτιρίων, τις πηγές εκπομπής θερμότητας, την ποικιλία των χρησιμοποιούμενων υλικών και τη διαφορετική τους θερμοχωρητικότητα συνιστούν μια διαφορετική διάσταση της κλιματολογίας. Συνεπώς η αστική κλιματολογία έχει ως αντικείμενο φαινόμενα που συμβαίνουν σε μικρή κλίμακα. Στοιχεία του μικροκλίματος είναι η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η κίνηση του αέρα και η υγρασία. Ειδικότερα για το αστικό μικροκλίμα οι παράγοντες που το διαφοροποιούν είναι η ανθρωπογενής παραγωγή θερμότητας, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε συνδυασμό με την υγρασία και την κίνηση του αέρα και οι αστικές διαμορφώσεις, είτε φυσικές (π.χ. δέντρα, φυσικό τοπίο) είτε τεχνητά εμπόδια, όπως τα κτίρια (Yannas, 2001). Η παράμετρος που κυρίως τροποποιείται στις αστικές περιοχές είναι η ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται τοπικά και οι παράμετροι όπως η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου (Charalampopoulos et al., 2013).



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση κάθετης διατομής της ατμόσφαιρας της Γης (Oliver, 2005)

### 3.2.1 Αστικό μικροκλίμα

Με τον όρο αστικό μικροκλίμα αναφερόμαστε στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε έναν συγκεκριμένο αστικό χώρο, όπως μια πλατεία, ένα πάρκο ή μια γειτονιά. Οι συνθήκες αυτές είναι δυνατόν να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή. Η

διαδικασία της αστικοποίησης συμβάλλει σημαντικά στη μεταβολή της φυσικής επιφάνειας και στις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος αποδεικνύει τις ισχυρές ενδείξεις για την αλλαγή του κλίματος εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Oke, 1997). Τον εικοστό αιώνα πραγματοποιήθηκε ταχεία αστικοποίηση σε παγκόσμια κλίμακα και η πλειοψηφία του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε πόλεις. Όμως, η ταχεία επέκταση των πόλεων έχει προκαλέσει ταυτόχρονες αλλοιώσεις στο αστικό κλιματικό περιβάλλον (Landsberg, 1981). Γενικά, υπάρχουν πολλές εμφανείς ανθρωπογενείς επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό μας περιβάλλον. Αυτές ποικίλλουν από τη μικροκλίμακα (π.χ., την αντικατάσταση των δένδρων με χώρο στάθμευσης) έως τη μακροοικονομική κλίμακα (π.χ., επιπτώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στο παγκόσμιο κλίμα από την καύση ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές).

Σύμφωνα με τον Oke (1997) οι παράγοντες, οι οποίοι διαμορφώνουν το αστικό μικροκλίμα είναι οι εξής:

- Η τοπογραφία του τόπου, δηλαδή η ύπαρξη βουνών, λόφων, η κλίση του εδάφους ακόμη και η γειτνίαση με τη θάλασσα.
- Οι εδαφολογικές συνθήκες και ειδικότερα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η εδαφολογική σύσταση π.χ. η υδροχωρητικότητα και η υδροπερατότητα.
- Η παρουσία στοιχείων πρασίνου και συγκεκριμένα η κατανομή και η χωροταξική διάταξη αυτού.
- Οι πηγές εκπομπής θερμότητας και σε μικρότερο βαθμό η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται.
- Η πυκνότητα του πληθυσμού και η πυκνότητα των οικοδομικών κατασκευών.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες και τον συνδυασμό αυτών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η κάθε αστική περιοχή παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά μικροκλίματος.

Οι σημαντικότερες αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στα κλιματικά δεδομένα του μικροκλίματος μιας περιοχής κατά τη διαδικασία της αστικοποίησης παρουσιάζονται παρακάτω (Αριανούτσου et al., 1999):

- Η πυκνή δόμηση σε συνδυασμό με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και της εποχής μειώνει τον πραγματικό χρόνο ηλιοφάνειας σε ποσοστό 5 – 15%.

- Συντελούνται μεταβολές στη λευκάγεια της γήινης επιφάνειας. Ειδικότερα παρατηρείται μικρότερη λευκάγεια στις αστικές περιοχές σε σύγκριση με την αντίστοιχη στις μη αστικές.
- Η παρουσία των ρύπων στην ατμόσφαιρα μιας αστικής περιοχής οδηγεί στη μείωση της ακτινοβολίας κυρίως μικρού κύματος εξαιτίας της απορρόφησής της από αυτούς.
- Παρουσιάζονται αλλαγές στη μέση εξάτμιση από τη γήινη επιφάνεια. Στα όρια της αστικής περιοχής η μέση εξάτμιση είναι σημαντικά χαμηλότερη.
- Εξαιτίας των κτιρίων και των κατασκευών γενικότερα παρατηρείται αύξηση της θερμοχωρητικότητας και της θερμικής αγωγιμότητας. Επιπλέον λόγω της αύξησης των πηγών εκπομπής εμφανίζεται αύξηση της προσφερόμενης θερμότητας.
- Η θερμοκρασία αυξάνεται σε σχέση με τις περιαστικές περιοχές και επιπλέον παρατηρείται μείωση του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους.
- Η δόμηση, η δημιουργία «φαραγγιών» και η θερμοκρασία κοντά στο έδαφος προκαλούν έντονη μεταβολή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των νηνεμιών και επακόλουθο τη συσσώρευση αερίων ρύπων.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται μια περίληψη των χαρακτηριστικών μεταβολών των κλιματικών στοιχείων της πόλης σε σύγκριση με τις υπαίθριες περιοχές σύμφωνα με τον Oke (1997).



Πίνακας 1: Μεταβολή των κλιματικών δεδομένων εξαιτίας της αστικοποίησης (Oke, 1997)

Variable	Change	Magnitude/comments
Turbulence intensity	Greater	10–50%
Wind speed	Decreased	5–30% at 10 m in strong flow
	Increased	In weak flow with heat island
Wind direction	Altered	1–10 degrees
UV radiation	Much less	25–90%
Solar radiation	Less	1–25%
Infrared input	Greater	5–40%
Visibility	Reduced	
Evaporation	Less	About 50%
Convective heat flux	Greater	About 50%
Heat storage	Greater	About 200%
Air temperature	Warmer	1–3°C per 100 years; 1–3°C annual mean up to 12°C hourly mean
Humidity	Drier	Summer daytime
	More moist	Summer night, all day winter
Cloud	More haze	In and downwind of city
	More cloud	Especially in lee of city
Fog	More or less	Depends on aerosol and surroundings
Precipitation		
Snow	Less	Some turns to rain
Total	More?	To the lee of rather than in city
Thunderstorms	More	
Tornadoes	Less	

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται μια ταξινόμηση των αστικών μορφολογικών μονάδων, χτισμένες και πράσινες, και τα φαινόμενα του αστικού κλίματος, που βασίζονται σε τυπικές οριζόντιες κλίμακες μήκους σύμφωνα με τους Oke et al. (2017).



Πίνακας 2: Ταξινόμηση των αστικών μορφολογικών μονάδων. Οι διαστάσεις των μονάδων 4 έως 6 βασίζονται σε μια πόλη με περίπου 1 εκατομμύριο κατοίκους (Oke et al., 2017)

Urban units	Built features	Green and water features	Urban climate phenomena	Typical horizontal length scales	Climate scale <sup>(1)</sup>
<b>Facet</b>	Roof, wall, road	Leaf, lawn, pond	Shadows, storage heat flux, dew and frost patterns	10 × 10 m	Micro
<b>Element</b>	Residential building, high-rise, warehouse	Tree	Wake, stack plume	10 × 10 m	Micro
<b>Canyon</b>	Street, canyon	Line of street trees or gardens, river, canal	Cross-street shading, canyon vortex, pedestrian bioclimate, courtyard climate	30 × 200 m	Micro
<b>Block</b>	City block (bounded by canyons with interior courtyards), factory	Park, wood, storage pond	Climate of park, factory cumulus	0.5 × 0.5 km	Local
<b>Neighbourhood or Local Climate Zone</b>	City centre, residential (quarter), industrial zone	Greenbelt, forest, lake, swamp	Local neighbourhood climates, local breezes, air pollution district	2 × 2 km	Local
<b>City</b>	Built-up area	Complete urban forest	Urban heat island, smog dome, patterns of urban effects on humidity, wind	25 × 25 km	Meso
<b>Urban region</b>	City plus surrounding countryside		Urban 'plume', cloud and precipitation anomalies	100 × 100 km	Meso

### 3.2.1.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Το αστικό περιβάλλον παρουσιάζεται σαν μια περίπλοκη και πολύπλευρη επιφάνεια. Αυτό επιτρέπει την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ των διαφόρων επιφανειών. Η ανταλλαγή αυτή εξαρτάται από την ηλιακή γεωμετρία, από την κλίση της επιφάνειας και το είδος της επιφάνειας. Η ανταλλαγή ακτινοβολίας επηρεάζεται και από την παρουσία των αστικών φαραγγιών. Ο δείκτης προβολής ουρανού (SVF) ρυθμίζει τις ανταλλαγές ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος μεταξύ των επιφανειών εντός των φαραγγιών και του ουρανού. Όταν η τιμή του δείκτη είναι μικρή, κυριαρχούν οι ανταλλαγές μεγάλου μήκους κύματος μεταξύ των επιφανειών ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας μειώνονται, γεγονός που διατηρεί τις θερμοκρασίες των επιφανειών σχετικά ζεστές. Στο αστικό περιβάλλον οι ανταλλαγές ακτινοβολίας επηρεάζονται και από την παρουσία των ρύπων (Oke et al., 2017).

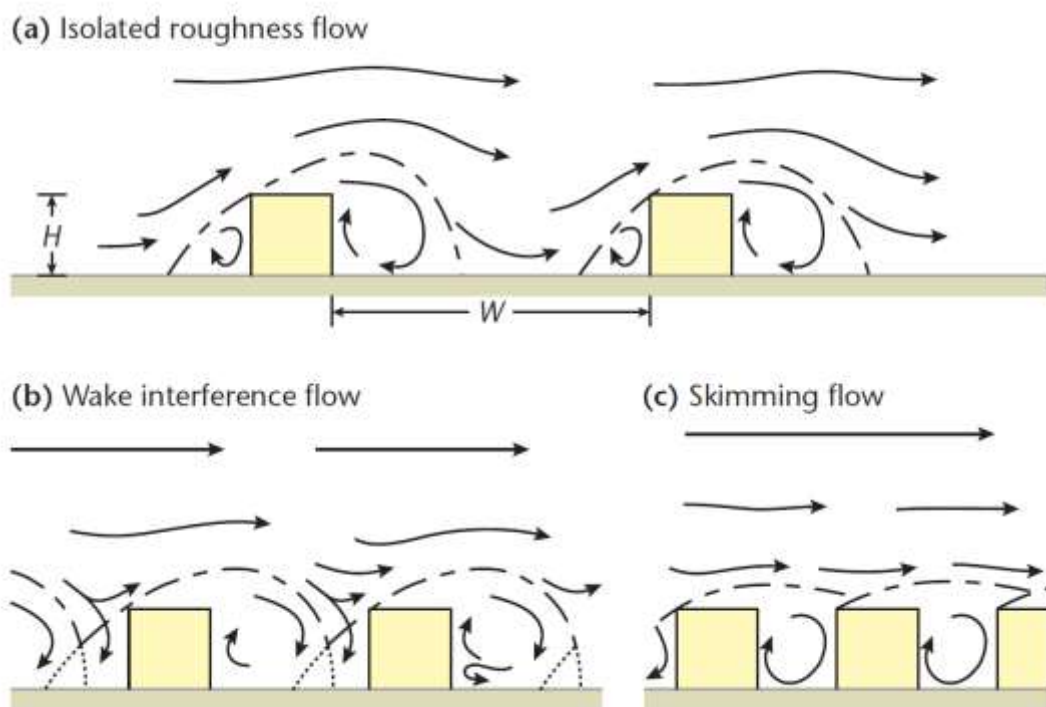
### 3.2.1.2 Θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα εντός του αστικού περιβάλλοντος παρουσιάζεται αυξημένη σε σύγκριση με το φυσικό περιβάλλον. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην

πολυπλοκότητα του αστικού περιβάλλοντος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) και θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

### 3.2.1.3 Άνεμος

Η ροή του αέρα εντός μιας αστικής περιοχής επηρεάζεται από την παρουσία των αστικών υποδομών. Η αντίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα στην τραχύτητα και τις θερμικές επιδράσεις των αστικών υποδομών είναι η δημιουργία χαοτικών αστικών ανέμων. Τα κτίρια αποτελούν την αστική επιφάνεια και είναι διαφορετικά όσον αφορά τις διαστάσεις και την τοποθέτησή τους, το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία τραχύτητας και συνεπώς κυριαρχεί μια μηχανική αναταραχή, η μέση ροή του αέρα μειώνεται και αυξάνεται ο στροβιλισμός (Εικόνα 5) (Oke et al., 2017).



Εικόνα 5: Η επίδραση της πυκνότητας των κτιρίων ( $H / W$ ) στο καθεστώς ροής του ανέμου σε διάφορους τύπους αστικών κτιρίων σε αεροδυναμική σήραγγα (Oke et al., 2017).

### 3.2.1.4 Υγρασία ατμόσφαιρας

Η ατμοσφαιρική υγρασία είναι μια σύνθετη μεταβλητή διότι η φυσική της κατάσταση μπορεί να αλλάξει σχετικά εύκολα. Η μετάβαση μεταξύ των καταστάσεων ατμού, υγρού και στερεού έχει ενεργειακές επιπτώσεις λόγω της πρόσληψης ή

απελευθέρωσης της λανθάνουσας θερμότητας. Στις αστικές περιοχές η ατμοσφαιρική υγρασία είναι χαμηλότερη κατά τη διάρκεια της νύχτας λόγω των χαμηλότερων ποσοστών εξάτμισης εξαιτίας των αστικών υποδομών και του μικρού τμήματος ή της έλλειψης της βλάστησης (Oke et al., 2017).

### **3.3. Αστική θερμική νησίδα**

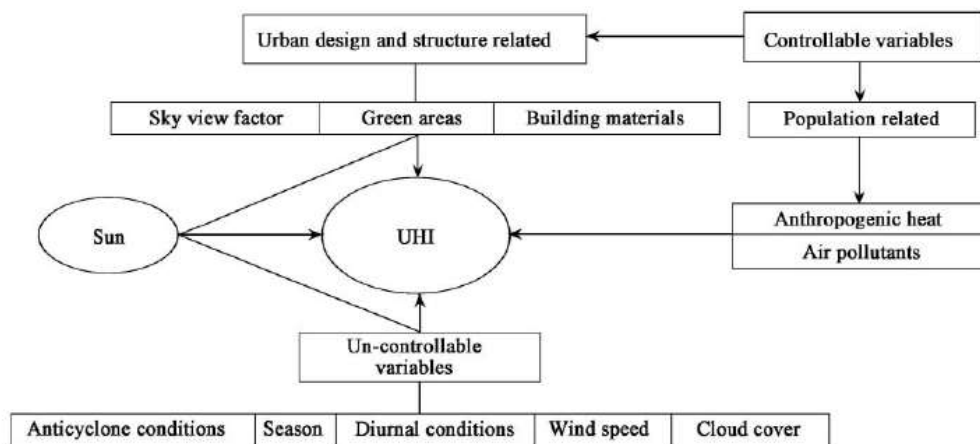
Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια μεταβολή στο φυσικό περιβάλλον και στην ποιότητα του αέρα εξαιτίας της συνεχής αύξησης του πληθυσμού, η οποία οδήγησε η ανάγκη της οικιστικής ανάπτυξης. Συνεπώς συντελείται επέκταση των αστικών περιοχών γεγονός που οδηγεί στην κατασκευή κτιρίων και δρόμων, με αποτέλεσμα υγρές και διαπερατές επιφάνειες να μετατρέπονται σε στεγανές και ξηρές. Αυτές οι αλλαγές έχουν σαν αποτέλεσμα στις περισσότερες αστικές περιοχές να παρατηρείται η θερμοκρασία του αέρα να είναι σημαντικά υψηλότερη μερικούς βαθμούς από την αντίστοιχη θερμοκρασία στις μη αστικές περιοχές. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται Αστική Θερμική Νησίδα (Urban Heat Island–UHI) και παρατηρείται σε όλες τις αστικές περιοχές, ως συνέπεια των επιμέρους μικροκλιματικών αλλαγών που επιφέρουν οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στο φυσικό περιβάλλον και έχει σαν αποτέλεσμα την πρόκληση αρνητικών ζητημάτων στους κατοίκους των πόλεων. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας λαμβάνει χώρα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, αλλά είναι ισχυρότερο κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθώς η θερμότητα απορροφάται από τις αστικές επιφάνειες με υψηλή θερμική ικανότητα (π.χ. ασφάλτος και σκυρόδεμα). Τα αστικά κλίματα διαφέρουν από αυτά των περιαστικών περιοχών και η διαφορά τους, η οποία μπορεί να είναι μεγάλη, εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, την υγρασία και τις ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας (Cleugh and Grimmond, 2012).

Πλήθος μελετητών έχει ασχοληθεί με τη μελέτη του φαινομένου. Οι Barry και Chorley (1998) διαπίστωσαν ότι η διαφορά των μέσων τιμών θερμοκρασίας μεταξύ των αστικών και μη αστικών περιοχών κυμαίνεται στους 5 – 6 K και αυξάνεται στους 6 -8 K στις μεγάλες πόλεις όταν κατά τη διάρκεια της νύχτας επικρατούν συνθήκες άπνοιας ή πνέουν ασθενείς άνεμοι. Οι Figuerola και Mazzeo (1998) στο Μπουένος Άιρες διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα η μέση τιμή της μέγιστης έντασης της θερμικής νησίδας κυμαίνεται στους 4.6 °C όταν επικρατούν δυνατοί άνεμοι και με μικρή νεφοκάλυψη του ουρανού, ενώ η τιμή αυτή υπολογίζεται στους 3.6 °C όταν επικρατούν θυελλώδης και νεφελώδης συνθήκες. Από τη μελέτη των Pinho και Orgaz (2000), η οποία πραγματοποιήθηκε σε μια μικρή παραλιακή πόλη της Πορτογαλίας προέκυψε ότι η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας μπορεί να φθάσει τους 7.5 °C. Επιπλέον οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι καθοριστικό ρόλο στην

δημιουργία του φαινομένου διαδραματίζουν ο συνδυασμός των εξής παραγόντων: η αστική μορφολογία, οι μετεωρολογικές συνθήκες και η εγγύτητα στις παράκτιες λιμνοθάλασσες. Οι Pongrazz et al. (2007) μελέτησαν κατά τη διάρκεια των ετών 2001 – 2005 τη θερμοκρασία επιφάνειας αστικών περιοχών της Κεντρικής Ευρώπης (Βουκουρέστι, Βουδαπέστη, Βαρσοβία, Βιέννη, Μιλάνο, Μόναχο, Σόφια, Βελιγράδι, Ζάγκρεμπ) και διαπίστωσαν ότι η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας μεταξύ των πόλεων διαφέρει αλλά η μέση μηνιαία τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 1 °C και 6 °C, με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται τις πρωινές ώρες της καλοκαιρινής περιόδου.

Η δημιουργία της αστικής θερμικής νησίδας οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, τους οποίους θα μπορούσαμε να τους κατηγοριοποιήσουμε σε ελεγχόμενους και μη ελεγχόμενους, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 6 (Rizwan et al., 2008). Οι παράγοντες αυτοί θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω ως μεταβλητές προσωρινής επίδρασης, όπως η ταχύτητα του ανέμου και η κάλυψη του νέφους και ως μεταβλητές μόνιμου αποτελέσματος, όπως οι πράσινες περιοχές, τα δομικά υλικά και οι παράμετροι κυκλικού αποτελέσματος, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και οι ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας. Η θερμότητα που παράγεται και περιέχεται σε μια περιοχή προέρχεται από τον ήλιο με τη μορφή ηλιακών ακτινοβολιών και από σταθμούς ενέργειας, αυτοκίνητα, κλιματιστικά και άλλες πηγές ως ανθρωπογενής θερμότητα. Όσον αφορά την ανθρωπογενή θερμότητα αυτή εισέρχεται άμεσα στο περιβάλλον. Ενώ από την άλλη πλευρά μόνο ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας θερμαίνει απευθείας το περιβάλλον, οι υπόλοιπες απορροφώνται από τις πολύπλοκες αστικές δομές με αποτέλεσμα να θερμαίνουν το περιβάλλον έμμεσα. Οι βασικές ιδιότητες της μεταφοράς θερμότητας, όπως η αγωγιμότητα, η μεταφορά και η ακτινοβολία συμβάλλουν σε αυτή την ανταλλαγή θερμότητας. Δομές όπως οι τοίχοι και οι στέγες, οι αρδευόμενοι κήποι και μη αρδευόμενοι χώροι πρασίνου, οι χλοοτάπητες και οι πλακόστρωτες περιοχές συμβάλλουν στη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετική έκταση. Αυτές οι φυσικές και ανθρωπογενείς δομές απορροφούν και αποθηκεύουν συνεχώς την ακτινοβολία με τη μορφή θερμικής ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στις διάφορες δομές απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Ωστόσο, ο τρόπος και η ποσότητα της θερμότητας που απελευθερώνεται από τις αστικές δομές εξαρτάται από παράγοντες, όπως ο συντελεστής θέασης του ουράνιου θόλου και τα δομικά υλικά. Η ικανότητα απελευθέρωση θερμότητας μέσω

ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος στις πόλεις είναι χαμηλή εξαιτίας της μειωμένης θέασης του ουρανού, με αποτέλεσμα την αυξημένη αποταμίευση θερμότητας στις δομές των κτιρίων. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι το albedo και η ανακλώμενη ακτινοβολία σε σύγκριση με την προσπίπτουσα είναι πολύ χαμηλή στις πόλεις εξαιτίας των τυπικών διαμορφώσεων φαραγγιών στους δρόμους και είναι ένας από τους σημαντικότερους λόγους για τις υψηλές θερμοκρασίες του αέρα που παρατηρούνται. Οι Giridharan et al. (2008) θεωρούν ότι οι τιμές σχεδιασμού του albedo και ο παράγοντας θέασης του ουρανού είναι σημαντικοί παράγοντες δημιουργίας της αστικής θερμικής νησίδας. Εξαιτίας της έλλειψης βλάστησης, οι πόλεις παρουσιάζουν μικρή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Η υψηλή τραχύτητα των αστικών δομών μειώνει την ποσότητα μεταφοράς θερμότητας μέσω αγωγής και μεταφοράς με τον άνεμο. Επίσης οι θερμικές ιδιότητες των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται στις αστικές περιοχές συμβάλλουν στη δημιουργία του φαινομένου. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι απορροφούν και εκπέμπουν ακτινοβολία μεγάλου κύματος αναστέλλοντας την ψύξη, δημιουργώντας ένα φαινόμενο ψευδο-θερμοκηπίου, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία της αστικής θερμικής νησίδας.



Εικόνα 6: Η δημιουργία της Αστικής Θερμικής Νησίδας (Rizwan et al., 2008)

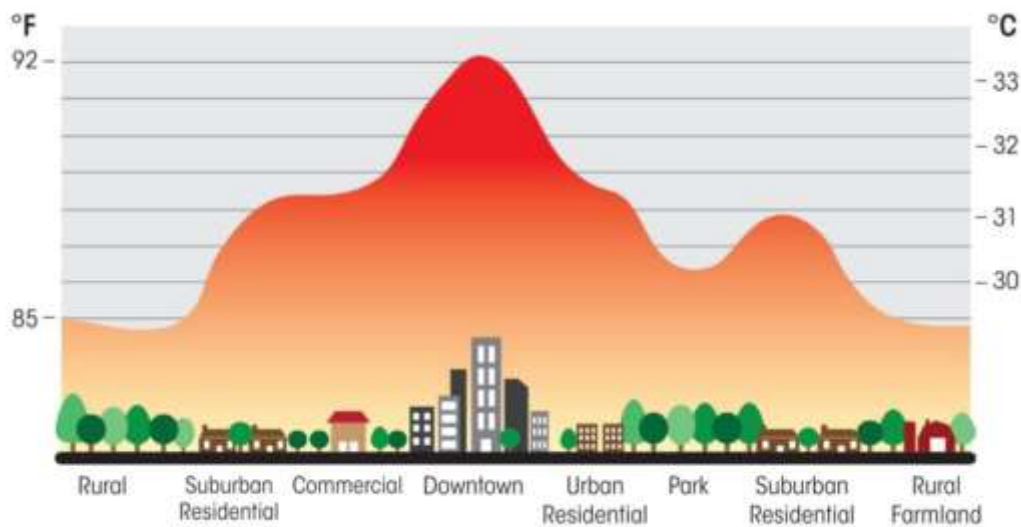
Συνοψίζοντας, παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα αίτια δημιουργίας της αστικής θερμικής νησίδας (Oke, 1979):

- Η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα των υλικών των οικοδομών και των άλλων κατασκευών, οι οποίες δεν επιτρέπουν τη γρήγορη ψύξη μετά τη δύση του ήλιου, όπως συμβαίνει στις αγροτικές περιοχές.

- Η αυξημένη απορρόφηση και ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και η εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από τις κάθετες πλευρές των ψηλών κτιρίων.
- Η μεγαλύτερη απορρόφηση μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας λόγω της γεωμετρίας των φαραγγιών.
- Η μείωση της καθαρής απώλειας μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας λόγω της μείωσης του παράγοντα προβολής στον ουρανό εξαιτίας της γεωμετρίας των φαραγγιών.
- Η ταχεία διοχέτευση των υδάτων από τις βροχοπτώσεις, με αποτέλεσμα να μειώνεται το αποθηκευμένο νερό και να ελαττώνεται η εξάτμισή του από το έδαφος.
- Η ελάττωση της εξατμισοδιαπνοής, η οποία οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας όταν πραγματοποιείται.
- Η αυξημένη τραχύτητα των πόλεων, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά περίπου 25%.
- Το χαμηλότερο albedo σε σχέση με τις υπαίθριες ή αγροτικές περιοχές.
- Η ανθρωπογενής έκλυση θερμότητας (οικιακής χρήσης ενέργεια, μεταφορές, κτίρια, βιομηχανία κ.α.).

Οι συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή επηρεάζουν τις διαφορές θερμοκρασίας που εμφανίζονται μεταξύ μιας αστικής και μιας μη αστικής περιοχής. Στην Εικόνα 7 εμφανίζεται σχηματικά η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη μετάβαση από μια αγροτική σε μια περιαστική και τέλος σε μια αστική περιοχή. Η «κορυφή» που εμφανίζεται στη θερμοκρασιακή καμπύλη αντιστοιχεί στη μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της αστικής και υπαίθριας περιοχής, η οποία ονομάζεται ένταση της αστικής θερμικής νησίδας ( Urban Heat Island Intensity - UHII). Στην Εικόνα 7 παρατηρούμε ότι λόγω της ύπαρξης πάρκου μεταξύ της αστικής περιοχής και των προαστίων η θερμοκρασιακή καμπύλη παρουσιάζει μια κοιλία (Odli et al., 2016).





Εικόνα 7: Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη μετάβαση από μια αγροτική σε μια περιαστική και τέλος σε μια αστική περιοχή (Odli et al., 2016)

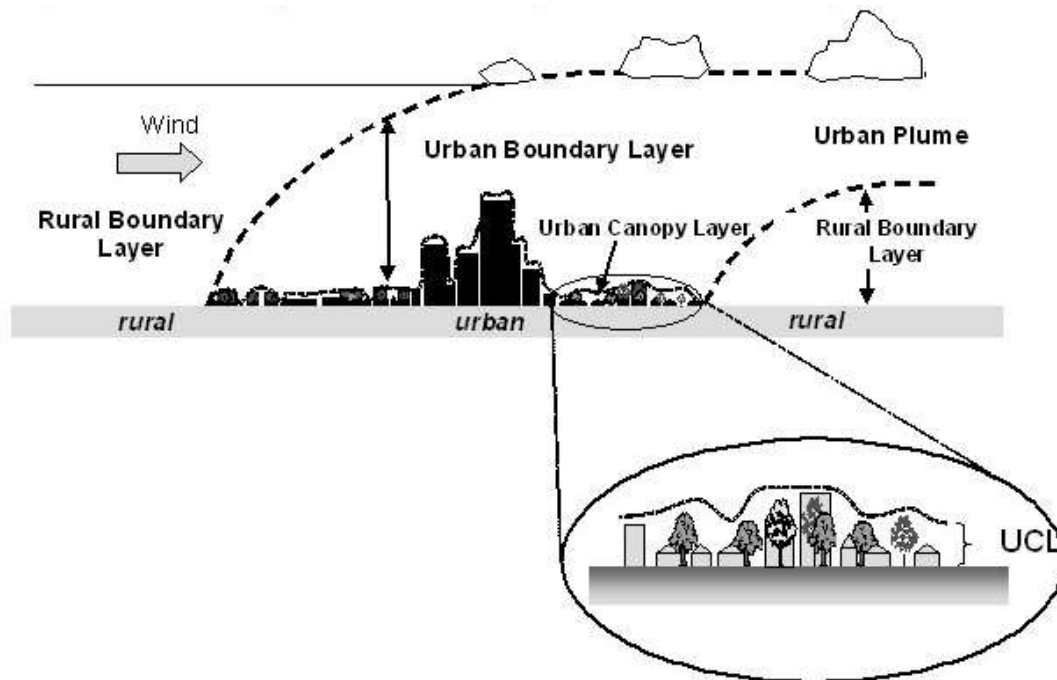
Η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας είναι ανάλογη με το βαθμό αστικοποίησης. Επίσης ο Oke (1973) έδειξε ότι η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας σχετίζεται και με το μέγεθος και τον πληθυσμό της πόλης. Για τη Βόρειο Αμερική, βρέθηκε ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικών και μη αστικών περιοχών για πόλεις με πληθυσμό 1000 κατοίκων ήταν της τάξης των 2.5 K, ενώ η διαφορά αυτή αυξάνεται στους 12 K για πόλεις του ενός εκατομμυρίου. Αντίθετα, για τις Ευρωπαϊκές πόλεις, όπου η κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο είναι μικρότερη και συνεπώς η παραγόμενη ανθρωπογενής θερμότητα είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τη Βόρεια Αμερική, ισχύουν μικρότερες διαφορές. Ειδικότερα από μετρήσεις που καταγράφηκαν από τον Samantouris et al. (1998) για την πόλη της Αθήνας, η οποία αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη και πυκνοκατοικημένη πόλη των 4 εκατομμυρίων, διαπιστώθηκε μέση διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου και των προαστίων της τάξης των 7 – 8 K και η διαφορά αυτή αυξάνεται κατά 18 K κατά τη διάρκεια της ημέρας την καλοκαιρινή περίοδο. Δεδομένου ότι οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες της Νότιας Ευρώπης υπερβαίνουν κατά κανόνα τους 30 °C ακόμη και στην ύπαιθρο, η αστική θερμική νησίδα είναι δυνατόν να προκαλέσει θερμική δυσφορία στις πόλεις.

Σύμφωνα με τον Oke (1995) η αστική θερμική νησίδα αποτελείται από τρία στρώματα:

- Θερμική νησίδα του στρώματος φυτοκόμης, Canopy Layer Heat Island (CLHI)



- Θερμική νησίδα του οριακού στρώματος, Boundary Layer Heat Island (BLHI)
- Θερμική νησίδα του στρώματος επιφάνειας, Surface Heat Island (SHI).



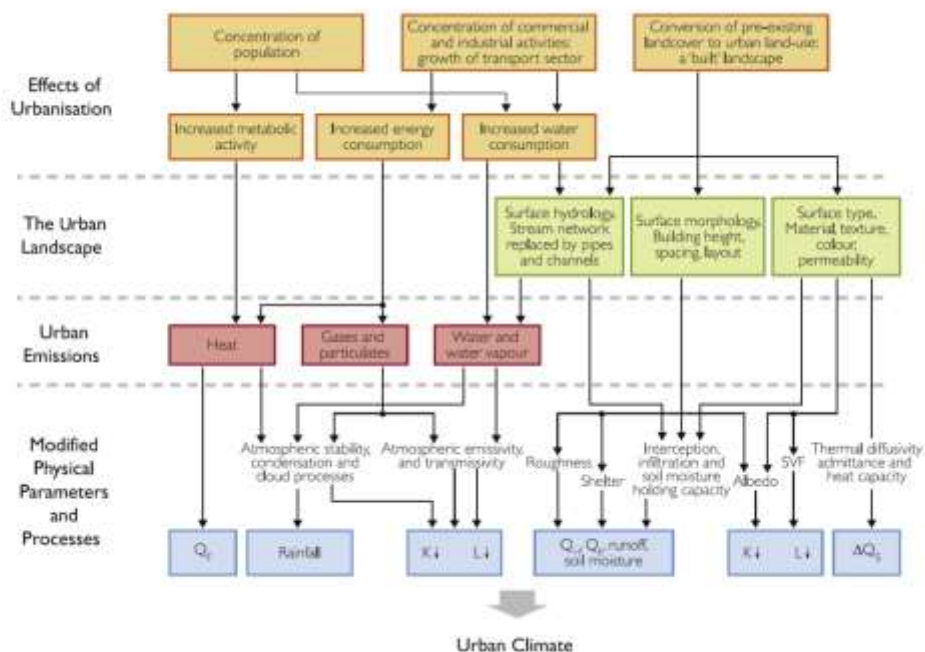
Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των κύριων τμημάτων της αστικής ατμόσφαιρας (Voogt, 2004).

Τα δύο πρώτα στρώματα έχουν σχέση με τη θέρμανση της ατμόσφαιρας ενώ το τρίτο με τη θέρμανση που οφείλεται στις διάφορες επιφάνειες της πόλης. Το στρώμα φυτοκόμης (CLHI) είναι αυτό που εκτείνεται προς τα πάνω και περίπου ως το μέσο ύψος ενός κτιρίου. Αμέσως μετά βρίσκεται το οριακό στρώμα (BLHI) για το οποίο έχει παρατηρηθεί ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι δυνατόν η ανάπτυξη του να ξεπεράσει το 1 km ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι δυνατόν να συρρικνωθεί σε μερικές εκατοντάδες μέτρα (Εικόνα 8). Η θερμική νησίδα του στρώματος επιφάνειας (SHI) είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των δομικών υλικών, της ύπαρξης βλάστησης και της ύπαρξης επιφανειών νερού και διαπερατών εδαφών, συνεπώς η έντασή της διαφέρει και εξαρτάται από τα παραπάνω αναφερόμενα χαρακτηριστικά της περιοχής (Zhang et al., 2004).

Η θερμική νησίδα του στρώματος επιφάνειας (SHI) παρουσιάζεται τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρα όσο και της νύχτας, με τη διαφορά ότι την ημέρα εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας είναι εντονότερη. Αντίθετα η θερμική νησίδα του στρώματος της φυτοκόμης (CLHI) εξαιτίας της συνεχούς εκπομπής θερμότητας, η οποία απορροφήθηκε από τις διάφορες επιφάνειες κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρουσιάζεται εντονότερη μετά τη δύση του ηλίου. Ειδικότερα η θερμική νησίδα του

στρώματος φυτοκόμης φτάνει σε ένα μέγιστο μερικές ώρες μετά από το ηλιοβασίλεμα και διατηρείται μέχρι και τις πρώτες πρωινές ώρες. Σε αντίθεση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ένταση της CLHI παρουσιάζεται μικρή και μερικές φορές ακόμη και αρνητική σε ορισμένα σημεία του αστικού ιστού, στα οποία υπάρχει αρκετή σκίαση, η οποία προέρχεται από ψηλά κτίρια ή από άλλες δομές και συνεπώς παρατηρείται καθυστέρηση στη θέρμανση εξαιτίας της αποθήκευσης της θερμότητας στα δομικά υλικά. Τέλος όσον αφορά τη νησίδα του οριακού στρώματος (BLHI) παρουσιάζεται θετική καθ' όλη τη διάρκεια τόσο της ημέρας όσο και της νύχτας αλλά η ένταση της είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τις δύο προηγούμενες (Voogt, 2004).

Η αστικοποίηση συνεπάγεται αλλαγές τόσο στη μορφή όσο και στη λειτουργία του τοπίου. Καθώς μεγαλώνει μια πόλη, η ανάγκη στέγασης, τροφοδοσίας, μεταφοράς και υποστήριξης του βιοτικού επιπέδου ενός αυξανόμενου αριθμού ανθρώπων συγκεντρωμένων σε μια σχετικά μικρή περιοχή φέρνει αλλαγές στη χρήση γης: οι κατοικίες, οι μεταφορές και οι μεταποιητικές δραστηριότητες αντικαθιστούν το προηγούμενο τοπίο. Η αστική ανάπτυξη αντικαθιστά τη φυσική ή γεωργική βλάστηση με κτίρια που είναι τυπικά αδιαπέραστα και άκαμπτα στην κίνηση του αέρα και του νερού. Οι αιχμηρές άκρες των κτιρίων εισάγουν έντονα φαινόμενα στροβιλισμού του αέρα και τα κτίρια, τα οποία είναι συχνά διατεταγμένα σε σχετικά κανονικές σειρές ή πλέγματα διοχετεύουν και επιταχύνουν τη ροή του αέρα. Οι αποθήκες νερού και άνθρακα, καθώς και οι ανταλλαγές σε όλο το σύστημα έδαφος – φυτό – ατμόσφαιρα είναι συνεχείς, και τροποποιούνται με την προσθήκη αδιαπέρατων επιφανειών και κτιρίων που εκτρέπουν τη ροή της βροχής, του αέρα και της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι εξωτερικοί περιβαλλοντικοί οδηγοί στις αστικές ανταλλαγές ενέργειας, νερού και άνθρακα επηρεάζονται λιγότερο από την ηλιακό κύκλο και τις εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων. Αυτό συμβαίνει λόγω της ρύθμισης και κατανάλωσης ενέργειας που απαιτείται για τη διατήρηση του μεταβολισμού του αστικού συστήματος. Αυτές οι αλλαγές στις ιδιότητες της ακτινοβολίας, της θερμικής αεροδυναμικής και υγρασίας ενός τοπίου τροποποιούν τη θερμότητα, την ορμή και τις μάζες, με αποτέλεσμα οι αστικές περιοχές να αναπτύσσουν το δικό τους χαρακτηριστικό κλίμα. Στην Εικόνα 9 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις της αστικοποίησης στις διαδικασίες που επηρεάζουν το κλίμα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (Cleugh and Grimmond, 2012).



Εικόνα 9: Επιπτώσεις της αστικοποίησης στις διαδικασίες που επηρεάζουν το κλίμα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (Cleugh and Grimmond, 2012)

Αλλά ποιες είναι οι επιπτώσεις του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας για τους κατοίκους των αστικών περιοχών; Οι επιπτώσεις είναι δυνατόν να διακριθούν σε άμεσες και έμμεσες. Η κυριότερη άμεση επίπτωση του φαινομένου είναι η χαμηλότερη θερμική άνεση των κατοίκων των αστικών περιοχών, κυρίως όπου δεν είναι δυνατή η πρόσβαση σε συστήματα κλιματισμού (Kikegawa et al., 2006, Radhi and Sharples, 2013). Έμμεσα αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας για τις ανάγκες ψύξης (Akbari and Konopacki, 2005), μειώνεται η ποιότητα του αέρα (Akbari et al., 2001; Taha et al., 1997) και τα οικοσυστήματα απειλούνται λόγω του θερμότερου νερού που ρέει από τις αστικές περιοχές (Onmura et al., 2001).

### 3.4.Κλιματική αλλαγή

#### 3.4.1 Τι είναι η κλιματική αλλαγή

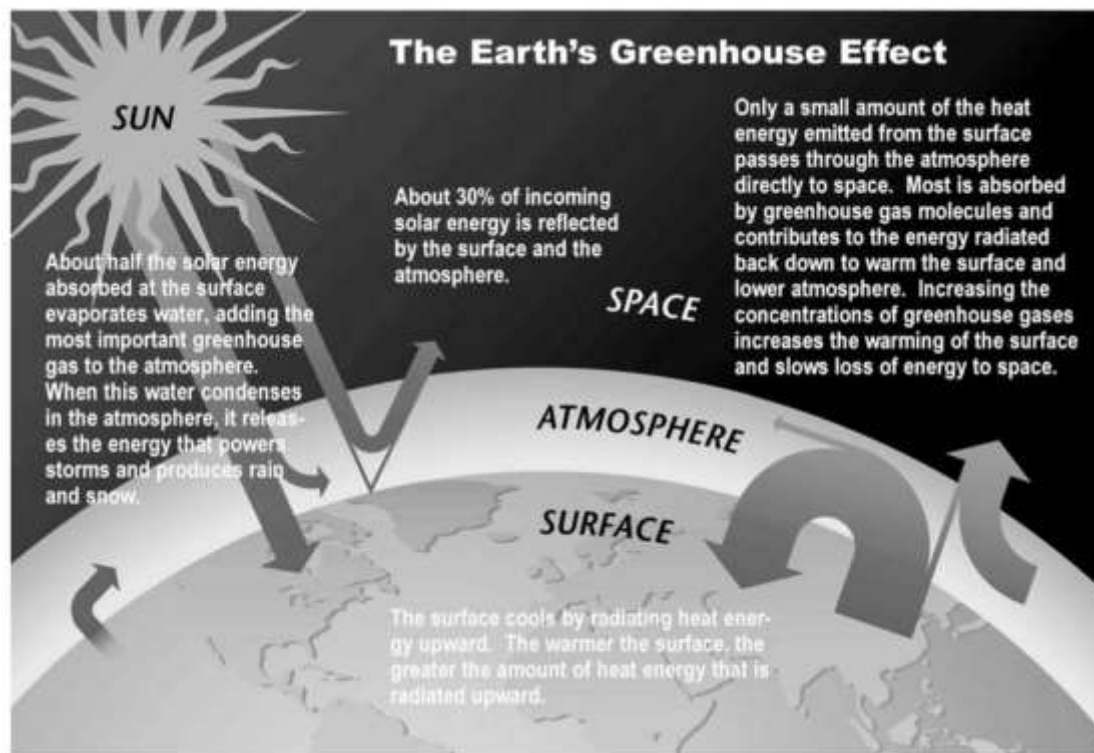
Στη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές (UNFCCC), ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια. Η αλλαγή του κλίματος αποτελεί μια από τις σημαντικότερες απειλές τόσο για το περιβάλλον όσο και για την κοινωνία και την οικονομία. Η αύξηση της θερμοκρασίας του κλιματικού συστήματος είναι αδιαμφισβήτητη. Στο γενικότερο επίπεδο της κλιματικής αλλαγής σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο οι εκθέσεις των Ghazi et al. (1997) και Cubash, (1997) συνοψίζοντας την έρευνα που υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, επιβεβαιώνουν τα αποδεικτικά στοιχεία για την εμφανή ανθρωπογενή επίδραση στο κλίμα. Το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη υπολογίζεται σε περίπου 0.15 °C ανά δεκαετία τα τελευταία 20 χρόνια. Για τα επόμενα 20 χρόνια, οι Hulme και Jenkins (1998) δίνουν προβλέψεις αυξήσεις στις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες για την περιοχή της νοτιοανατολικής Αγγλίας από 0.6 – 1.6 °C.

Εξ ορισμού η κλιματική αλλαγή αποδίδεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ειδικότερα η αύξηση της θερμοκρασίας κατά κύριο λόγο οφείλεται στην αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία είναι αποτέλεσμα των εκπομπών που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα είναι τα εξής:

- Διοξείδιο του άνθρακα
- Μεθάνιο
- Υποξείδιο του αζώτου
- Φθοριούχα αέρια

Τα αέρια του θερμοκηπίου παγιδεύουν τη θερμότητα του ήλιου και εμποδίζουν τη διάχυσή της στο διάστημα. Το αέριο που εκλύεται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι το διοξείδιο του άνθρακα και είναι αυτό που κυρίως ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η

συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα σήμερα σε σχέση με την εποχή πριν από την εκβιομηχάνιση, είναι σε πολύ υψηλότερα επίπεδα. Τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου εκλύονται σε μικρότερες ποσότητες όμως έχουν την ικανότητα να παγιδεύουν τη θερμότητα πολύ περισσότερο σε σύγκριση με το διοξείδιο του άνθρακα με αποτέλεσμα σε αρκετές περιπτώσεις είναι πολύ ισχυρότερα (Εικόνα 10). Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την κλιματική αλλαγή το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες ευθύνονται για το 19% και το 6% αντίστοιχα, της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Oliver, 2008).



Εικόνα 10: Σχηματικό διάγραμμα των ροών ενέργειας που δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου της Γης. Το πλάτος των βέλων είναι ανάλογο με την ποσότητα ενέργειας. Η συνολική εισερχόμενη ενέργεια από τον Ήλιο είναι κατά μέσο όρο  $342 \text{ Wm}^{-2}$  (NAST, 2000)

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου είναι οι εξής (Cleugh and Grimmond, 2012):

- Διοξείδιο του άνθρακα και υποξείδιο του αζώτου παράγονται από την καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.
- Η αποψίλωση των δασών. Τα δέντρα μέσω της απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα συμβάλλουν στη ρύθμιση του κλίματος. Με την αποψίλωση χάνεται αυτό το θετικό αποτέλεσμα και συνεπώς η ποσότητα του άνθρακα

που θα αποθηκευόταν σε αυτά ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

- Η αύξηση της κτηνοτροφίας. Τα ζώα (βοοειδή, αιγοπρόβατα) κατά την πέψη της τροφής παράγουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου.
- Η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες ευθύνεται για τις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου.
- Μεγάλη θερμαντική επίδραση έχουν και τα φθοριούχα αέρια. Όμως εκλύονται σε μικρότερες ποσότητες και σύμφωνα με κανονισμό που εξέδωσε η Ευρωπαϊκή Ένωση καταργούνται σταδιακά.

Καθίσταται, λοιπόν αναγκαίο για να μετριαστεί το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής να μειωθούν οι παραπάνω αναφερόμενες εκπομπές ή να διασφαλιστεί η πρόληψη της παραγωγής τους.

### **3.4.2 Επιπτώσεις τις κλιματικής αλλαγής**

Όλες οι περιοχές του κόσμου είναι ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή, αλλά σε κάποιες οι επιπτώσεις θα είναι πιο αρνητικές από άλλες. Οι αλλαγές στο κλίμα προκαλούν ευρείες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, στην οικονομία και στην ανθρώπινη υγεία και διαβίωση.

Στην περιοχή των πόλων εξαιτίας της ανόδου της θερμοκρασίας παρατηρείται τήξη των πάγων και άνοδος της στάθμης της θάλασσας, με αποτέλεσμα να προκαλούνται πλημμύρες και διάβρωση των ακτών και των πεδινών παράκτιων περιοχών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό όταν θερμαίνεται διαστέλλεται ενώ ταυτόχρονα προκαλείται κατάρρευση μεγάλων όγκων πάγων. Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν άμεσα τα οικοσυστήματα και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Ορισμένες περιοχές θα βρεθούν αντιμέτωπες με ισχυρές βροχοπτώσεις και ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία εμφανίζονται συχνότερα και προκαλούν πλημμύρες και υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Ενώ κάποιες άλλες θα έρθουν αντιμέτωπες με τη σημαντική αύξηση των υψηλών θερμοκρασιών και τη μείωση των βροχοπτώσεων και συνεπώς των ροών των ποταμών, και των περιορισμό των υδάτινων πόρων. Τα φαινόμενα αυτά έχουν αυξήσει τον κίνδυνο για την εμφάνιση σοβαρών ξηρασιών, μικρότερων σοδειών, απώλεια της βιοποικιλότητας και την πρόκληση δασικών πυρκαγιών.



Οι κύριες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία του ανθρώπου σχετίζονται με την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, και με αλλαγές στις περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνθήκες. Μεγάλη αύξηση του αριθμού των θανάτων σχετίζεται με τους καύσωνες, οι οποίοι έχουν αυξηθεί σε συχνότητα και ένταση. Οι πλημμύρες ποταμών και παράκτιων περιοχών επηρεάζουν τη ζωή των κατοίκων. Επίσης παρατηρούνται αλλαγές στην κατανομή νόσων, οι οποίες μεταδίδονται με το νερό καθώς και φορέων νόσων.

Τα ακραία φαινόμενα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή είναι δυνατόν να προκαλέσουν υλικές ζημιές και ζημιές στις υποδομές καθώς και στην ανθρώπινη υγεία με υψηλό κόστος τόσο για την οικονομία όσο και για την κοινωνία. Τομείς που παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αβεβαιότητα, όπως η γεωργία, η δασοκομία, ο τουρισμός ακόμη και η ενέργεια και οι οποίοι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο των θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων πλήττονται σε μεγαλύτερο βαθμό και συνεπώς παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αποτελούν απειλή και για τη βιοποικιλότητα τόσο των φυτικών ειδών και ζώων της ξηράς όσο και της θάλασσας. Ειδικότερα έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στον κύκλο ζωής τους ενώ κάποια μεταναστεύουν σε βορειότερα και υψηλότερα υψόμετρα. Ενώ ορισμένα φυτικά είδη και ζώα θα αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο της εξαφάνισης οι θερμοκρασίες θα εξακολουθήσουν να αυξάνονται. Όλες αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν τόσο τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων όσο και τους οικονομικούς τομείς, όπως είναι η γεωργία, η δασοκομία και η αλιεία (Oliver, 2005).

### **3.4.3 Πολιτικές για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής**

Η διακήρυξη της Στοκχόλμης το 1972 και η διακήρυξη του Ρίο το 1992 αποτελούν τα δύο νομικά κείμενα, τα οποία θεωρούνται σταθμοί για το Διεθνές Δίκαιο Περιβάλλοντος. Τα κείμενα αυτά προσφέρουν ένα σημαντικό αριθμό αρχών για το περιβάλλον σε παγκόσμιο επίπεδο. Στόχος των διακηρύξεων ήταν η μελλοντική πρακτική εφαρμογή των αρχών αυτών.

Οι συνδιασκέψεις αυτές, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), αποτέλεσαν την προσπάθεια να διευρυνθούν οι παράμετροι που οδηγούν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και να υιοθετηθούν συγκεκριμένα μέτρα για τη διαχείριση και προστασία του περιβάλλοντος.

Στο κείμενο της διακήρυξης της Στοκχόλμης ενσωματώθηκαν «οι φιλοδοξίες των λαών του πλανήτη για ένα καλύτερο περιβάλλον». Παρόλα αυτά η Διακήρυξη δεν επέβαλλε συγκεκριμένες υποχρεώσεις στις κυβερνήσεις για την εκπλήρωση των φιλοδοξιών. Δύο κείμενα υιοθετήθηκαν στο πλαίσιο της εν λόγω συνδιάσκεψης: η διακήρυξη αρχών για το περιβάλλον και το πλάνο δράσης για το περιβάλλον.

Η Διακήρυξη της Στοκχόλμης θεωρείται η βάση για την ανάπτυξη τους Διεθνούς Περιβαλλοντικού Δικαίου, καθώς ακολούθησε η σύναψη πολυάριθμων διμερών και πολυμερών συνθηκών και η υιοθέτηση και άλλων νομικά δεσμευτικών κειμένων.

Σε αντιδιαστολή η συνδιάσκεψη του Ρίο πραγματοποιήθηκε τη χρονική στιγμή κατά την οποία η διεθνής κοινότητα είχε ενεργοποιηθεί για τα περιβαλλοντικά θέματα. Στην εν λόγω συνδιάσκεψη υιοθετήθηκαν πέντε κείμενα, εκ των οποίων όμως μόνο τα δύο ήταν δεσμευτικά. Ειδικότερα δεσμευτικά ήταν η Σύμβαση για τη βιοποικιλότητα και η Σύμβαση πλαίσιο για την αλλαγή του κλίματος. Τα μη δεσμευτικά ήταν η Διακήρυξη για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, η Agenda 21, η οποία αναφέρεται στο πρόγραμμα δράσης για την υλοποίηση των Αρχών της Διακήρυξης και τέλος η δήλωση Αρχών, η οποία αφορά την προστασία και την ανάπτυξη των δασών. Σημαντικό επίσης βήμα ήταν η δημιουργία της «Επιτροπής για τη βιώσιμη ανάπτυξη» (Commission on Sustainable Development), η οποία είναι ένα διεθνές όργανο στο οποίο κάθε χρόνο τα κράτη μέλη αναφέρονται για την πρόοδο που σημειώνουν για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας. Κυρίαρχο θέμα της Διακήρυξης του Ρίο είναι η «αειφόρος ανάπτυξη».

Η Σύμβαση πλαίσιο για την αλλαγή του κλίματος μέχρι σήμερα έχει κυρωθεί από 195 χώρες. Σκοπός της σύμβασης είναι να περιοριστούν η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή και να αντιμετωπιστούν οι συνέπειες τους μέσω διακρατικών συνεργασιών.

Το 1997 οι χώρες που είχαν υπογράψει τη Σύμβαση πλαίσιο για την αλλαγή του κλίματος ενέκριναν το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο ήταν αποτέλεσμα της συνειδητοποίησης ότι για τη μείωση των εκπομπών απαιτούνταν η θέσπιση αυστηρότερων διατάξεων. Το εν λόγω Πρωτόκολλο εισήγαγε δεσμευτικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών από τις αναπτυγμένες χώρες. Τη δεδομένη χρονική στιγμή διανύουμε τη δεύτερη περίοδο δεσμεύσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο, η οποία ξεκίνησε την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2013 και λήγει το 2020. Στη δεύτερη περίοδο συμμετέχουν 38 αναπτυγμένες χώρες. Σε αυτή την περίοδο οι συμμετέχουσες χώρες



έχουν δεσμευτεί να μειώσουν τις εκπομπές τους σε επίπεδο τουλάχιστον 18% χαμηλότερο από εκείνο του 1990. Το βασικό μειονέκτημα του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι ότι μόνο οι αναπτυγμένες χώρες έχουν υποχρέωση να αναλάβουν δράση. Επίσης το Πρωτόκολλο του Κιότο αφορά πλέον μόνο το 14% περίπου των παγκοσμίων εκπομπών καθώς οι ΗΠΑ δεν υπέγραψαν τη δεύτερη περίοδο δεσμεύσεων, ο Καναδάς αποχώρησε πριν την ολοκλήρωση της πρώτης περιόδου και οι Ρωσία, Ιαπωνία και Νέα Ζηλανδία δεν συμμετέχουν στη δεύτερη περίοδο. Παρόλα αυτά, περισσότερες από 70 αναπτυσσόμενες και αναπτυγμένες χώρες έχουν διατυπώσει μη δεσμευτικές υποσχέσεις για τη μείωση ή τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τις οποίες είναι υπεύθυνες (Singer, 2000).

Μια νέα διάσκεψη για την κλιματική αλλαγή πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι μεταξύ 30 Νοεμβρίου και 11 Δεκεμβρίου 2015. Οι συμμετέχοντες στις 12 Δεκεμβρίου κατέληξαν σε μια νέα παγκόσμια συμφωνία για την κλιματική αλλαγή. Η συμφωνία περιλαμβάνει ένα σχέδιο δράσης σύμφωνα με το οποίο μακροπρόθεσμος στόχος είναι να συγκρατηθεί η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη «αρκετά κάτω» από του 2 °C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και να συνεχίσουν τις προσπάθειες για να την περιορίσουν στους 1.5 °C. Καλύπτει την περίοδο από το 2020 και μετά. Η συμφωνία των Παρισίων κυρώθηκε από 55 χώρες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 55% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η ισχύς της άρχισε στις 4 Νοεμβρίου 2016. Οι χώρες που συμμετείχαν στη διάσκεψη των Παρισίων, πριν και κατά τη διάρκεια αυτής υπέβαλαν ολοκληρωμένα σχέδια δράσης με στόχο τη μείωση των εκπομπών τους. Επίσης οι κυβερνήσεις με σκοπό το καθορισμό πιο φιλόδοξων στόχων συμφώνησαν ανά 5ετία να γνωστοποιούν την συνεισφορά τους. Για την εξασφάλιση της διαφάνειας και της εποπτείας οι συμμετέχοντες δέχθηκαν να γνωστοποιούν τόσο μεταξύ τους όσο και στο κοινό την πρόοδο τους για την επίτευξη των στόχων τους. Τέλος, οι αναπτυγμένες χώρες για να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες χώρες να μειώσουν τις εκπομπές και να θωρακιστούν έναντι των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, θα εξακολουθήσουν να παρέχουν χρηματοδότηση για μέτρα σχετικά με την αντιμετώπιση της αλλαγής τους κλίματος.

#### **3.4.4 Κλιματική αλλαγή και αστικές περιοχές**

Η έννοια του αστικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει όλες τις σχέσεις και τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις κοινωνικές, πολιτικές και πολιτισμικές διαστάσεις της πόλης, ενώ ταυτόχρονα, είναι οι φυσικές περιβαλλοντικές συνθήκες και πιέσεις, οι οποίες τις επηρεάζουν ή επηρεάζονται από αυτές.

Η εμφάνιση και η ένταση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής μπορεί να επηρεαστεί από την αστική μορφή μιας περιοχής, δηλαδή από τον τρόπο με τον οποίο έχουν σχεδιαστεί και δομηθεί οι αστικές περιοχές σε συνδυασμό με τη συμπεριφορά και τον τρόπο ζωής των πολιτών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συμπαγείς αστικές μορφές. Οι μορφές αυτές αναμένεται να βιώσουν πιο έντονα τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους, όπως της υψηλής πυκνότητας, των υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων, της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της προβληματικής ρυμοτομίας, της έλλειψης ελεύθερων και πράσινων χώρων, του εγκαταλελειμμένου κτιριακού δυναμικού και των υψηλών ποσοστών φτώχειας (Pizarro et al., 2006).

### 3.5. Θερμική άνεση

Το ανθρωπογενές περιβάλλον είναι αποτέλεσμα σύνθεσης πλήθους στοιχείων. Σύμφωνα με τον Olgyay (1963) τα κύρια συστατικά του περιβάλλοντος είναι το φως, ο ήχος, το κλίμα, ο χώρος και τα έμψυχα όντα. Το ανθρώπινο σώμα επηρεάζεται από αυτά και είτε απορροφά αυτά τα στοιχεία είτε αντιδρά σε αυτά. Οι φυσικές και ψυχολογικές αντιδράσεις του ανθρώπου αποδίδονται στην προσπάθεια του ατόμου να βρεθεί σε βιολογική ισορροπία. Ειδικότερα, επιδίωξη του ανθρώπου είναι η κατάκτηση της κατάστασης εκείνης στην οποία απαιτείται ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας για την προσαρμογή στο περιβάλλον. Οι συνθήκες κατά τις οποίες επιτυγχάνεται η κατάσταση αυτή αποκαλούνται θερμική άνεση.

#### 3.5.1 Βασικές έννοιες

Θερμική άνεση είναι η κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί ούτε ψυχρότερο, ούτε θερμότερο περιβάλλον και ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μέρος της ανθρώπινης ενέργειας απελευθερώνεται σε παραγωγικές δραστηριότητες (Hall, 2010). Η θερμική άνεση επιτρέπει τη διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του ανθρώπινου σώματος και δημιουργεί ένα ευχάριστο αίσθημα στους χρήστες ενός χώρου.

Η ανθρώπινη αντίδραση είναι δυνατόν να εκτιμηθεί από την εξίσωση του θερμικού ενεργειακού ισοζυγίου. Η θεμελιώδης εξίσωση λαμβάνει υπόψη το μεταβολισμό, την ακτινοβολία, τη μεταφορά, την εξάτμιση και το στρες και εκφράζεται ως εξής (Parsons, 1993):

$$M-W=E+R+C+K+S$$

Η διαφορά M-W είναι πάντα θετική.

Ειδικότερα έχουμε:

M = το θερμικό ποσό που παράγεται από το μεταβολισμό του ατόμου

W = η απαραίτητη ενέργεια για την εκτέλεση μηχανικού έργου

E = η αποβαλλόμενη θερμότητα μέσω εξάτμισης από τη επιφάνεια του δέρματος

R = η αποβαλλόμενη θερμότητα μέσω ακτινοβολίας από την επιφάνεια του δέρματος

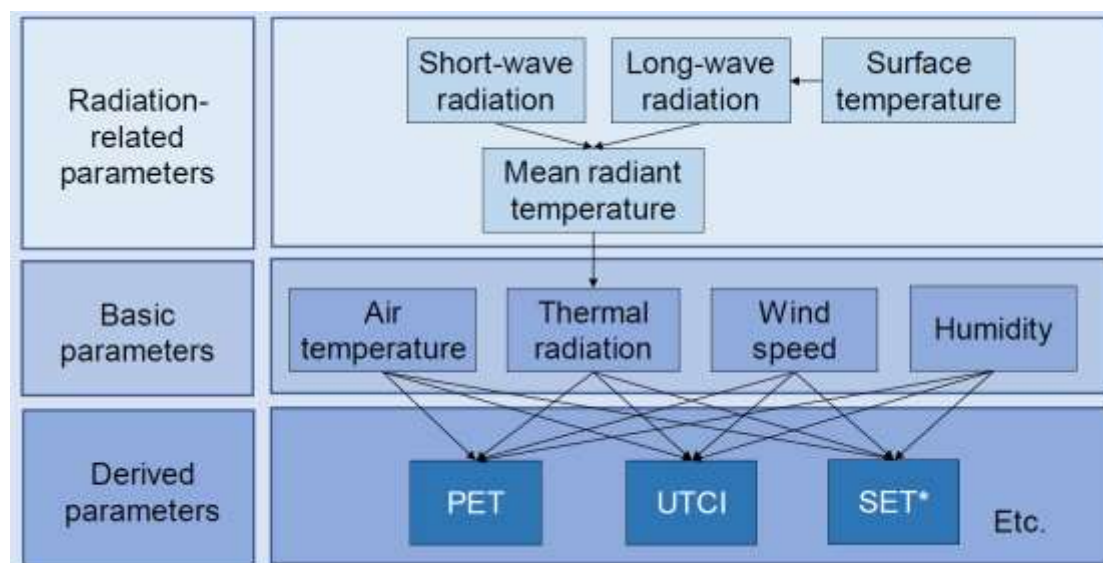
C = η αποβαλλόμενη θερμότητα μέσω μεταφοράς από την επιφάνεια του δέρματος

K = η αγωγιμότητα

S = ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα.

### 3.5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση του ανθρώπου

Το ανθρώπινο σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το αστικό περιβάλλον μέσω της μεταφοράς, της ακτινοβολίας, της εξάτμισης και της αγωγής. Ο προσδιορισμός της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος εξαρτάται τόσο από ανθρώπινους παράγοντες όσο και από φυσικούς παράγοντες που περιγράφουν το θερμικό περιβάλλον. Στους ανθρώπινους παράγοντες ανήκουν η ενδυμασία και η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό λόγω δραστηριότητας. Στους φυσικούς παράγοντες ανήκουν η θερμοκρασία του αέρα, η θερμική ακτινοβολία, η κίνηση του αέρα και η υγρασία (Εικόνα 11). Οι παράγοντες αυτοί είναι οι βασικοί παράγοντες που απαιτούνται για να περιγράψουν πλήρως το ανθρώπινο θερμικό περιβάλλον στους αστικούς υπαίθριους χώρους. Ο καθένας από τους βασικούς παράγοντες χαρακτηρίζει το θερμικό περιβάλλον ανεξάρτητα από τον άλλο. Ο πιο περίπλοκος παράγοντες από τους τέσσερις φυσικούς παράγοντες είναι η θερμική ακτινοβολία (Lai et al., 2019a).



Εικόνα 11: Βασικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του αστικού θερμικού περιβάλλοντος (Τροποποιημένο σχήμα των Lai et al (2019a))

#### 3.5.2.1 Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες της θερμικής άνεσης και ο απλούστερος θερμικός δείκτης. Ως θερμοκρασία αέρα ορίζουμε τη θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα και είναι αντιπροσωπευτική διάσταση του περιβάλλοντος η οποία καθορίζει τη ροή

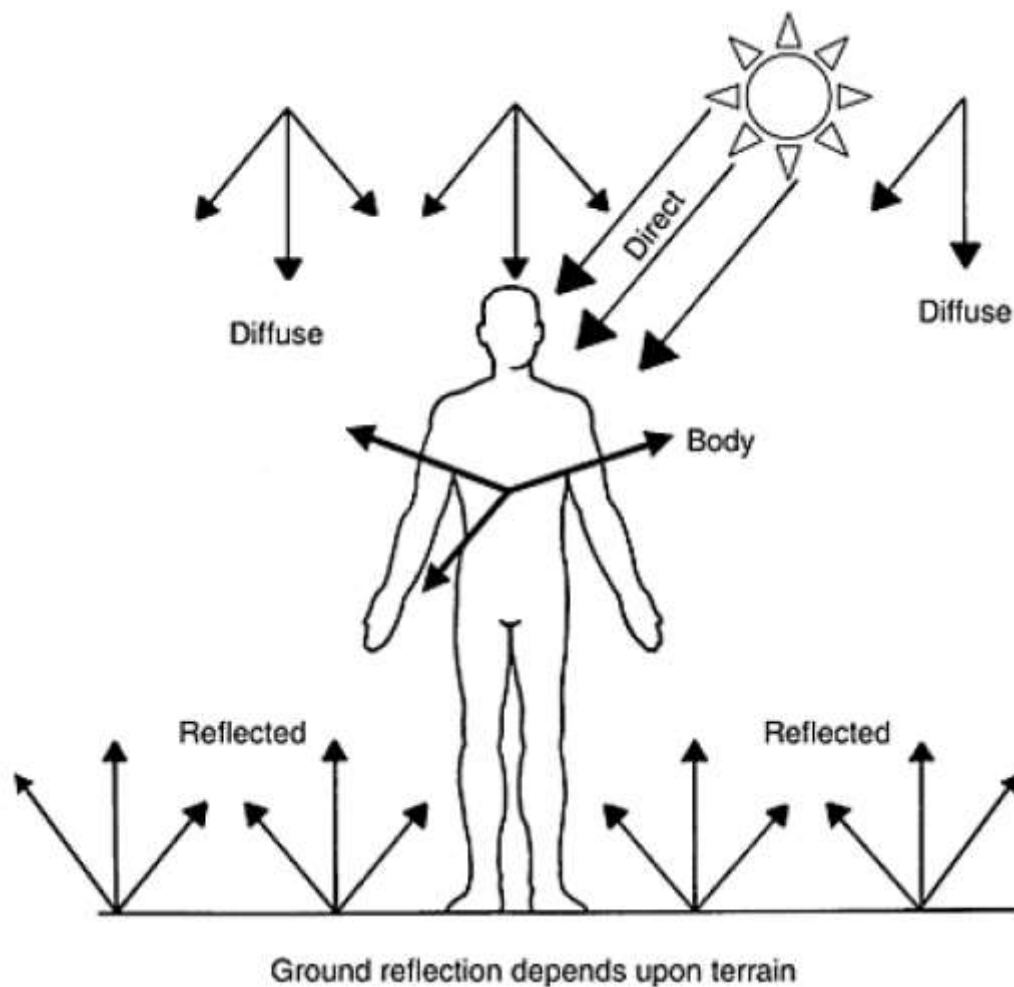
θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του αέρα. Φυσικά η θερμοκρασία του αέρα ποικίλει και η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των σωμάτων αποτελεί μια συνεχή διαδικασία. Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής υπάρχει ροή θερμότητας από σώματα με υψηλότερη θερμοκρασία προς σώματα με χαμηλότερη. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι σημαντικός δείκτης της κατάστασής του (άνεση, κρύο, ζέστη). Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος τείνει να διατηρείται σταθερή περίπου στους 37 °C. Απόκλιση από αυτή τη θερμοκρασία γίνεται αισθητή από τον ανθρώπινο οργανισμό και είναι δυνατόν να έχει σοβαρές συνέπειες για αυτόν. Συνεπώς η θερμοκρασία των στοιχείων που αποτελούν το περιβάλλον του ανθρώπινου οργανισμού επηρεάζει τη ροή θερμότητας από και προς αυτόν. Κινητήριος δύναμη για την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντός του αποτελεί η θερμοκρασία του αέρα.

Το ανθρώπινο σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με μεταφορά. Όταν η θερμοκρασία του αέρα πλησιάζει ή είναι ίση με τη θερμοκρασία του δέρματος, καταλαβαίνουμε τη διακοπή της μεταφοράς της θερμότητας, η οποία εκφράζεται με αίσθηση υπερβολικής ζέστης (Parsons, 1993).

#### **3.5.2.2 Θερμική ακτινοβολία**

Η θερμική ακτινοβολία μέσα σε έναν ανοικτό αστικό χώρο περιγράφεται συνήθως με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{\text{mrt}}$ ). Ως μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται η ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός φανταστικού χώρου όπου η καθαρή μεταφορά ακτινοβολίας θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του χώρου είναι ίση με τη μεταφορά θερμότητας σε ένα πραγματικό περίβλημα με ανομοιόμορφες θερμοκρασίες (ASHRAE, 2009). Σε ανοικτούς αστικούς χώρους η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αθροίζει την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος και βραχέων κυμάτων στην οποία εκτίθεται ένα ανθρώπινο σώμα. Η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων περιλαμβάνει άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από τον ήλιο, ενώ η ακτινοβολία μακρών κυμάτων προέρχεται από στερεές επιφάνειες, όπως προσόψεις κτιρίων και το έδαφος (ASHRAE, 2009). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει μεγαλύτερη επίδραση στη θερμική άνεση από τη θερμοκρασία του αέρα.

Το ανθρώπινο σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του με ακτινοβολία (Εικόνα 12). Όταν η θερμοκρασία των αντικειμένων του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του δέρματος πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας προς το σώμα με ακτινοβολία, η οποία εκδηλώνεται με αίσθηση ζέστης. Ενώ όταν η θερμοκρασία των αντικειμένων του περιβάλλοντος είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του δέρματος πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας από το σώμα με ακτινοβολία, η οποία εκδηλώνεται με αίσθημα ψύχους (Parsons, 1993).



Εικόνα 12: Η επίδραση της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από τον προσανατολισμό του ατόμου σε σχέση με την πηγή ακτινοβολίας (Parsons, 1993).

### 3.5.2.3 Κίνηση αέρα

Οι τρόποι με τους οποίους η κίνηση του αέρα επιδρά στη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος και συνεπώς στη θερμική άνεση είναι οι εξής:

- Μέσω αγωγιμότητας και μεταφοράς επηρεάζει την ταχύτητα ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος.
- Μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα επηρεάζει την ταχύτητα ψύξης του σώματος.

Ο πρώτος τρόπος επίδρασης της κίνησης του αέρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα σε σχέση με τη θερμοκρασία του ανθρώπινου δέρματος (31 – 34 °C). Όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του δέρματος, πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας προς το σώμα μέσω αγωγιμότητας και μεταφοράς. Ενώ αν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του δέρματος πραγματοποιείται απαγωγή θερμότητας από το σώμα μέσω αγωγιμότητας και μεταφοράς. Όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται τότε αυξάνεται και η ροή θερμότητας, η κατεύθυνση της οποίας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας αέρα – δέρματος.

Χαρακτηριστικό του δεύτερου τρόπου επίδρασης της κίνησης του αέρα είναι ότι η ταχύτητα εξάτμισης εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα και την υγρασία της ατμόσφαιρας. Αύξηση της ταχύτητας του αέρα οδηγεί σε αύξηση της εξάτμισης και συνεπώς και του δροσισμού. Φυσικά το αίσθημα δροσισμού με ατμοσφαιρική υγρασία σε υψηλά ποσοστά είναι μηδαμινό.

Το αποτέλεσμα της κίνησης του αέρα, είτε με τον ένα είτε με τον άλλο τρόπο, είναι κατά τη θερινή περίοδο να έχουμε επέκταση της περιοχής θερμικής άνεσης σε περιοχές με υψηλότερες θερμοκρασίες, με την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία του αέρα δεν είναι μεγαλύτερη των 34 °C (θερμοκρασία του δέρματος) και η σχετική υγρασία είναι χαμηλή (κάτω από 70%). Κατά τη χειμερινή περίοδο που η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλή η κίνηση του αέρα μειώνει τη θερμική άνεση (Fanger, 1970).

#### **3.5.2.4 Υγρασία**

Η υγρασία της ατμόσφαιρας επηρεάζει τη θερμική άνεση με πολύπλοκο και έμμεσο τρόπο. Με τη μεταφορά, την ακτινοβολία και με την εξάτμιση που γίνεται στους πνεύμονες ο ανθρώπινος οργανισμός χάνει θερμότητα προς το περιβάλλον. Όταν οι απώλειες αυτές δεν επαρκούν για την ισορροπία της παραγωγής μεταβολικής θερμότητας, ενεργοποιούνται οι αδένες παραγωγής ιδρώτα, ώστε το σώμα να χάσει θερμότητα με την εξάτμιση. Συνεπώς η ατμοσφαιρική υγρασία παίζει το ρόλο του



ελεγκτικού παράγοντα της δυνατότητας εξάτμισης, και επομένως η επίδρασή της στη θερμική άνεση περιορίζεται σε ορισμένες θερμοκρασιακές περιοχές.

Επομένως, η υγρασία που περιέχεται στην ατμόσφαιρα επιδρά στη θερμική άνεση σε υψηλές τιμές (πάνω από 80%) σε συνδυασμό με υψηλή θερμοκρασία αέρα (25 °C και πάνω). Χαμηλές τιμές υγρασίας (κάτω από 30 %) δεν έχουν ουσιαστική επίδραση στη θερμική άνεση, μπορεί όμως να προκαλέσουν διάφορους ερεθισμούς στο δέρμα (Άξαρηλή et al., 2001).

### **3.5.2.5 Ενδυμασία**

Η ενδυμασία αποτελεί παράγοντα, ο οποίος ελέγχει τη θερμική μετάδοση μεταξύ του περιβάλλοντος και του ανθρώπινου σώματος κατά τη διαδικασία εξάτμισης του ιδρώτα. Η ενδυμασία προστατεύει το σώμα από τις αλλαγές της θερμοκρασίας και την κίνηση του αέρα. Επίσης είναι ο μόνος παράγοντας στον οποίο ο άνθρωπος μπορεί να επέμβει (προσθέτοντας ή αφαιρώντας ρούχα) για να βελτιώσει τη θερμική άνεση.

Σε θερμοκρασίες έως 35 °C η ενδυμασία μειώνει τη μετάδοση θερμότητας προς το περιβάλλον, παρέχοντας θερμομόνωση και συνεπώς επηρεάζει τη θερμική άνεση αυξάνοντας την αίσθηση της ζέστης. Αντίθετα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 35 °C ο ρόλος της ενδυμασίας είναι πιο πολύπλοκος. Πιο συγκεκριμένα από τη μια μειώνεται η μετάδοση της θερμότητας προς το σώμα ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η υγρασία και μειώνεται η κίνηση του αέρα. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι να εμποδίζεται η εξάτμιση του ιδρώτα από το σώμα και συνεπώς και ο δροσισμός, ο οποίος προκαλείται εξαιτίας της εξάτμισης. Όμως ένα ποσοστό της εξάτμισης τελικά γίνεται στα ρούχα, τα οποία έχουν απορροφήσει τον ιδρώτα και το ποσοστό αυτό εξαρτάται από το μεταβολισμό, την υγρασία και την ταχύτητα του αέρα.

Η θερμική αντίσταση της ενδυμασίας εξαρτάται τόσο από την αντίσταση των υφασμάτων όσο και από την εφαρμογή τους στο ανθρώπινο σώμα. Μονάδα μέτρησης της θερμικής αντίστασης της ενδυμασίας στη ροή θερμότητας είναι το «clo». Ειδικότερα 1 clo αντιστοιχεί στην τυπική χειμερινή ενδυμασία. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές θερμικής αντίστασης για τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας σύμφωνα με το πρότυπο ISO84.



Πίνακας 3: Τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας (ISO84)

Ντύσιμο	I <sub>cl</sub>	
	M <sup>2</sup> °C / W	clo
Shorts	0.015	0.1
Τυπικό τροπικό ντύσιμο	0.045	0.3
Ελαφρύ καλοκαιρινό ντύσιμο	0.08	0.5
Ελαφριά ενδυμασίας εργασίας	0.11	0.7
Χειμερινό ντύσιμο	0.16	1.0
Βαρύ παραδοσιακό ευρωπαϊκό κοστούμι	0.23	1.5

Επομένως η ενδυμασία μειώνει μεν της θερμικές προσόδους που προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία, μειώνει όμως και τη δυνατότητα δροσισμού μέσω της εξάτμισης, ο οποίος εξαρτάται από τη σχετική υγρασία του αέρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρημος, όπου η σχετική υγρασία είναι πολύ μικρή και η απαραίτητη εξάτμιση είναι δυνατόν να διατηρηθεί κάτω από τα ρούχα. Σε αυτή την περίπτωση το όφελος είναι σημαντικό διότι αφενός η ενδυμασία προστατεύει το σώμα από την ηλιακή ακτινοβολία και αφετέρου δεν διακόπτεται ο δροσισμός από την εξάτμιση του ιδρώτα. Η επίδραση του ανέμου στη μονωτική ικανότητα της ενδυμασίας εξαρτάται από τη διαπερατότητα των υφασμάτων στον αέρα και τη γενική ανεμοσταγανότητά της (Parsons, 1993).

### 3.5.2.6 Δραστηριότητα

Ο μεταβολισμός ενός ατόμου επηρεάζεται από τη δραστηριότητά του, αυξάνοντας ή μειώνοντας την ενέργεια που παράγεται και την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Ο μεταβολισμός εξαρτάται από την ηλικία, το φύλλο και το βάρος του σώματος, παρόλο αυτό όμως ο πιο καθοριστικός παράγοντας είναι το επίπεδο και η δυσκολία της δραστηριότητας προσδιορισμού του. Μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη δραστηριότητα είναι το MET και ειδικότερα 1 MET εκφράζει τη μεταβολική θερμότητα που παράγεται από ένα άτομο όταν αυτό κάθεται και ισοδυναμεί με 58 W/m<sup>2</sup> (Αξαρχή et al., 2001).

### 3.5.3 Θερμικοί Δείκτες

Για να γίνει κατανοητή η σχέση και η αλληλεπίδραση των παραγόντων που επηρεάζουν τη θερμική άνεση μεταξύ τους έχουν δημιουργηθεί οι θερμικοί δείκτες. Με στόχο την εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος, τη θερμική κατάσταση και τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου έχουν προταθεί διάφοροι δείκτες, παρακάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικοί.

#### 3.5.3.1 Λειτουργική Θερμοκρασία (*Operative Temperature*)

Ο δείκτης αυτός συνδυάζει τη θερμοκρασία του αέρα, τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία και την κίνηση του αέρα. Ορίζεται ως η ενιαία θερμοκρασία ενός φανταστικού χώρου, στο οποίο το άτομο θα ανταλλάσσει το ίδιο ποσό θερμότητας, με ακτινοβολία και μεταφορά, όπως στο πραγματικό περιβάλλον. Όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από 0.2 m / sec, η λειτουργική θερμοκρασία ισούται με το μέσο όρο της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας (Hall, 2010).

#### 3.5.3.2 Τυπική Ενεργός Θερμοκρασία (*Standard Effective Temperature, SET*)

Ο δείκτης αυτός έχει υιοθετηθεί από την ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning) και έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως από τους μηχανικούς. Οποιοδήποτε περιβάλλον, ενδυμασία και δραστηριότητα ανάγονται σε ένα φανταστικό ενιαίο περιβάλλον με 50 % σχετική υγρασία, ταχύτητα αέρα 0.125 m / sec, δραστηριότητα 1 MET (καθιστή στάση 58 w / m<sup>2</sup>) και ενδυμασία 0.6 clo (κανονικά ελαφρά ρούχα εσωτερικού χώρου). Αυτό σημαίνει ότι αν για παράδειγμα η Τυπική Ενεργός Θερμοκρασία είναι 5 °C, η θερμική άνεση θα είναι η ίδια, όπως είναι για ένα άτομο καθιστό που φοράει ρούχα εσωτερικού χώρου, με ακίνητο αέρα και σε ενιαίο περιβάλλον 5 °C, με σχετική υγρασία 50 %.

#### 3.5.3.3 Φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασίας (*Physiological Equivalent Temperature - PET*)

Ο δείκτης της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) εισήχθη από τους Hoppe και Mayer (Hoppe and Mayer, 1987). Ορίζεται ως η φυσιολογική ισοδύναμη

θερμοκρασία σε μια δεδομένη θέση (σε εξωτερικό ή εσωτερικό χώρο). Είναι η ισοδύναμη θερμοκρασία του αέρα σε ένα τυπικό εσωτερικό χώρο, δηλαδή χωρίς την επίδραση του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας, όπου το ισοζύγιο θερμότητας του ανθρώπινου σώματος διατηρείται και η θερμοκρασία του δέρματος και του σώματος είναι ίσες με εκείνες των υπό εξέταση συνθηκών (Höppe, 1999). Οι παραδοχές που ακολουθούν αφορούν τις κλιματικές συνθήκες αναφοράς σε εσωτερικό χώρο: η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία ισούται με τη θερμοκρασία του αέρα ( $T_{mrt} = T_a$ ), η ταχύτητα του αέρα διαμορφώνεται σε 0.1 m / s, η πίεση των υδρατμών διαμορφώνεται σε 12 hPa (περίπου ισοδύναμη με σχετική υγρασία 50 % σε  $T_a = 20$  °C). Σύμφωνα με τον Horpe (1999) η υιοθέτηση σταθερών τιμών για τα είδη ένδυσης και τη δραστηριότητα στον υπολογισμό της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) έγινε προκειμένου να καθοριστεί ένας δείκτης ανεξάρτητος από την ατομική συμπεριφορά. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται παραδείγματα τιμών της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για διαφορετικά κλιματικά σενάρια.

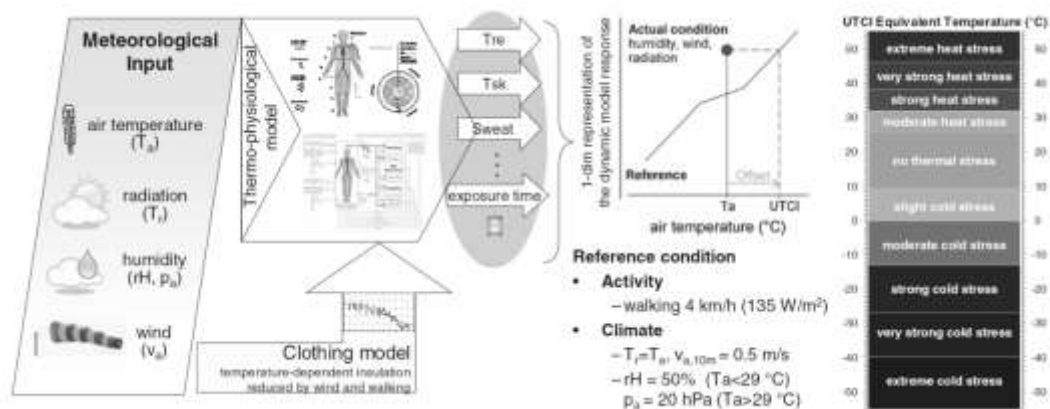
**Πίνακας 4:** Παραδείγματα τιμών φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για διαφορετικά κλιματικά σενάρια (Höppe, 1999)

Scenario	$T_a$ (°C)	$T_{mrt}$ (°C)	V (m / s)	VP (hPa)	PET (°C)
Typical room	21	21	0.1	12	<b>21</b>
Winter, sunny	-5	40	0.5	2	<b>10</b>
Winter, shade	-5	-5	5.0	2	<b>-13</b>
Summer, sunny	30	60	1.0	21	<b>43</b>
Summer, shade	30	30	1.0	21	<b>29</b>

#### **3.5.3.4 Παγκόσμιος θερμικός κλιματικός δείκτης (Universal Thermal Climate Index – UTCI)**

Ο παγκόσμιος θερμικός κλιματικός δείκτης (UTCI) αποτελεί τον πιο σύγχρονο «σύνθετο» δείκτη θερμικής άνεσης, ο οποίος αναπτύχθηκε στο πλαίσιο ενός πανευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος (COST Action 730). Η ανάπτυξή του στηρίζεται στο ισοζύγιο θερμότητας του ανθρώπινου σώματος, ωστόσο διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με τους άλλους δείκτες. Η διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι ο UTCI αναπτύχθηκε με βασικό κριτήριο τη δυνατότητα εφαρμογής του σε οποιοδήποτε περιβάλλον και κάτω από όλες τις δυνατές συνθήκες. Ο UTCI ορίζεται ως η ισοδύναμη θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C) ενός

περιβάλλοντος αναφοράς, που προκαλεί την ίδια φυσιολογική απόκριση ενός προσώπου αναφοράς με το πραγματικό περιβάλλον (Weihs et al., 2012). Ο υπολογισμός της φυσιολογικής αντίδρασης στις μετεωρολογικές συνθήκες βασίζεται σε ένα μοντέλο πολλαπλών κόμβων της ανθρώπινης θερμορύθμισης το οποίο συνδέεται με ένα μοντέλο ένδυσης (Fiala et al., 2001) (Εικόνα 13). Συνεπώς ακολουθώντας την έννοια της ισοδύναμης θερμοκρασίας, ο UTCI για ένα δεδομένο συνδυασμό ταχύτητας ανέμου, ακτινοβολίας, υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα ορίζεται ως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αναφοράς, η οποία σύμφωνα με το μοντέλο παράγει ισοδύναμη δυναμική φυσιολογική απόκριση (Bröde et al., 2012). Παρόλο που ο UTCI στηρίζεται σε θερμοφυσιολογικό μοντέλο και κάθε τιμή του αντιστοιχεί σε μοναδική θερμοφυσιολογική απόκριση, ο υπολογισμός του δεν απαιτεί τη γνώση προσωπικών παραμέτρων (π.χ. μεταβολισμός, τρόπος ένδυσης κ.α.), γεγονός που αποτελεί το συγκριτικό του πλεονέκτημα έναντι των άλλων δεικτών (Fiala et al., 2001)



Εικόνα 13: Η έννοια του UTCI που προέρχεται ως ισοδύναμη θερμοκρασία από τη δυναμική απόκριση του θερμοφυσιολογικού μοντέλου UTCI – Fiala (Fiala et al., 2001), που συνδυάστηκε με ένα μοντέλο ενδυμάτων (Havenith et al., 2012) (Bröde et al., 2012)

### 3.5.3.5 Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος (Predicted Mean Vote, PMV)

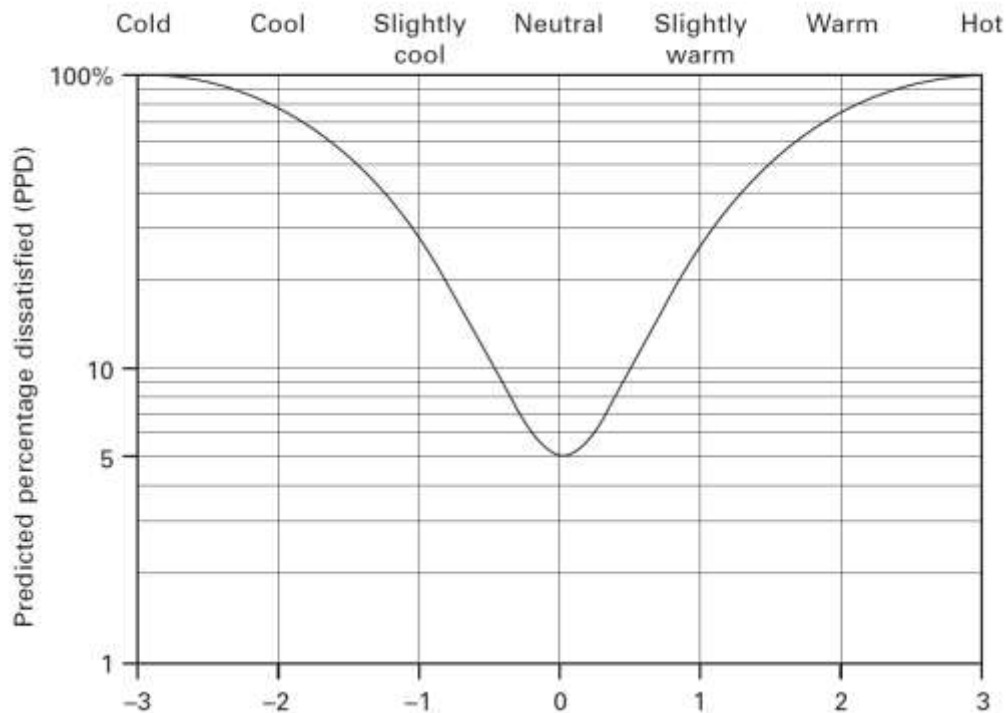
Ο δείκτης αυτός αποτελεί μια κλίμακα θερμικής αίσθησης που προτάθηκε από τον Fanger (1970) (Πίνακας 5) Η κλίμακα χρησιμοποιεί επτά σημεία, από -3 έως +3 με το 0 να αποτελεί το σημείο ουδετερότητας, δηλαδή θερμικής άνεσης. Το -3 αποτελεί το ακρότατο σημείο προς τα κάτω και σηματοδοτεί το κρύο, ενώ το +3 το ακρότατο προς τα πάνω και σηματοδοτεί τη ζέστη. Όταν η τιμή του PMV είναι θετική, η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από τη βέλτιστη (θερμοκρασία θερμικής άνεσης), ενώ όταν είναι αρνητική, η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη.

Πίνακας 5: Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος (Predicted Mean Vote, PMV), σύμφωνα με τον Fanger

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΙΣΘΗΣΗ	PMV
Κρύο	-3
Δροσερό	-2
Μάλλον δροσερό	-1
Ουδέτερο (θερμοκρασία άνεσης)	0
Μάλλον θερμό	+1
Θερμό	+2
Ζεστό	+3

#### 3.5.3.6 Προβλεπόμενο Ποσοστό Ανικανοποιήτων (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)

Ο δείκτης αυτός συμπληρώνει το δείκτη της Προβλεπόμενης Μέσης Ψήφου (PMV) και εκφράζει το ποσοστό των ατόμων που αισθάνονται έλλειψη θερμικής άνεσης σε ένα δεδομένο θερμικό περιβάλλον (Εικόνα 14). Για τη δημιουργία αυτού του δείκτη ο Fanger (1970) χρησιμοποίησε ένα πλήθος 1.296 ατόμων και κατέγραψε τις αντιδράσεις τους χρησιμοποιώντας την κλίμακα της Προβλεπόμενης Μέσης Ψήφου.



Εικόνα 14: Προβλεπόμενο Ποσοστό Ανικανοποιήτων (PPD) σε σχέση με την Προβλεπόμενη Μέση Ψήφο (PMV) (Hall, 2010)

### 3.5.4 Επιπτώσεις του θερμικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο

Οι θερμικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα τη θερμική αίσθηση και την άνεση και είναι δυνατόν να επηρεάσουν τη γενικότερη «ψυχολογική κατάσταση» του σώματος, όπως για παράδειγμα τη διάθεση και τη συμπεριφορά ενός ατόμου. Αυτό εξαρτάται από την αλληλεπίδραση ερεθισμάτων και ψυχολογικών παραγόντων.

Όταν το θερμικό περιβάλλον (από την άποψη της θερμοκρασίας του αέρα, της θερμικής ακτινοβολίας, της κίνησης του αέρα, της υγρασίας, της ενδυμασίας και της δραστηριότητας) παρέχει την τάση αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα, το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος ανταποκρίνεται στην προσπάθεια αύξησης της απώλειας θερμότητας. Αυτή η ανταπόκριση μπορεί να είναι δυνατή και ισχυρή αλλά μπορεί επίσης να προκαλέσει μια πίεση στο σώμα και σημαντικό ποσό της θερμότητας να μην απομακρυνθεί με αποτέλεσμα τη δημιουργία δυσφορίας που μπορεί σε ακραίες συνθήκες να οδηγήσει και στο θάνατο.

Όταν το θερμικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται κρύο τότε το ανθρώπινο σώμα έχει την τάση να χάνει θερμότητα ή να έχει αρνητική αποθήκευση θερμότητας. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον εκτός από την έντονη δυσφορία, η ψυχρή καταπόνηση είναι δυνατόν να

οδηγήσει σε πτώση της θερμοκρασίας του σώματος. Για παράδειγμα η θερμοκρασία του σώματος μπορεί να βρεθεί πολύ κάτω από τους 35 °C (υποθερμία) πολύ γρήγορα εάν ένα άτομο βυθιστεί σε κρύο νερό ή στον αέρα. Επίσης και η θερμοκρασία του δέρματος μπορεί να πέσει. Αποτέλεσμα της μείωσης της θερμοκρασίας του σώματος και ιδιαίτερα της καρδιάς μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο (Oliver, 2008).



### 3.6. Αστικό πράσινο

Με το όρο αστικό πράσινο χαρακτηρίζονται κυρίως οι χώροι του πολεοδομικού ιστού που σχεδιάστηκαν ή κατά τη διαδικασία ανάπτυξης της πόλης, εξελίχθηκαν για να παραμείνουν χωρίς κτίσματα και να φιλοξενήσουν κάποιας μορφής βλάστηση. Επομένως το αστικό πράσινο μπορεί να διαμορφωθεί και να χρησιμοποιηθεί από τους κατοίκους για αναψυχή, εκπαίδευση, άθληση κτλ.

#### 2.6.1 Κατηγορίες αστικού πράσινου

Όσον αφορά την ταξινόμηση των χώρων αστικού πράσινου δεν υπάρχει ένα ενιαίο σύστημα διεθνώς, αλλά κάθε χώρα ή ερευνητική ομάδα ακολουθεί μια ταξινόμηση που να εξυπηρετεί τους στόχους που έχει θέσει. Παρακάτω ακολουθεί μια κατηγοριοποίηση των χώρων αστικού πράσινου με βάση το ιδιοκτησιακό καθεστώς:

- Δημόσιοι χώροι πράσινου, όπως πάρκα, πλατείες, άλση, πεζόδρομοι ή πεζοδρόμια, νησίδες δρόμων, περιβάλλοντες χώροι σχολείων, δημόσιων υπηρεσιών και κέντρων πολιτισμού, φυτώρια και ρέματα.



Εικόνα 15: Το πάρκο γειτονιάς Clementi Woods Park στη Σιγκαπούρη (Yu and Hien, 2006)



Στην Εικόνα 15 και στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται το πάρκο γειτονιάς Clementi Woods Park το οποίο βρίσκεται στη Σιγκαπούρη. Διακρίνεται η έντονη και πυκνή βλάστηση, με ψηλά δένδρα και θάμνους. Το μεγαλύτερο μέρος των επιφανειών καλύπτεται με γρασίδι ενώ υπάρχουν μικρά πλακόστρωτα μονοπάτια.



Εικόνα 16: Το πάρκο γειτονιάς Clementi Woods Park στη Σιγκαπούρη (Yu and Hien, 2006)

Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται ένα τυπικό φαράγγι δρόμου στο Chongqing της Νοτιοδυτικής Κίνας. Χαρακτηριστικό του φαραγγιού είναι η ύπαρξη ψηλών δένδρων και στις δύο πλευρές του δρόμου ενώ τα κτίρια είναι μεσαίου ύψους.



Εικόνα 17: Φαράγγι δρόμου με κτίρια μεσαίου ύψους στο Chongqing της Νοτιοδυτικής Κίνας (Lu et al., 2017)

Στην Εικόνα 18, στην Εικόνα 19 και στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται το πάρκο Sydney and Walda Besthoff Sculpture Garden το οποίο βρίσκεται στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ. Στην Εικόνα 18 φαίνεται η πλούσια βλάστηση που χαρακτηρίζει ακόμη και την είσοδο του πάρκου, στην Εικόνα 19 φαίνεται το εσωτερικό του πάρκου, στο οποίο τα δένδρα που είναι τοποθετημένα διάσπαρτα στην επιφάνεια που καλύπτεται από γρασίδι ενώ στην Εικόνα 20 φαίνεται ο συνδυασμός του υγρού στοιχείου και της βλάστησης.





**Εικόνα 18: The Sydney and Walda Besthoff Sculpture Garden στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ (Kwang, n.d.)**



**Εικόνα 19: The Sydney and Walda Besthoff Sculpture Garden στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ (Kwang, n.d.)**



**Εικόνα 20: The Sydney and Walda Besthoff Sculpture Garden στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ (Kwang, n.d.)**



Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται το Ulsan Grand Park το οποίο βρίσκεται στο Ulsan της Κορέας. Χαρακτηριστικό του πάρκου όπως φαίνεται είναι η τοποθέτηση ψηλών δένδρων κατά μήκος των μονοπατιών με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια συστοιχία δένδρων.



**Εικόνα 21:** The Ulsan Grand Park στο Ulsan της Κορέας (Kwang, n.d.)



Εικόνα 22: The Sunyudo Park στη Σεούλ της Κορέας (Kwang, n.d.)

Στην Εικόνα 22 και στην Εικόνα 23 παρουσιάζεται το Sunyudo Park το οποίο βρίσκεται στη Σεούλ της Κορέας. Στις εικόνες παρατηρούμε την ύπαρξη ψηλών δένδρων, επιφανειών με γρασίδι και πλούσια βλάστηση με θάμνους ακόμη και στη βάση των δένδρων. Χαρακτηριστικά στην Εικόνα 23 παρατηρούμε ότι τα δένδρα είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται οι κατασκευές από μπετόν και να μην είναι εμφανώς ορατές από το μονοπάτι περιπάτου.



Εικόνα 23: The Sunyudo Park στη Σεούλ της Κορέας (Kwang, n.d.)





Εικόνα 24: The Elizabeth & Nona Evans Restorative Garden στο Οχάιο των ΗΠΑ (Kwang, n.d.)

Στην Εικόνα 24 παρουσιάζεται το Elizabeth & Nona Evans Restorative Garden το οποίο βρίσκεται στο Οχάιο των ΗΠΑ. Διακρίνουμε το συνδυασμό του υγρού στοιχείου και της βλάστησης, με την ύπαρξη επιφανειών με γρασίδι και πυκνή βλάστηση με ψηλά δένδρα και θάμνους.

- Ιδιωτικοί χώροι πράσινου, όπως προκήπια, πρασιές, κήποι ταράτσες, πράσινοι τοίχοι, ακάλυπτοι χώροι μεταξύ πολυκατοικιών



Εικόνα 25: Ιδιωτικός κήπος στην Παλλήνη Αττικής (Προσωπικό αρχείο)

Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται ιδιωτικός κήπος στην Παλλήνη Αττικής. Χαρακτηριστικό είναι η κάλυψη των επιφανειών με γρασίδι και ύπαρξη φυτικού φράχτη περιμετρικά της ιδιοκτησίας.



**Εικόνα 26: Ιδιωτικό ταρατσόκηπος στην Αθήνα (Προσωπικό αρχείο).**

Στην Εικόνα 26 παρουσιάζεται πως μια ταράτσα ακόμη και σε μια μεγάλη πόλη, όπως η Αθήνα είναι δυνατόν να μετατραπεί σε ένα μικρό κήπο με την τοποθέτηση διαφόρων θάμνων και μικρών δένδρων περιμετρικά και την τοποθέτηση πέργολας με αναρριχώμενα φυτά για τη δημιουργία σκιάς.





Εικόνα 27: Κοινόχρηστος χώρος πρασίνου μεταξύ πολυκατοικιών στο Μοσχάτο Αττικής (Προσωπικό αρχείο).

Στην Εικόνα 27 παρουσιάζεται κοινόχρηστος χώρος μεταξύ πολυκατοικιών στο Μοσχάτο Αττικής. Στο συγκεκριμένο συγκρότημα πολυκατοικιών πραγματοποιήθηκε ενοποίηση των κοινόχρηστων χώρων με τη δημιουργία ενός μεγάλου χώρου πρασίνου με επιφάνειες γρασιδιού, συνθέσεις με θάμνους σε διάφορα σημεία και περιμετρικά φυτικός φράχτης.

Στην Εικόνα 28 και στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται ιδιωτικός κήπος στο Σούνιο Αττικής. Στην Εικόνα 28 φαίνεται μια γενική εικόνα του κήπου και ο συνδυασμός επιφανειών με γρασίδι, θάμνους και δένδρα. Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται το παρτέρι της εισόδου και η πλούσια βλάστηση με μια μεγάλη ποικιλία φυτικών ειδών, κατάλληλα για τις απαιτήσεις της περιοχής.



Εικόνα 28: Ιδιωτικός κήπος στο Σούνιο Αττικής (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 29: Ιδιωτικός κήπος στο Σούνιο Αττικής (Προσωπικό αρχείο)

- Χώροι πράσινου με ειδικό καθεστώς διαχείρισης, όπως αρχαιολογικοί χώροι, χώροι στρατοπέδων, πανεπιστημιούπολεις, περιβάλλοντες χώροι νοσοκομείων, αθλητικές εγκαταστάσεις, κοιμητήρια, αυλές εκκλησιών, Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, παλιά λατομεία κλπ.



Στην Εικόνα 30 παρουσιάζεται πως η αυλή ενός κτιρίου στην πανεπιστημιούπολη του Πανεπιστημίου του Πόρτλαντ έχει μετατραπεί σε μια πράσινη όαση με τη δημιουργία πράσινων τοίχων στην εσωτερική πρόσοψη του κτιρίου.



**Εικόνα 30:** Κτίριο αυλής με πράσινους τοίχους στην πανεπιστημιούπολη του Πανεπιστημίου του Πόρτλαντ (Taleghani, 2018)

Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται η δημιουργία μια πράσινης ζώνης κατά μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής στο Hangzhou της Κίνας.



**Εικόνα 31:** Δημιουργία πράσινου χώρου κατά μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής στο Hangzhou της Κίνας (Wolch et al., 2014)

Στην Εικόνα 32 και στην Εικόνα 33 παρουσιάζεται ο κοινόχρηστος χώρος μεταξύ δημόσιων κτιρίων στη Μασαχουσέτη των ΗΠΑ. Ένας φιλόξενος χώρος μεταξύ των κτιρίων με την προσθήκη διαφόρων φυτικών ειδών και καθισμάτων έχει μετατραπεί

σε έναν όμορφο χώρο χαλάρωσης, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από του εργαζόμενους των κτιρίων.



**Εικόνα 32: Court Square Press Courtyard στη Μασαχουσέτη των ΗΠΑ (Kwang, n.d.)**



**Εικόνα 33: Court Square Press Courtyard στη Μασαχουσέτη των ΗΠΑ (Kwang, n.d.)**



### **3.7. Η Βλάστηση**

Η βλάστηση στους ανοικτούς αστικούς χώρους σε συνδυασμό με τις διαφορετικές μορφές που μπορεί να πάρει (πάρκα, δέντρα στους δρόμους, γρασίδι, πράσινες στέγες, πράσινοι τοίχοι) μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία υψηλής ποιότητας διαβίωση για τους κατοίκους των αστικών περιοχών. Η υψηλής ποιότητας διαβίωση συνίσταται στο γεγονός ότι η βλάστηση είναι δυνατόν να επηρεάσει τόσο την εσωτερική όσο και της εξωτερική θερμική άνεση, καθώς επίσης επηρεάζει την αέρια ρύπανση, το επίπεδο του θορύβου, τις κοινωνικές δραστηριότητες, την αισθητική παρουσίαση και πολλά άλλα (Lai et al., 2019b).

#### **3.7.1 Οι ιδιότητες της βλάστησης**

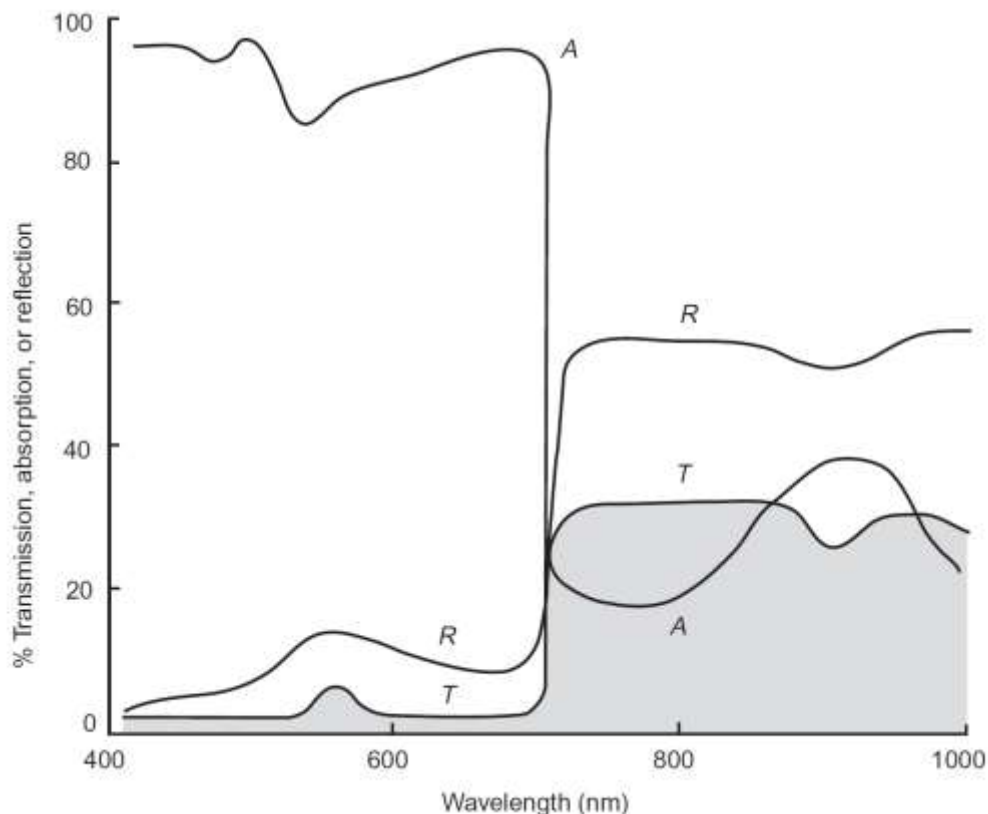
Η συμβολή της βλάστησης στον επηρεασμό του αστικού θερμικού περιβάλλοντος είναι σημαντικοί λόγω των ιδιοτήτων της, όπως (Oke, 2002):

- Παρουσιάζει υψηλό ποσοστό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Σε σύγκριση με τα δομικά υλικά των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων έχει χαμηλότερη θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα.
- Μέσω της διαπνοής μειώνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα.
- Εκπέμπει μειωμένη υπέρυθρη ακτινοβολία.
- Μειώνεται η ταχύτητα του ανέμου κοντά στο έδαφος.
- Κατακρατάει σκόνη και ρυπαντές από τον περιβάλλοντα αέρα.
- Παρέχει ηχοπροστασία.

##### **3.7.1.1 Βλάστηση και ακτινοβολία**

Τα φύλλα των δέντρων απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει πάνω τους. Ειδικότερα τα φύλλα μέσω της αντανάκλασης και της απορρόφησης είναι δυνατόν να απορροφήσουν μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Εικόνα 34). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποτελεσματική μείωση της θερμικής ακτινοβολίας στις αστικές περιοχές. Επίσης, όπως συμβαίνει και με τα κτίρια του αστικού περιβάλλοντος, έτσι και η ύπαρξη δέντρων συμβάλλει στη μείωση του παράγοντα θέασης του ουρανού (Sky View Factor – SVF) (Oke, 2002). Πολλές μελέτες έχουν ποσοτικοποιήσει τη μείωση της

μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$ ) κάτω από τα δέντρα. Οι περισσότερες διαπίστωσαν ότι αύξηση της αστικής κάλυψης των δέντρων οδηγεί σε μείωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Σημαντικός παράγοντας που επιδρά στην παρεμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι και ο δείκτης επιφάνειας φύλλων (LAI). Υψηλότερες τιμές δείκτη επιφάνειας φύλλων υποδεικνύουν δέντρα με πυκνότερα φύλλα και συνεπώς μεγαλύτερη ικανότητα να παρεμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία (Lai et al., 2019b).



Εικόνα 34: Γενικευμένα φασματικά χαρακτηριστικά φύλλων φυτών μεταξύ 400 και 1000nm (από διάφορες πηγές). A = απορρόφηση, R = αντανάκλαση και T = μετάδοση. Η σκιασμένη περιοχή αντιπροσωπεύει τη μεταδιδόμενη ακτινοβολία (Fitter and Hay, 2002).

Εκτός από την παρεμπόδιση της ακτινοβολίας μικρού κύματος η βλάστηση έχει την ικανότητα να μειώνει και την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος εξαιτίας της μείωσης της επιφανειακής θερμοκρασίας μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Η εξάτμιση του νερού από τα φύλλα που εκτίθενται στον ήλιο «καταναλώνει» το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Μέσω της εξάτμισης τα φύλλα και ο αέρας που έρχεται σε επαφή με αυτά ψύχεται και ταυτόχρονα αυξάνεται και η υγρασία του αέρα. Αποτέλεσμα της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής είναι ο αέρας σε περιοχές με παρουσία βλάστησης να είναι πιο δροσερός από τον αέρα σε περιοχές



που καλύπτονται από ασφαλτο ή σκυρόδεμα. Επιπλέον αποτέλεσμα της χαμηλότερης θερμοκρασίας είναι το γεγονός ότι η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τα φύλλα να είναι χαμηλότερη από αυτή που εκπέμπεται από τις σκληρές επιφάνειες και συνεπώς οι κάτοικοι των περιοχών με βλάστηση να υπόκεινται σε χαμηλότερο θερμικό φορτίο ακτινοβολίας (Givoni, 1991).

#### **3.7.1.2 Βλάστηση και ανεμομετρικό πεδίο**

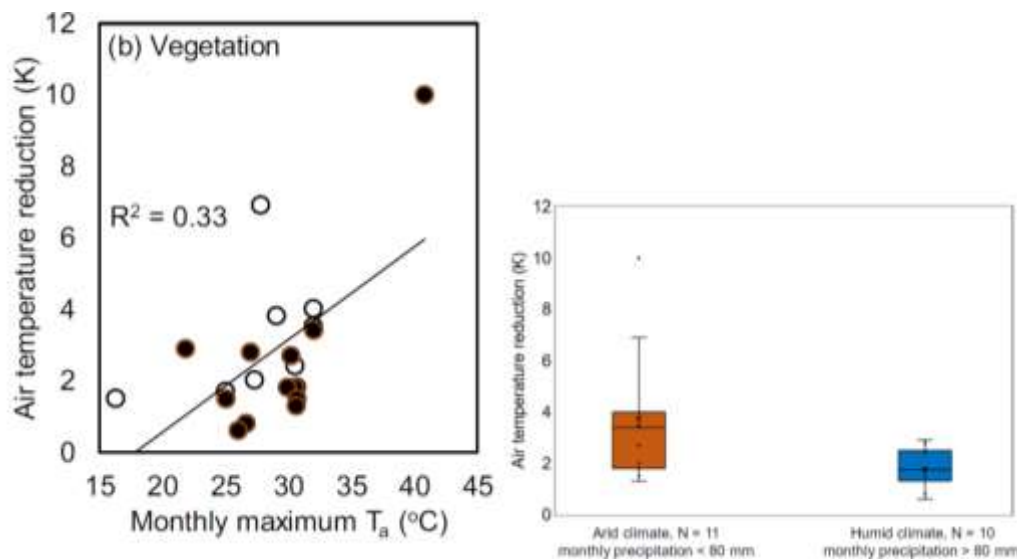
Η παρουσία βλάστησης στις αστικές περιοχές αυξάνει την τραχύτητα των επιφανειών και μεταβάλλει τη ροή του αέρα. Επιπλέον η επίδραση της βλάστησης στη μεταβολή της ροής του αστικού αέρα είναι διαφορετική από αυτή των κτιρίων. Η διαφορά πίεσης που δημιουργείται εξαιτίας της παρουσίας των κτιρίων είναι μεγαλύτερη από αυτή που δημιουργείται από τα δέντρα και αυτό οφείλεται στη μη συμπαγή μορφή της βλάστησης. Αποτέλεσμα αυτής της διαφοράς είναι να παρατηρείται σημαντική επιτάχυνση του αέρα γύρω από τις άκρες και τις στέγες των κτιρίων, ενώ αντίθετα η βλάστηση προκαλεί ομαλές μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου (Oke et al., 2017).

Η επίδραση της βλάστησης στο ανεμομετρικό πεδίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της βλάστησης και το μοτίβο φύτευσης. Περιοχές με χλοοτάπητα παρουσιάζουν τη μικρότερη τριβή (αντίσταση) στη ροή του αέρα και επιτρέπουν τις καλύτερες συνθήκες εξαερισμού. Οι θάμνοι επηρεάζουν τη ροή του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και πάνω από αυτό. Μεγαλύτερη επίδραση στη ροή του αέρα έχουν τα δέντρα, η οποία εξαρτάται από τον τύπο και την πυκνότητα αυτών. Μια πυκνή φύτευση εμποδίζει την ελεύθερη ροή του αέρα. Ωστόσο τα δέντρα και οι θάμνοι με την κατάλληλη χωροθέτηση μας δίνουν τη δυνατότητα να κατευθύνουμε τον αέρα σε κάποιο επιθυμητό σημείο ή να προστατέψουμε κάποιο σημείο (Givoni, 1991).

#### **3.7.1.3 Βλάστηση και θερμοκρασία του αέρα**

Η βλάστηση είναι δυνατόν να προκαλέσει μείωση της θερμοκρασίας του αέρα τόσο άμεσα όσο και έμμεσα (Εικόνα 35). Μέσω της διαδικασίας της διαπνοής συντελείται άμεση ψύξη, καθώς μέσω της βλάστησης το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς και παγιδεύεται θερμική ενέργεια από το περιβάλλον. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι τα φύλλα των φυτών και ο αέρας που τα περιβάλλει να δροσίζεται και

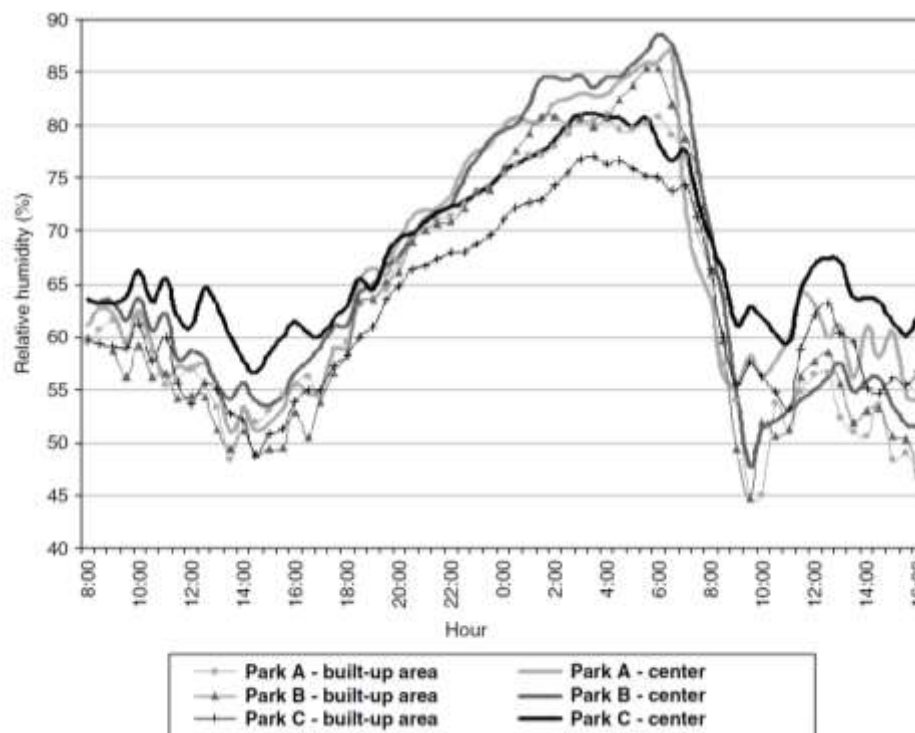
προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας τόσο των φύλλων όσο και του περιβάλλοντος. Σε περιοχές με παρουσία βλάστησης ο αέρας κοντά στο έδαφος είναι πιο δροσερός σε σχέση με δομημένες περιοχές. Επιπλέον αποτέλεσμα της χαμηλότερης θερμοκρασίας που παρουσιάζει η περιοχή της βλάστησης και του εδάφους είναι η μειωμένη εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου κύματος από τα φύλλα και το έδαφος σε σχέση με την ακτινοβολία που εκπέμπεται από επιφάνειες που είναι εκτεθειμένες στον ήλιο. Συνεπώς το θερμικό φορτίο είναι πολύ μικρότερο και βελτιώνεται η θερμική άνεση σημαντικά. Έμμεση μείωση της θερμοκρασίας του αέρα συντελείται μέσω της σκίασης που προσφέρει η βλάστηση (Oke, 2002).



Εικόνα 35: Στο αριστερό σχήμα παρουσιάζεται η αύξηση της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα ως λειτουργία τοπικής μέγιστης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα για τη στρατηγική της βλάστησης. Στο δεξί σχήμα παρουσιάζονται θηκογράμματα μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα για ξηρά και υγρά αντίστοιχα κλίματα (Lai et al., 2019b)

### 3.7.1.4 Βλάστηση και σχετική υγρασία

Η διαδικασία της διαπνοής μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα και ταυτόχρονα αυξάνει την υγρασία. Έρευνες έχουν δείξει ότι η παρουσία βλάστησης αυξάνει τη σχετική υγρασία (Εικόνα 36). Επίσης η εφαρμογή άρδευσης αυξάνει την υγρασία και προσφέρει επιπλέον ψύξη.



Εικόνα 36: Τιμές ωριαίας σχετικής υγρασίας σε πάρκα με διαφορετικά είδη βλάστησης και στις γύρω οικιστικές περιοχές κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (Potchter et al., 2006).

### **3.7.2 Τα οφέλη του πράσινου**

Τα οφέλη από την παρουσία του πράσινου στην πόλη και η συμβολή του στην ποιότητα ζωής των κατοίκων της είναι ποικίλα. Ο ρόλος του πράσινου είναι πολυδιάστατος. Οι χώροι πράσινου αποτελούν βασικό συστατικό μια πόλης. Τα οφέλη είναι δυνατόν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

- Περιβαλλοντικά οφέλη
- Κοινωνικά οφέλη και
- Οικονομικά οφέλη.

#### **3.7.2.1 Περιβαλλοντικά οφέλη**

Τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και παράγουν ( $\text{O}_2$ ). Με τη διαδικασία αυτή δεσμεύεται  $\text{CO}_2$  κατά τη διάρκεια της ημέρας και παράγεται  $\text{O}_2$ , ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατά τη διάρκεια της νύχτας. Όμως η ποσότητα  $\text{O}_2$  που παράγεται είναι μεγαλύτερη από αυτή του  $\text{CO}_2$ . Εκτός από την παραγωγή οξυγόνου, το πράσινο συμβάλλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συνεπώς στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και με έναν άλλο τρόπο. Τα φύλλα των δένδρων και των φυτών συγκρατούν τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως το όζον, τα οξείδια του θείου, του αζώτου και του άνθρακα και τα αιωρούμενα σωματίδια και με αυτή τη διαδικασία φιλτράρεται ο ατμοσφαιρικός αέρας (Tallis et al., 2011).

Στις σημερινές πόλεις όπου τα πάντα έχουν καλυφθεί με τσιμέντο και ασφαλτο σημαντικός είναι ο ρόλος του πράσινου στη διατήρηση της βιοποικιλότητας μέσα στο περιβάλλον της πόλης. Αστικές περιοχές με πάρκα, δενδροστοιχίες και κήπους όπως και η ύπαρξη ρεμάτων και ποταμών αποτελούν χώρους φιλοξενίας ζωντανών οργανισμών όπως πτηνά, έντομα αλλά και χώροι ανάπτυξης διαφόρων ειδών φυτών (Davis et al., 2012).

Οι διάφορες μορφές βλάστησης μέσω του ριζικού τους συστήματος συγκρατούν τα εδάφη και τα κρατούν συνεκτικά. Έτσι αποφεύγονται κατολισθήσεις και διαβρώσεις.

Οι χώροι πράσινου δεν βελτιώνουν μόνο την ποιότητα της ατμόσφαιρας αλλά βελτιώνουν και την ποιότητα των υδάτων. Στις περιπτώσεις που εντός των αστικών περιοχών υπάρχουν λίμνες ή χείμαρροι, οι χώροι πράσινου έχουν την ικανότητα να απορροφήσουν ποσότητες των όμβριων υδάτων αποτρέποντας την υπερχειλίση τους.

Αυτό συμβαίνει γιατί όταν δεν υπάρχει βλάστηση τα όμβρια ύδατα αφού συγκεντρώσουν όλα τα βλαβερά συστατικά από τους δρόμους, τα πεζοδρόμια και τις οροφές των κτιρίων ρέουν επιφανειακά στις ακάλυπτες επιφάνειες και διοχετεύονται σε όποιον φυσικό αποδέκτη υπάρχει διαθέσιμος είτε πρόκειται για θάλασσα, είτε για χείμαρρο, ποτάμι ή λίμνη. Αντίθετα η ύπαρξη βλάστησης εξασφαλίζει την απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων νερού μειώνοντας τα νερά απορροής, καθώς ένα μέρος του νερού συγκρατείται από τα φύλλα και ένα άλλο διεισδύει στο έδαφος. Με τον τρόπο αυτό ταυτόχρονα εμπλουτίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας και το νερό φιλτράρεται (Armson et al., 2013).

Η παρουσία του πράσινου επιδρά και στις συνθήκες του μικροκλίματος, βελτιώνοντας τες. Τα φύλλα των δένδρων συγκρατούν, αντανακλούν, απορροφούν και μεταβιβάζουν ηλιακή ακτινοβολία, βοηθώντας με αυτό τον τρόπο στη ρύθμιση της θερμοκρασίας σε ανεκτά για τον αστικό πληθυσμό επίπεδα. Τα φυτά απορροφούν μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας την ημέρα και την ελευθερώνουν αργά τη νύχτα, οπότε και μειώνουν τη θερμοκρασία της ημέρας και θερμαίνουν τη νύχτα. Συνεπώς το αστικό πράσινο βοηθάει στη διατήρηση σταθερού θερμοκρασιακού επιπέδου στον αστικό χώρο, οπότε αποφεύγονται οι ακραίες θερμοκρασίες, οι οποίες είναι επικίνδυνες για τον πληθυσμό των πόλεων (Killicoat et al., 2002). Σημαντική είναι και η συμβολή του πράσινου στη μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας τόσο άμεσα όσο και έμμεσα. Άμεσα σκιάζοντας τις επιφάνειες που απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και έμμεσα μέσω του δροσισμού που προέρχεται από την εξατμισοδιαπνοή (Ferrini and Fini, 2011).

Επιπλέον το αστικό πράσινο είναι δυνατόν να αποτελέσει πολύ καλό ηχομονωτικό για τον αστικό χώρο. Ζώνες πρασίνου απομονώνουν χώρους με σημαντική ηχορύπανση, όπως σιδηροδρομικές γραμμές, αυτοκινητόδρομοι, αυλές σχολείων, εργοστάσια (Tallis et al., 2011).

Η ταχύτητα του ανέμου επιβραδύνεται με την ύπαρξη βλάστησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η αιωρούμενη στην ατμόσφαιρα σκόνη να επικάθεται στα φύλλα από τα οποία ξεπλένεται από τη βροχή. Συνεπώς έχουμε μείωση της ρύπανσης που προέρχεται από τη σκόνη.

### **3.7.2.2 Κοινωνικά οφέλη**

Το σημαντικότερο κοινωνικό όφελος του αστικού πράσινου είναι το γεγονός ότι αποτελούν χώρους κοινωνικότητας, δηλαδή προωθείται η επαφή μεταξύ των ανθρώπων της κοινότητας. Στους χώρους αυτούς οι κάτοικοι μπορούν να έρθουν σε επαφή, να αναπτύξουν γνωριμίες ή και φιλίες, να ανταλλάξουν απόψεις, αποκτώντας έτσι το συναίσθημα της κοινωνικής αποδοχής. Η κοινωνική επαφή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για μια υγιή κοινωνία. Επίσης οι χώροι πράσινου ενθαρρύνουν τη φυσική δραστηριότητα και μειώνουν το άγχος (Mullaney et al., 2015). Επίσης δίνεται η δυνατότητα στους κατοίκους των πόλεων να έρθουν σε επαφή με τη φύση. Επιπλέον έχει αποδειχθεί σε τμήματα των πόλεων που υπάρχει πράσινο ότι έχει μειωθεί η εγκληματικότητα και έχει αυξηθεί η δημόσια ασφάλεια (Troy et al., 2012).

Τέλος θα πρέπει να αναφερθούμε και στην αισθητική βελτίωση που προσφέρει το πράσινο, καθώς βελτιώνει την αισθητική αντίληψη και την απόλαυση του αστικού τοπίου. Η χρήση του κατάλληλου φυτικού υλικού μπορεί να υποστηρίξει την αρμονική σχέση μεταξύ των κατασκευών, των ανθρώπων και του φυσικού περιβάλλοντος.

### **3.7.2.3 Οικονομικά οφέλη**

Οι χώροι πράσινου εκτός από τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη που αναφέρθηκαν παραπάνω, προσφέρουν και οικονομικά οφέλη, τα οποία σχετίζονται τόσο με τα περιβαλλοντικά όσο και με τα κοινωνικά οφέλη.

Ένα πολύ σημαντικό όφελος από την παρουσία πράσινου στον αστικό ιστό, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί τόσο περιβαλλοντικό όσο και οικονομικό είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, λόγω της μείωσης χρήσης των κλιματιστικών μηχανημάτων. Στις αστικές περιοχές που δεν υπάρχει πράσινο κατά την καλοκαιρινή περίοδο αναπτύσσονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες, λόγω της έκλυσης θερμότητας από τις δομημένες επιφάνειες. Επομένως οι κάτοικοι καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας ώστε να αποκτήσουν την επιθυμητή θερμική άνεση στους εσωτερικούς χώρους. Στην περίπτωση όμως που υπήρχαν χώροι πράσινου και δένδρα εκατέρωθεν των κτιρίων, που θα πρόσφεραν σκίαση, θα δημιουργούσαν ένα καλύτερο μικροκλίμα και συνεπώς και οι απαιτήσεις σε ενέργεια θα ήταν μικρότερες (Donovan and Butry, 2009).

Η παρουσία του πράσινου αναβαθμίζει τις αστικές περιοχές και τις καθιστά πιο ελκυστικές. Το γεγονός αυτό αυξάνει την επισκεψιμότητα της περιοχής και συνεπώς και τα έσοδα των επιχειρήσεων. Περισσότεροι επιχειρηματίες ελκύονται για να επενδύσουν και δημιουργούνται περισσότερες ευκαιρίες για εργασία (Wolf, 2005).

Επίσης η παρουσία πράσινου έχει άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση της αξίας της γης και των ακινήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κάτοικοι είναι διατεθειμένοι να καταβάλουν περισσότερα χρήματα για να αποκτήσουν μια ιδιοκτησία που βρίσκεται κοντά σε κάποιο χώρο πράσινου από ότι για μια άλλη που δεν βρίσκεται κοντά σε χώρους πράσινου (Crompton, 2005).

Ένα άλλο έμμεσο οικονομικό όφελος είναι η βελτίωση της υγείας των κατοίκων. Η παρουσία πράσινου μειώνει την ατμοσφαιρική ρύπανση και ταυτόχρονα παρέχει στους κατοίκους τη δυνατότητα της άθλησης, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της υγείας και συνεπώς μείωση των εξόδων νοσηλείας.

Από την παραπάνω ανάλυση αντιλαμβανόμαστε την μεγάλη αξία του πράσινου και τη συμβολή του στην ποιότητα ζωής των κατοίκων των αστικών περιοχών. Για την ανάπτυξη του πράσινου όμως στο αστικό περιβάλλον απαιτείται η συμμετοχή του ανθρώπου. Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε όλα τα οφέλη που μας προσφέρει είναι απαραίτητο να θεσπιστούν μέτρα και να δημιουργηθεί μια στρατηγική που θα έχει ως στόχο τόσο τη δημιουργία χώρων πράσινου όσο και την ολοκληρωμένη διαχείρισή του.



## 4. Επιπτώσεις διαφορετικών ειδών βλάστησης σε ποικιλία κλιματικών και αστικών διαμορφώσεων

### 4.1 Πάρκα

Οι Vidrich και Medved (2013) χρησιμοποίησαν το δείκτη επιφάνειας φύλλων (Leaf Area Index – LAI) για να προσδιορίσουν την επίδραση ψύξης ενός πάρκου στη Σλοβενία. Ο δείκτη επιφάνειας φύλλων παρέχει μια προσέγγιση της πυκνότητας των δέντρων που είναι φυτεμένα στο πάρκο, το μέγεθος και την ηλικία τους. Διαπίστωσαν ότι με LAI ίσο με 3.16, ο οποίος αντιστοιχεί σε πυκνότητα φύτευσης 45 δέντρα / εκτάριο και ηλικίας 50 ετών, η θερμοκρασία του αέρα είναι δυνατόν να μειωθεί μέχρι 4.8 °C.

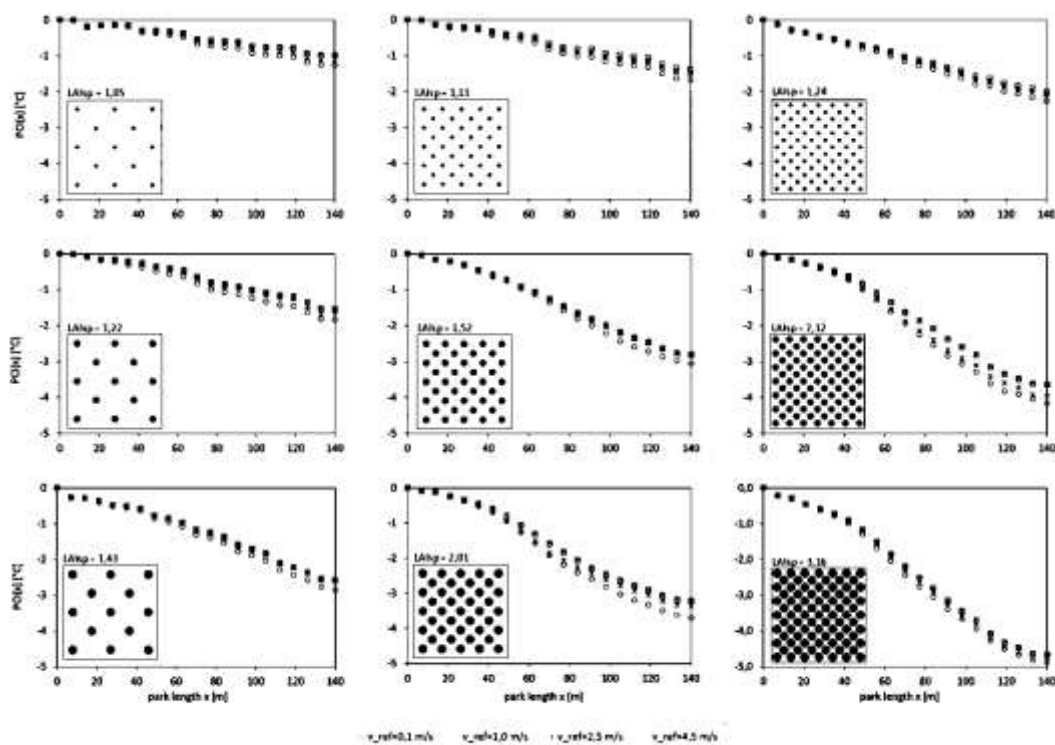


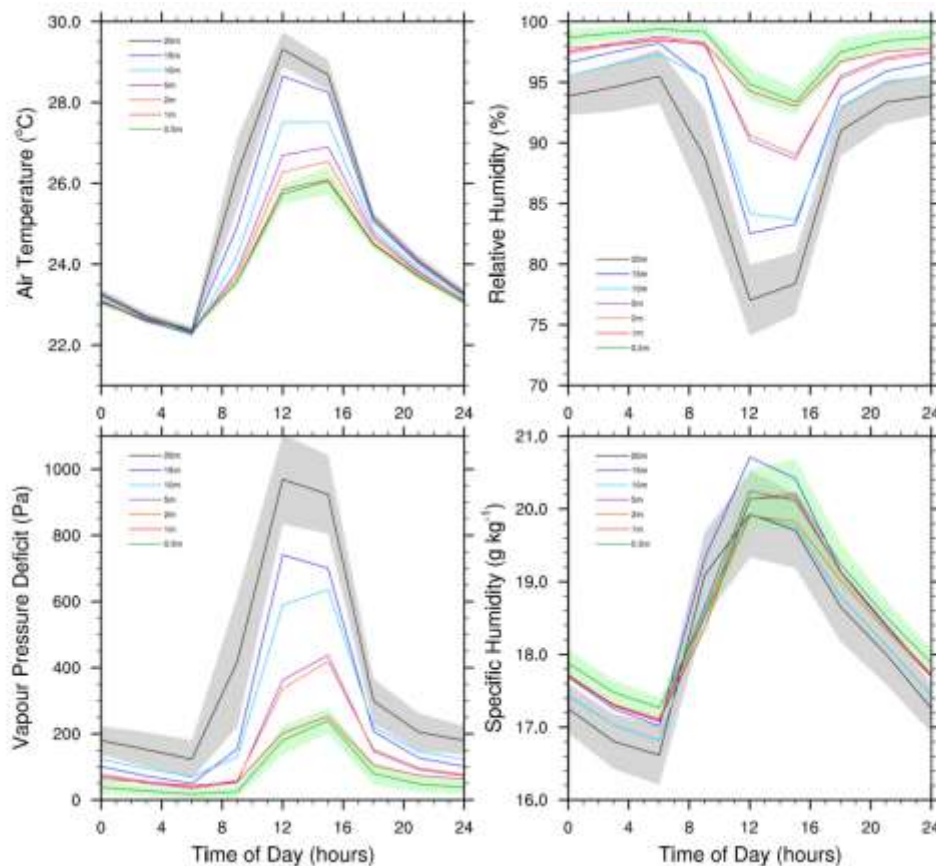
Fig. 8. The PCI (x) cooling effect along the park of different planting densities and age of trees.

Εικόνα 37: Η επίδραση ψύξης ενός πάρκου με διαφορετικές πυκνότητες φύτευσης και ηλικίες δέντρων (Vidrich and Medved, 2013)

Οι Yu και Hien (2006) στη Σιγκαπούρη μελέτησαν την ψυκτική επίδραση δύο πάρκων, το ένα ήταν το φυσικό πάρκο της πόλης έκτασης 36 εκταρίων και το άλλο ένα πάρκο γειτονιάς έκτασης 12 εκταρίων. Διεξήχθησαν μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας τόσο εντός των πάρκων όσο και στη γύρω περιοχή. Τα αποτελέσματα των

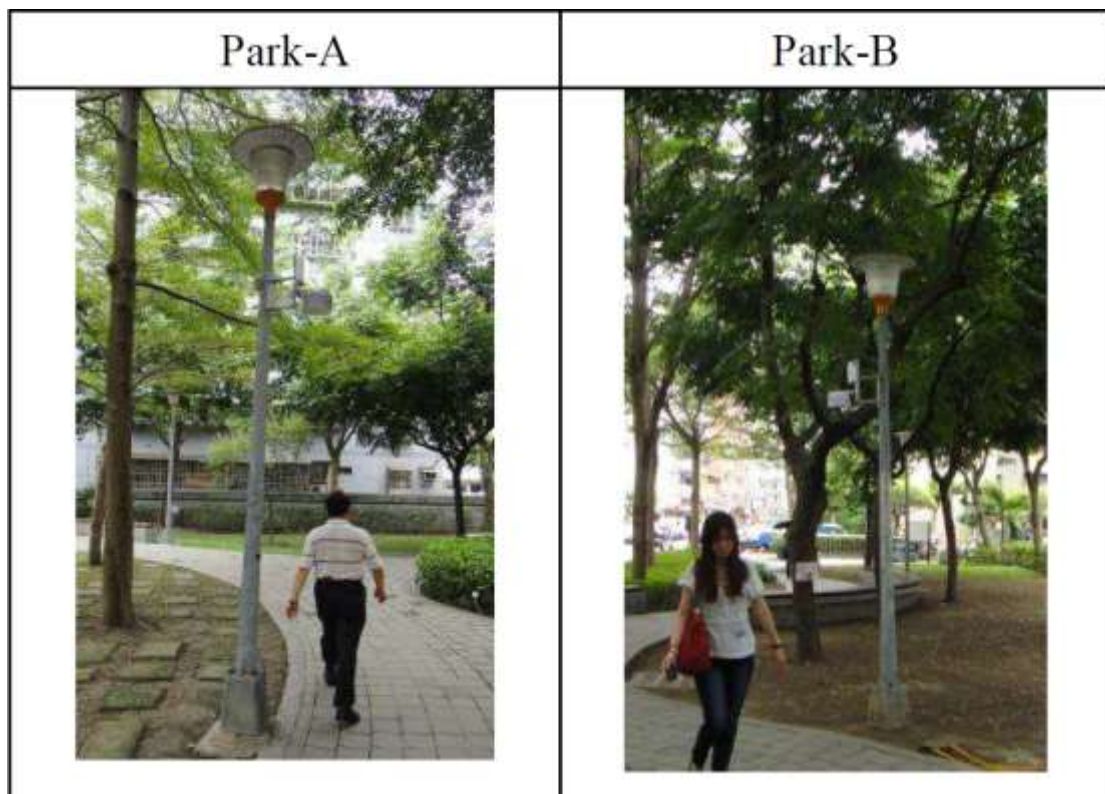
μετρήσεων εντόπισαν χαμηλότερες θερμοκρασίες τόσο εντός των πάρκων όσο και στις περιοχές γύρω από τα πάρκα. Ειδικότερα για μια μέση τιμή δείκτη επιφάνειας φύλλων (LAI) 3.8 η θερμοκρασία εντός των πάρκων ήταν 1.8 – 2.3 °C χαμηλότερη σε σύγκριση με τη θερμοκρασία εκτός των πάρκων. Επίσης σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες που επικρατούν στο τυπικό αστικό περιβάλλον, η θερμοκρασία εντός των πάρκων παρουσιάστηκε χαμηλότερη έως και 8.2 °C. Επιπλέον διαπίστωσαν ότι το εύρος της μείωσης της θερμοκρασίας εντός των πάρκων εξαρτάται από την πυκνότητα των φυτών, καθώς φυτά με υψηλότερους δείκτες επιφάνειας φύλλων (LAI) παρατηρήθηκε να προκαλούν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Σε σχέση με τη γύρω δομημένη περιοχή διαπίστωσαν ότι στα κτίρια που γειτνιάζουν με τα πάρκα παρατηρήθηκε μέγιστη μείωση του φορτίου ψύξης κατά 10%.

Οι Hardwick et al. (2015) διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ του δείκτη επιφάνειας φύλλων (LAI) και των κλιματικών μεταβλητών: θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, έλλειψη πίεσης ατμών, ειδική υγρασία και θερμοκρασία εδάφους για τρεις τύπους χρήσης γης (πρωτογενές τροπικό δάσος, εγκαταστημένο δάσος και δάσος με φοίνικες) στο Μπορνέο της Μαλαισίας. Η έρευνα τους αποκάλυψε ότι ο δείκτης επιφάνειας φύλλων παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με τη μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία αέρα και εδάφους. Ειδικότερα διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας κάτω από το θόλο δέντρων με ψηλό δείκτη επιφάνειας φύλλων ο αέρας είναι πιο δροσερός και η σχετική υγρασία είναι υψηλότερη. Στην Εικόνα 38 παρουσιάζεται ο μέσος ημερήσιος κύκλος της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, του ελλείμματος πίεσης ατμών και της ειδικής υγρασίας σε επτά διαφορετικά ύψη πάνω από το έδαφος μέσα σε ένα θόλο του εγκατεστημένου δάσους.

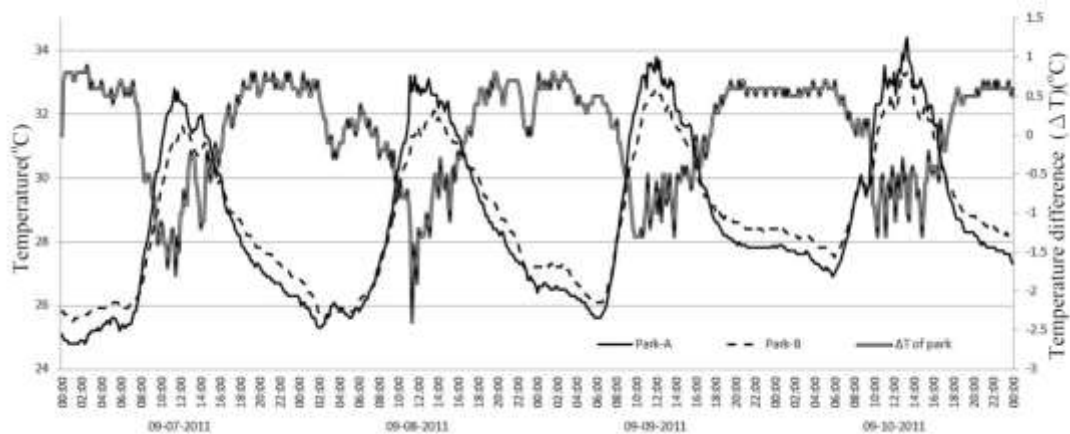


Εικόνα 38: Μέσος ημερήσιος κύκλος της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, του ελλείμματος πίεσης ατμών και της ειδικής υγρασίας σε επτά διαφορετικά ύψη πάνω από το έδαφος μέσα σε ένα θόλο του εγκατεστημένου δάσους (Hardwick et al., 2015)

Οι Chen – Yi Sun et al. (2012) μελέτησαν τη θερμική επίδραση δύο πάρκων (Εικόνα 39) στο βόρειο – ανατολικό Ταϊπέι. Για τις ανάγκες της έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα σε ύψος 2.5 m και στα δύο πάρκα. Παρατηρήθηκε ότι οι διαφορές της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πάρκων ήταν  $-2.4^{\circ}\text{C}$  και  $0.9^{\circ}\text{C}$  αντίστοιχα (Εικόνα 40), όμως η μέση θερμοκρασία ήταν παρόμοια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαφορετική πυκνότητα βλάστησης μπορεί να προκαλέσει διαφορετική θερμοκρασία αέρα.



Εικόνα 39: Δύο πάρκα στο Ταϊπέι που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα (Chen - Yi Sun et al., 2012)



Εικόνα 40: Τα δεδομένα θερμοκρασίας των 2 σταθμών των πάρκων κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης (Chen - Yi Sun et al., 2012)

Οι Taleghani et al. (2014) μελέτησαν την επίδραση που έχει ένα πάρκο σε μια πανεπιστημιούπολη στο Όρεγκον των ΗΠΑ. Από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο πάρκο καταγράφηκε μείωση της θερμοκρασίας κατά 5.8 °C σε σύγκριση με ένα κοντινό ασφαλτοστρωμένο παρκινγκ.

Οι Hwang et al. (2015) εξέτασαν τις θερμικές συνθήκες 10 αστικών πάρκων κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους στη Σιγκαπούρη. Για τις ανάγκες της έρευνας αξιολογήθηκαν τρεις μεταβλητές: η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία σφαίρας και η ταχύτητα του ανέμου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι εντός των πάρκων η θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη κατά 8 – 12 °C. Επίσης διαπίστωσαν το σημαντικό ρόλο της σκιάς στη μείωση της θερμοκρασίας, καθώς πάρκα με περισσότερη σκιά ήταν πιο άνετα θερμικά.

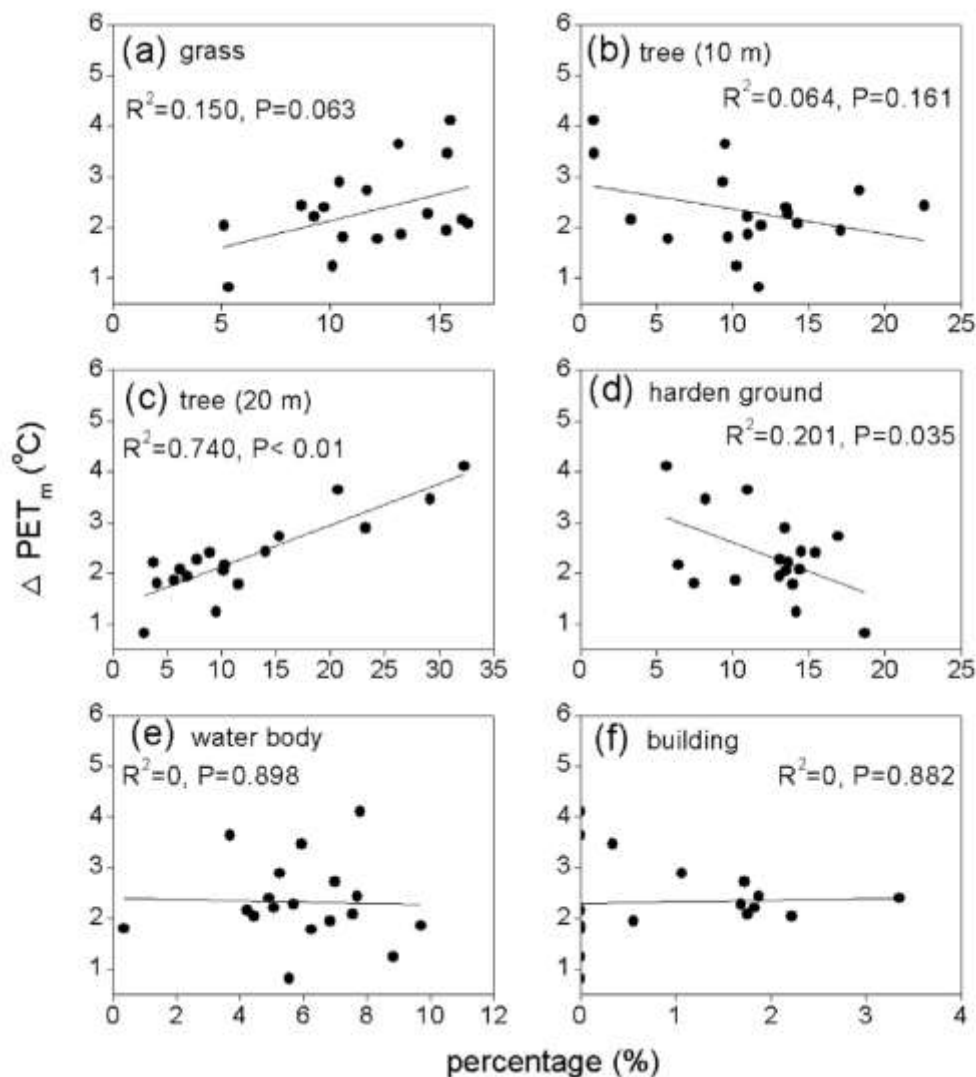
Οι Feysia et al. (2014) μέτρησαν τη θερμοκρασία του αέρα και την υγρασία σε 21 πάρκα στην Αντίς Αμπέμπα. Η έκταση των πάρκων κυμαινόταν από 0.85 έως 22.3 εκτάρια και καλύπτονταν κυρίως από δέντρα των ειδών: *Acacia tortilis*, *Eucalyptus* spp. (*E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*), *Grevillea robusta*, *Cupressus lusitanica* και *Olea* spp. Η έρευνα έδειξε ότι η ψυκτική επίδραση των πάρκων στο περιβάλλον εξαρτάται από τα είδη των δέντρων και τα φυσικά χαρακτηριστικά του πάρκου, όπως το μέγεθος και το σχήμα του. Διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη ψυκτική επίδραση (Park Cooling Intensity- PCI) έφτασε τους 6.72 °C. Επίσης, μέτρησαν τη μέγιστη απόσταση ψύξης του περιβάλλοντος χώρου και βρέθηκε ότι ήταν 240 m. Αυτό σημαίνει ότι η ψυκτική επίδραση του πάρκου είναι δυνατόν να γίνει αισθητή μέχρι και 240 m μακριά. Συγκρίνοντας τα διαφορετικά είδη δέντρων παρατηρήθηκε ότι το είδος *Eucalyptus* spp. είχε την υψηλότερη ψυκτική επίδραση σε σύγκριση με τα άλλα υπάρχοντα είδη, ενώ τα είδη *Grevillea robusta* και *Cupressus lusitanica* είχαν τη μικρότερη επίδραση.

Οι Sproken και Oke (1998) μελέτησαν την ψυκτική επίδραση (PCI) δύο πάρκων σε δύο διαφορετικές πόλεις με διαφορετικό κλίμα, στο Σακραμέντο και στο Βανκούβερ. Για τον προσδιορισμό του μεγέθους της ψυκτικής επίδρασης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας επιφάνειας και αέρα από σταθερούς και κινητούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι στο Βανκούβερ το μέγιστο αποτέλεσμα ψύξης ήταν 5 °C, ενώ στο Σακραμέντο, όπου το κλίμα ήταν θερμότερο, το πάρκο ήταν αρδευόμενο και το αποτέλεσμα ψύξης έφτασε τους 7 °C. Αποδείχθηκε ότι η ανάπτυξη της ψυκτικής επίδρασης εξαρτάται από τον τύπο του πάρκου και ειδικότερα από την ένταση της άρδευσης και την παρουσία των δέντρων. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας η χαμηλότερη



θερμοκρασίας οφείλεται στην παρουσία των δέντρων, τα οποία επηρεάζουν τη θερμοκρασία μέσω της σκίασης και της εξατμισοδιαπνοής. Ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας σημαντικοί παράγοντες είναι η ποσότητα της υγρασίας και η γεωμετρία της επιφάνειας του πάρκου.

Οι Sun et al. (2017) διερεύνησαν τη δυνατότητα ενός μεγάλου πάρκου να τροποποιεί τη θερμική άνεση στο Πεκίνο. Για τις ανάγκες της έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) σε τέσσερις επιλεγμένες περιοχές του πάρκου, οι οποίες περιείχαν γρασίδι, δέντρα, ένα ποτάμι και τεχνητές διατάξεις σκίασης. Στην Εικόνα 41 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της μέσης μείωσης της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας ( $\Delta PET_m$ ) για τις πράσινες υποδομές του πάρκου. Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι η μείωση της μέσης PET είναι περίπου  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , με τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή να κυμαίνεται στους  $15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $8.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  αντίστοιχα. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι τα ψηλότερα δέντρα αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα στο θετικό επηρεασμό της θερμικής άνεσης, ενώ επιφάνειες με σκληρό έδαφος έχουν αρνητική επίδραση.



Εικόνα 41: Σχέσεις μεταξύ της  $\Delta PET_m$  και των παραμέτρων τοπίου στο πάρκο στις 14:00 (Sun et al., 2017)

Οι Zouliia et al. (2009) μελέτησαν την επίδραση ενός πάρκου και συγκεκριμένα του Εθνικού Κήπου στο κέντρο της Αθήνας τόσο από μικροσκοπική όσο και μακροσκοπική κλίμακα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Από μικροσκοπική κλίμακα, το θερμοκρασιακό προφίλ εντός του Εθνικού Κήπου σε σύγκριση με το άμεσο αστικό περιβάλλον δεν έδειξε την επίπτωση της επιρροής του Εθνικού Κήπου και προέκυψε ότι αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής. Σε δρόμους με υψηλή αναλογία ύψους / πλάτους ( $H / W$ ) καταγράφηκαν χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τον Εθνικό Κήπο, εξαιτίας της περιορισμένης επίπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα κτίρια και στο επίπεδο του δρόμου. Χαρακτηριστικά όπως η ύπαρξη δέντρων και χώρων πρασίνου, ο προσανατολισμός των δρόμων σε σχέση με την κατεύθυνση του ανέμου επηρεάζουν τις τοπικές συνθήκες. Επιπλέον, η θερμοκρασία του αέρα εντός του κήπου επηρεάζεται από την



πυκνότητα και την κατάσταση της βλάστησης, την ύπαρξη επιφανειών νερού και τον τρόπο ποτίσματος. Από μακροσκοπική κλίμακα, προέκυψε ότι η περιοχή του κήπου παρουσίαζε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με την ευρύτερη αστική περιοχή και ειδικότερα η θερμοκρασιακή διαφορά ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία έφτασε τους  $6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , και συγκεκριμένα σε δρόμους όπου το ύψος των κτιρίων ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος των δρόμων και με χαμηλή κίνηση. Αντίθετα δρόμοι που παρουσιάζουν υψηλή ανθρωπογενή θερμότητα η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά, η οποία έφτασε του  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Οι Shinzato και Duarte (2012) ερευνήσαν την ψυκτική επίδραση της βλάστησης στο αστικό μικροκλίμα. Η έρευνά τους επικεντρώθηκε στην επίδραση που έχει η πυκνότητα και η κατανομή των φύλλων στη θερμοκρασία του αέρα και στη θερμοκρασία επιφάνειας στο επίπεδο των πεζών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο πάρκο Ibirapuera του Σάο Πάολο. Για τις ανάγκες της έρευνας επιλέχθηκαν τρεις τιμές του δείκτη επιφάνειας φύλλων (LAI). Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι τιμές 1, 3 και 5. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η επίδραση της σκιάς έχει μεγάλες δυνατότητες να βελτιώσει το μικροκλίμα και να μετριάσει τη θερμική καταπόνηση σε ένα ζεστό και υγρό κλίμα. Η μικροκλιματική απόδοση των δένδρων όμως εξαρτάται από τον τύπο των δένδρων και κυρίως από την πυκνότητα των φύλλων. Ειδικότερα, πυκνά δένδρα ( $\text{LAI} = 5$ ) για τη θερμοκρασία επιφάνειας έδειξαν μια μέση διαφορά της τάξης των  $14.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  μεταξύ της πράσινης περιοχής του πάρκου και του παρακείμενου δρόμου., αντίστοιχα για δένδρα με  $\text{LAI} = 3$  η διαφορά ήταν  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  και για  $\text{LAI} = 1$  ήταν  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα η διαφορά μεταξύ του πάρκου με πυκνά δένδρα ( $\text{LAI} = 5$ ) και του δρόμου ήταν έως και  $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ενώ στα σημεία του πάρκου με τα λιγότερο πυκνά δένδρα η διαφορά ήταν χαμηλότερη. Συνεπώς, η πυκνότητα των φύλλων είναι μια σημαντική μεταβλητή καθορισμού της θερμοκρασίας του αέρα και της θερμοκρασίας επιφάνειας και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε προγνωστικές μελέτες μικροκλιματικών επιδράσεων της βλάστησης στις αστικές περιοχές.

Οι Wong και Yu (2005) προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο το περιβάλλον επηρεάζει τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, πραγματοποίησαν

μετρήσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε βιομηχανικές περιοχές, κατοικημένες περιοχές, σε πάρκα και στο αεροδρόμιο στην Σιγκαπούρη. Στην Εικόνα 42 παρουσιάζεται το προφίλ της Αστικής Θερμικής Νησίδας της Σιγκαπούρης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων απέδειξαν ότι οι διαδρομές κοντά σε πάρκα παρουσίαζαν χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με άλλες χρήσεις γης, όπως οι βιομηχανικές περιοχές, οι κατοικημένες περιοχές και το αεροδρόμιο. Στην περιοχή των πάρκων παρατηρήθηκε τόσο χαμηλότερη θερμοκρασία ( $24.3^{\circ}\text{C}$ ) όσο και μέση θερμοκρασία ( $25.01^{\circ}\text{C}$ ). Συνεπώς οι μεγάλες πράσινες περιοχές των πάρκων έχουν θετική επίδραση στην άμβλυνση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην πόλη, αφού η μελέτη έδειξε ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της μείωσης της θερμοκρασίας και της εμφάνισης μεγάλων πράσινων χώρων στην πόλη. Παρόλο που στη Σιγκαπούρη δεν υπάρχει σαφής οριακή γραμμή μεταξύ των αστικών περιοχών και των μη αστικών βρέθηκε μέγιστη διαφορά της τάξεως των  $4^{\circ}\text{C}$ .

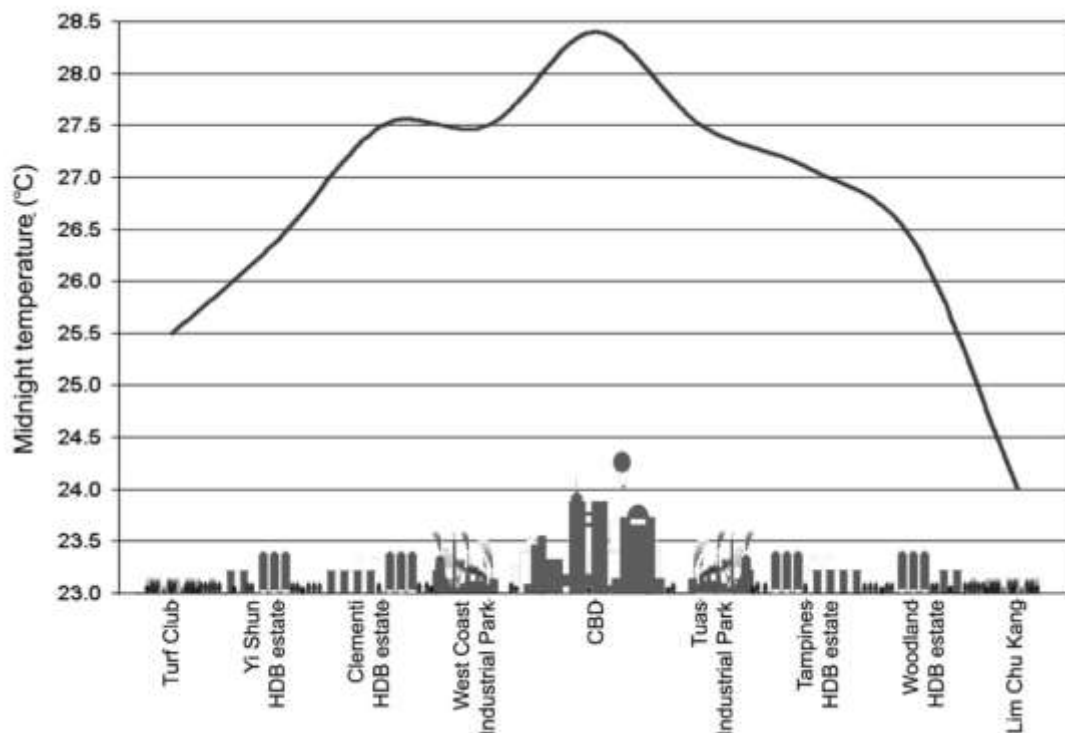
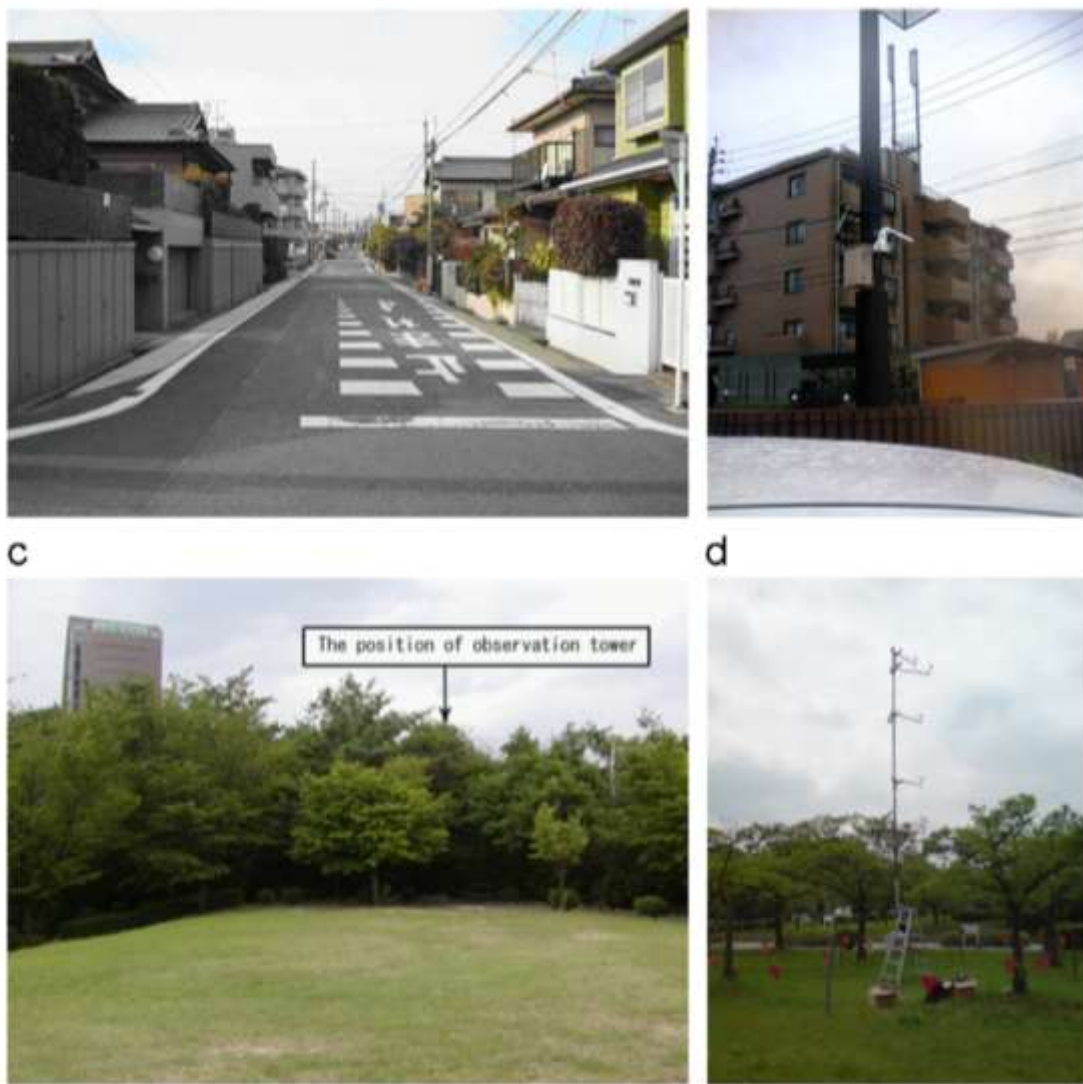


Fig. 8. Sketch of UHI profile in Singapore.

Εικόνα 42: Προφίλ της Αστικής Θερμικής Νησίδας στη Σιγκαπούρη (Wong and Yu, 2005)

Οι Hamada και Ohta (2010) μέτρησαν τη θερμοκρασία του αέρα εντός ενός πάρκου και στη γύρω αστική περιοχή στη Ναγκόγια της κεντρικής Ιαπωνίας για να διασαφηνιστούν οι εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μεταξύ των αστικών

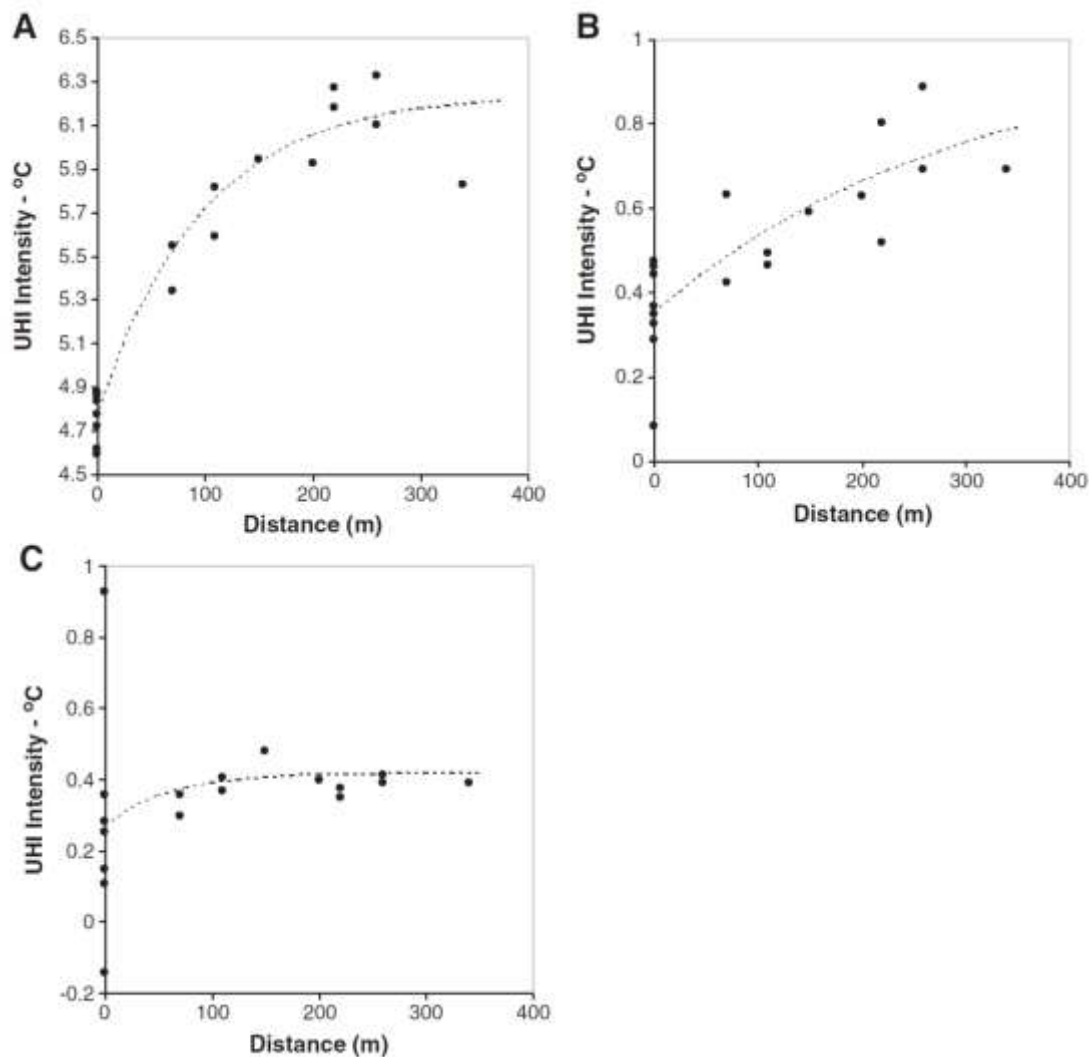
και των πράσινων περιοχών (Εικόνα 43). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ του πάρκου και της αστικής περιοχής ήταν μεγάλη κατά την καλοκαιρινή περίοδο και μικρή τη χειμερινή. Η μέγιστη διαφορά των θερμοκρασιών ήταν της τάξης των  $1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  για το μήνα Ιούλιο και  $-0.31\text{ }^{\circ}\text{C}$  για το μήνα Μάρτιο. Την καλοκαιρινή περίοδο η διαφορά ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της ημέρας από ότι τη νύχτα, ενώ τη χειμερινή περίοδο συνέβαινε το αντίθετο. Αυτό οφειλόταν στο φαινόμενο σκίασης των φυλλοβόλων δένδρων. Επίσης διαπιστώθηκε ότι το αποτέλεσμα της ψύξης έφθανε τα 200 – 300 m από την άκρη του πάρκου κατά τη διάρκεια της νύχτας.



**Εικόνα 43:** Εικόνα της αστικής περιοχής και του πάρκου (Hamada and Ohta, 2010)

Οι Doick et al. (2014) μέτρησαν το προφίλ της θερμοκρασίας ενός μεγάλου πάρκου στο κεντρικό Λονδίνο και ενός παρακείμενου δρόμου για να καθορίσουν την έκταση στην οποία ο χώρος του πράσινου μειώνει τη ένταση της Αστικής Θερμικής Νησίδας

κατά τη διάρκεια της νύχτας. Παρατηρήθηκε ότι υπήρχε μια εκθετική μείωση της έκτασης της ψύξης καθώς απομακρυνόμαστε από το πάρκο. Η έκταση της ψύξης κυμαίνεται σε μια απόσταση μεταξύ 20 m και 440 m. Η μέση μείωση θερμοκρασίας ήταν της τάξης των 1.1 °C, με τη μέγιστη διαφορά να φθάνει τους 4 °C για μερικές νύχτες. Τα αποτελέσματα της μελέτης υποστηρίζουν τους ισχυρισμούς ότι χώροι πρασίνου μέσα στον αστικό χώρο είναι σημαντικό στοιχείο των στρατηγικών μετριασμού της Αστικής Θερμικής Νησίδας.



Εικόνα 44: Σχέση μεταξύ της έντασης της Αστικής Θερμικής Νησίδας και της απομάκρυνσης από το πάρκο για τρεις τύπους νύχτας, και ειδικότερα Τύπος A: 9 Αυγούστου – Τύπος B: 7 Σεπτεμβρίου – Τύπος C: 30 Νοεμβρίου (Doick et al., 2014)

Οι Chen et al. (2015) πραγματοποίησαν έρευνες ερωτηματολογίων και επιτόπιες μετεωρολογικές μετρήσεις σε μια πλατεία, η οποία βρίσκεται μέσα σε ένα αστικό πάρκο της Σαγκάης το φθινόπωρο και το χειμώνα (Εικόνα 45). Σκοπός της έρευνας



ήταν να διερευνηθεί η θερμική άνεση των επισκεπτών και ο τρόπος με τον οποίο η χρήση του χώρου επηρεάστηκε από τις μικρομετεωρολογικές συνθήκες. Η φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (PET) χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί η αντικειμενική αίσθηση της θερμικής άνεσης των επισκεπτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνολική άνεση των επισκεπτών επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από την υποκειμενική θερμική αίσθηση. Το χειμώνα η θερμική αίσθηση παρουσίασε ισχυρή θετική σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα και την ηλιακή ακτινοβολία, που είναι οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση του χώρου από τους επισκέπτες. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι η θερμική αίσθηση των επισκεπτών και η χρήση του χώρου επηρεάστηκε περισσότερο από τους μικρομετεωρολογικούς παράγοντες το χειμώνα σε σύγκριση με το φθινόπωρο.

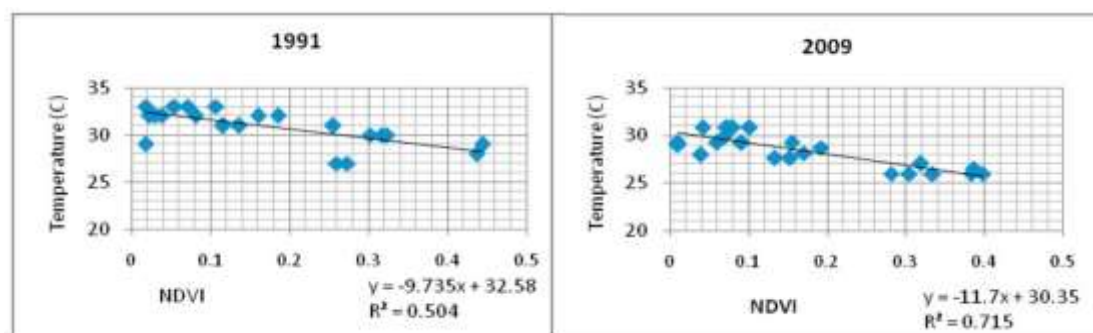


**Εικόνα 45:** Εικόνα της προς μελέτη περιοχής, η λήψη της οποίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ το Νοέμβριο του 2014 και τον Ιανουάριο του 2015 (Chen et al., 2015)

Ο Mahmoud (2011) ερεύνησε τη θερμική άνεση των χρηστών σε ένα αστικό πάρκο στο Κάιρο της Αιγύπτου. Η έρευνα διεξήχθη κατά τους ζεστούς και τους κρύους μήνες με τη χρήση ερωτηματολογίων και μετρήσεων πεδίου. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε εννιά διαφορετικές ζώνες του πάρκου, με διαφορετικές διαμορφώσεις. Σε κάθε ζώνη του πάρκου μετρήθηκαν οι παράμετροι του θερμικού περιβάλλοντος, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ταχύτητα του ανέμου. Με τις εν λόγω μετρήσεις, υπολογίστηκαν οι φυσιολογικές ισοδύναμες θερμοκρασίες (PET) για κάθε ζώνη χρησιμοποιώντας το μοντέλο RayMan. Επίσης έγινε καταγραφή της ένδυσης και του

μεταβολικού ρυθμού των επισκεπτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι διαφορές στο δείκτη PET οφείλονται στις διαφορετικές τιμές του δείκτη της προβολής στον ουρανό (SVF) και στην ταχύτητα του ανέμου. Επίσης οι μετρήσεις αποκάλυψαν αλλαγή στην αίσθηση της άνεσης μεταξύ των διαφορετικών ζωνών εντός του πάρκου. Οι μελετητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι θερμικές απαιτήσεις των επισκεπτών και οι συνθήκες του τοπικού κλίματος πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά κατά το σχεδιασμό των αστικών πάρκων στις θερμές και άνυδρες περιοχές.

Οι Buyadi et al. (2013) επιχείρησαν να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις της ανάπτυξης της βλάστησης στην κατανομή της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) στην αστική περιοχή του Shah – Alam της Μαλαισίας. Στην περιοχή λόγω της αστικής ανάπτυξης πραγματοποιήθηκαν δραματικές αλλαγές στις χρήσεις γης μεταξύ του 1991 και του 2009, με αποτέλεσμα οι περιοχές με ψηλές πυκνότητες δένδρων να μειωθούν περίπου κατά 17.48 %. Η μεθοδολογία της μελέτης χωρίστηκε σε τέσσερα κύρια στάδια. Αρχικά δημιουργήθηκε ο χάρτης χρήσης γης και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν ο δείκτης της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (Normalize Different Vegetation Index - NDVI) και τέλος προσδιορίστηκε η σχέση μεταξύ των δεικτών LST και NDVI (Εικόνα 46). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η σημαντική αύξηση των οικιστικών περιοχών έναντι των πράσινων περιοχών είχε ως συνέπεια την αύξηση του δείκτη LST. Επίσης βρέθηκε έντονη αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών LST και NDVI. Τέλος παρατηρήθηκε ότι η εγκατάσταση περισσότερων δένδρων συμβάλλει στην άμβλυνση της Αστικής Θερμικής Νησίδας και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του αστικού πληθυσμού.

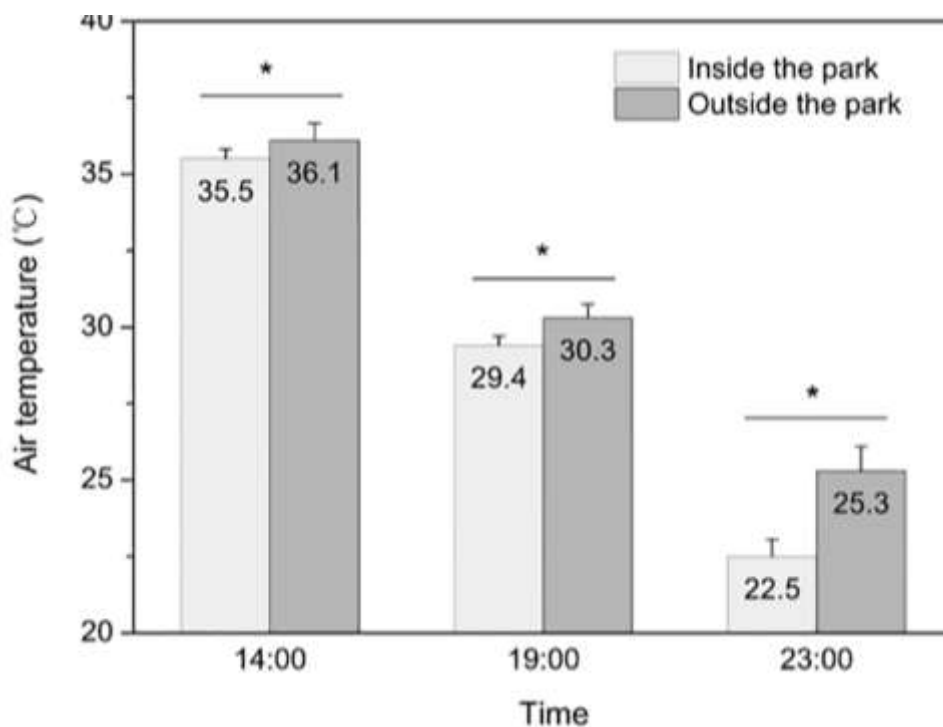


Εικόνα 46: Σχέση των δεικτών LST και NDVI για τα έτη 1991 και 2009 (Buyadi et al., 2013)

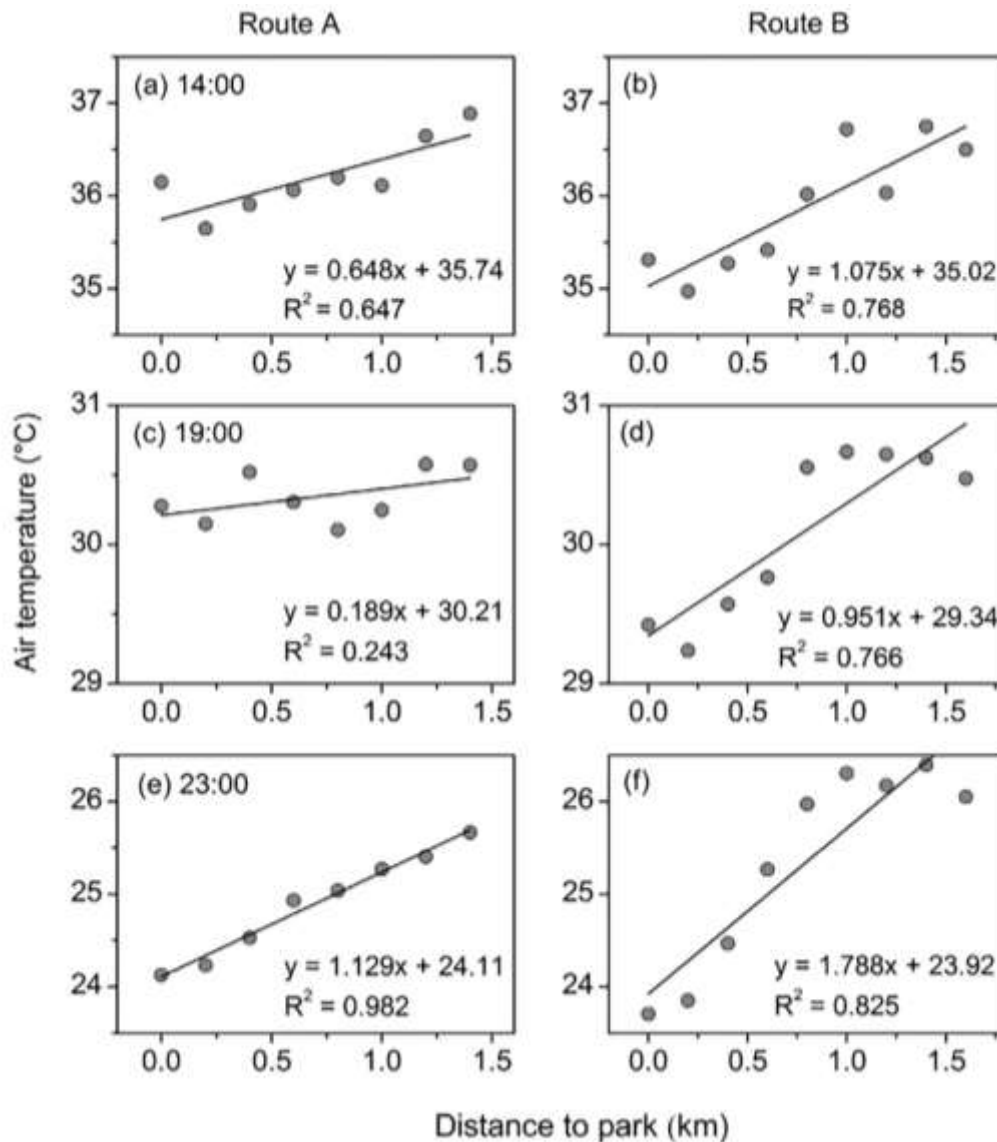
Οι Yan et al. (2018) ανέλυσαν τις μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν σε ένα μεγάλο αστικό πάρκο στο βόρειο Πεκίνο της Κίνας, κατά τη διάρκεια ζεστών



καλοκαιρινών συνθηκών. Στόχος της έρευνας είναι να διερευνήσει τη θερμική απόδοση του πάρκου και την επίδρασή του στο θερμικό περιβάλλον των γύρω αστικών περιοχών. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν κατά μήκος μιας επιλεγμένης διαδρομής κατά τη διάρκεια τριών καλοκαιρινών ημερών με καθαρό ουρανό και ελαφρούς ανέμους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πάρκο ήταν ψυχρότερο από τις γύρω αστικές περιοχές τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και τη νύχτα. Οι μέσες διαφορές θερμοκρασίας αέρα μεταξύ του πάρκου και των γύρω περιοχών κυμαίνονταν από 0.6 – 2.8 °C, με μέγιστο 4.8 °C που παρατηρήθηκε τα μεσάνυχτα (Εικόνα 47). Επίσης παρατηρήθηκε ότι καθώς η απόσταση από το πάρκο αυξανόταν, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος παρουσίαζε σταδιακά αυξανόμενη τάση. Αυτό υποδεικνύει ότι το πάρκο έχει ψυκτική επίδραση στα αστικά περιβάλλοντα που γειτνιάζουν με αυτό. Το φαινόμενο της ψύξης εκτεινόταν σε απόσταση περίπου 1.4 km από το όριο του πάρκου (Εικόνα 48). Τέλος διαπιστώθηκε ότι η οι μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα εξαρτώνται έντονα και από την κάλυψη του εδάφους που χαρακτηρίζει το άμεσο περιβάλλον. Αύξηση του ποσοστού κάλυψης της βλάστησης μειώνει σημαντικά τη θερμοκρασία του αέρα ενώ αύξηση του ποσοστού της αδιαπέραστης επιφάνειας την αυξάνει.

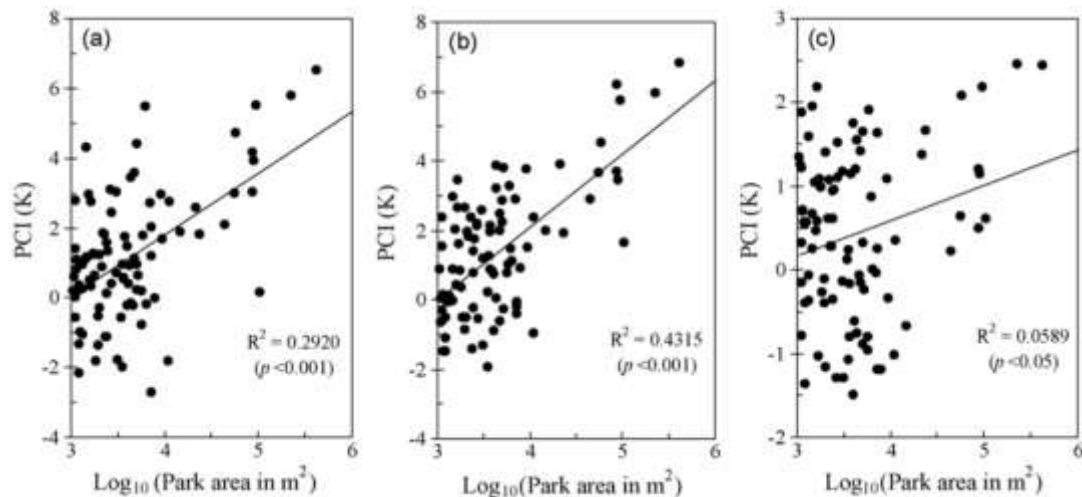


Εικόνα 47: Σύγκριση των μέσων θερμοκρασιών εντός και εκτός του πάρκου (Yan et al., 2018)



Εικόνα 48: Σχέση μεταξύ της απόστασης από το πάρκο και της θερμοκρασίας του αέρα για κάθε θέση μέτρησης (Yan et al., 2018)

Οι Cao et al. (2010) μελέτησαν την ένταση της ψυκτικής επίδρασης σε 92 πάρκα στην Nagoya της Ιαπωνίας χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία επιφάνειας γης (LST). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ψυκτική επίδραση των πάρκων εξαρτάται από το μέγεθός τους και την εποχιακή ακτινοβολία, ενώ το μέγεθος του πάρκου δεν σχετίζεται γραμμικά με την ένταση της ψυκτικής επίδρασης (Εικόνα 49). Επίσης η ένταση της ψυκτικής επίδρασης καθορίζεται κυρίως από την έκταση που καταλαμβάνουν τα δένδρα και οι θάμνοι μέσα στο πάρκο καθώς και από το σχήμα του πάρκου, ενώ η ύπαρξη γρασιδιού έχει αρνητικό αντίκτυπο στη δημιουργία της ψυκτικής επίδρασης.



Εικόνα 49: Σχέση μεταξύ της έντασης της ψυκτικής επίδρασης και του μεγέθους του πάρκου (α) την άνοιξη, (β) το καλοκαίρι και (γ) το φθινόπωρο (n = 92). Οι συμπαγείς γραμμές είναι γραμμές γραμμικής παλινδρόμησης (Cao et al., 2010).

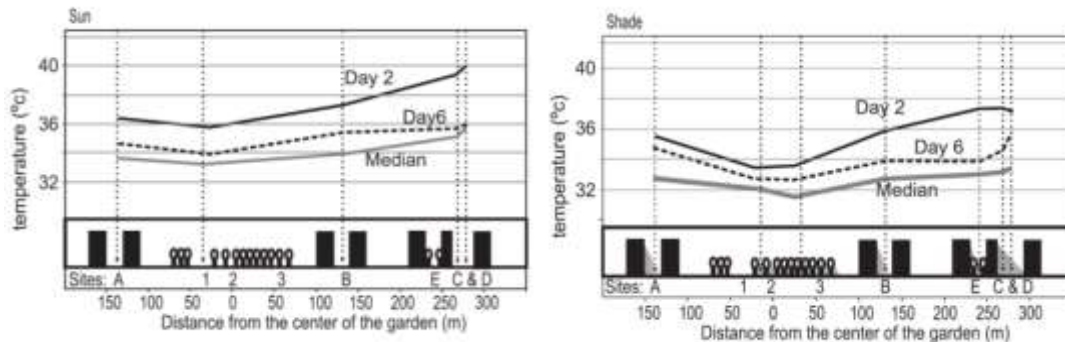
Οι Lin et al. (2015) υπολόγισαν την έκταση της ψυκτικής επίδρασης 30 πάρκων στη Σαγκάη της Κίνας χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της τηλεανίχνευσης. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στο γεγονός ότι το φαινόμενο ψύξης μειώνεται από το όριο των πάρκων στις περιβάλλουσες περιοχές σε μια απόσταση στην οποία το αποτέλεσμα είναι πλέον αισθητό. Οι μετρήσεις αποκάλυψαν ότι το φαινόμενο της ψυκτικής επίδρασης εκτείνεται σε απόσταση 840 m σε κώνο. Η ψυκτική επίδραση του πάρκου σχετίζεται εν μέρει με το μέγεθος του πάρκου αλλά επηρεάζεται επίσης από το χαρακτήρα της γύρω περιοχής.

Οι Brown et al. (2015) επέλεξαν πέντε περιοχές σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες για να αναλύσουν τις επιπτώσεις των στοιχείων που μεταβάλλουν το μικροκλίμα στα πάρκα. Οι περιοχές που εξετάστηκαν ήταν: Κουάλα Λουμπόρ – Μαλαισία, Λαχόρη – Πακιστάν, Alice Springs – Αυστραλία, Κιότο – Ιαπωνία και Τορόντο – Καναδάς. Για να αναλυθούν οι επιπτώσεις των στοιχείων που μεταβάλλουν το μικροκλίμα στα πάρκα, χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώσεις προϋπολογισμού για την ανθρώπινη ενέργεια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η σκίαση είναι μακράν η πιο αποτελεσματική στρατηγική ψύξης στα πάρκα. Ειδικότερα θα πρέπει να προτιμάτε μια κάλυψη με τις κόμεις των δένδρων έτσι ώστε να εμποδίζεται η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας και παράλληλα να προσφέρεται ψύξη με εξάτμιση.

Οι Chang και Li (2014) ερεύνησαν τις θερμοκρασίες αέρα μέσα και έξω από 60 πάρκα στο Ταϊπέι, για να μελετήσουν την επίδραση των διαφορετικών αστικών πάρκων στη θερμική διαβάθμιση του περιβάλλοντος που τα περιβάλλει. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι παράγοντες που διέπουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου δεν είναι όμοιοι με εκείνους στο εσωτερικό του πάρκου. Οι θερμοκρασίες γύρω από τα αστικά πάρκα επηρεάζονται τόσο από την οριζόντια μεταφορά ψυχρής ή θερμής μάζας πάνω από τα πάρκα όσο και από την εξατμισοδιαπνοή των δένδρων. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το θερμικό περιβάλλον μέσα σε ένα πάρκο επηρεάζεται από την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τις μη σκιασμένες πλακόστρωτες επιφάνειες, η οποία όταν είναι ισχυρή μπορεί να αυξήσει τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος χώρου. Τη νύχτα, παρόλο που τα δένδρα προκαλούν ένα φαινόμενο θέρμανσης μέσα στα πάρκα, το περιβάλλον ψύχεται από την οριζόντια ροή των αερίων της εξατμισοδιαπνοής των δένδρων. Οι μελετητές τέλος συνιστούν, σε επιχειρηματικές περιοχές και περιοχές που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας, να σχεδιάζονται πάρκα και ανοικτοί χώροι με λιγότερο από 50 % πλακόστρωτο χώρο και τουλάχιστον 30 % με δένδρα, θάμνους και άλλα συστήματα σκίασης. Ενώ σε κατοικημένες περιοχές που χρησιμοποιούνται κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας, συνιστούν να σχεδιάζονται πάρκα και άλλοι ανοικτοί χώροι με περισσότερα δένδρα.

Οι Oliveira et al. (2011) ανέλυσαν τη θερμική απόδοση ενός μικρού πάρκου, έκτασης 0.24 ha και την επίδρασή του στη γύρω περιοχή σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή της Λισαβόνα. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, της ηλιακής και της υπέρυθρης ακτινοβολίας κατά μήκος μιας επιλεγμένης διαδρομής, ξεκινώντας από το εσωτερικό του πάρκου έως τους γύρω δρόμους με διαφορετικούς προσανατολισμούς και έκθεση στον ήλιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πάρκο ήταν πιο δροσερό από τις γύρω περιοχές, τόσο στα σημεία με ήλιο όσο και σε αυτά με σκιά (Εικόνα 50). Οι διαφορές στη θερμοκρασία παρατηρήθηκε ότι ήταν υψηλότερες κατά τη διάρκεια των θερμότερων ημερών και σχετίζονταν περισσότερο με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$ ). Σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα η υψηλότερη διαφορά που παρατηρήθηκε ήταν της τάξεως των 6.9 °C ενώ της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ήταν 39.2 °C. Η διαφορά αυτή παρατηρήθηκε μεταξύ του σκιασμένου χώρου μέσα στο πάρκο και

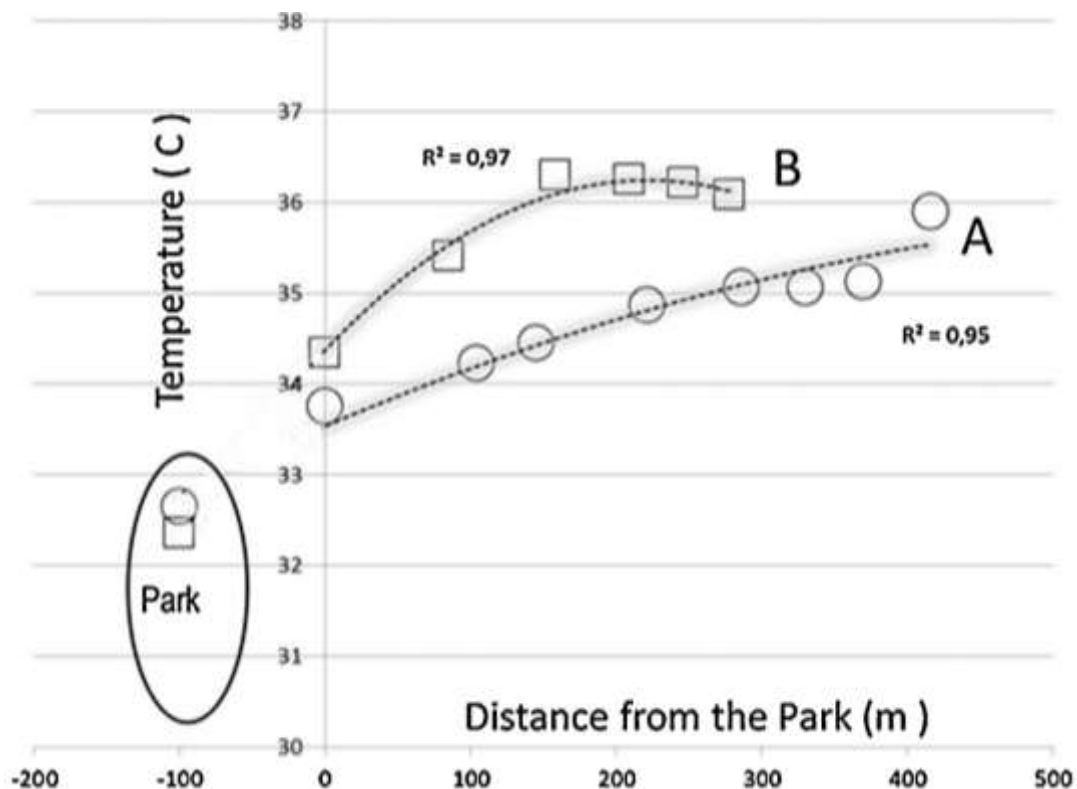
ενός ηλιόλουστου χώρου σε ένα δρόμο με προσανατολισμό ανατολής – δύσης στο νότιο τμήμα της περιοχής. Οι μελετητές διαπίστωσαν ότι παράγοντες που διαμορφώνουν τη διαφορά θερμοκρασίας είναι: οι τοπικές καιρικές συνθήκες, η χαμηλή ταχύτητα ανέμου, η έκθεση στον ήλιο και η αστική γεωμετρία.



Εικόνα 50: Η μετρούμενη θερμοκρασία αέρα ( $T_a$ ) σε δύο διαφορετικές ημέρες σε συνθήκες ήλιου (αριστερά) και σκιάς (δεξιά) (Oliveira et al., 2011)

Οι Skoulika et al. (2014) μελέτησαν τη θερμική συμπεριφορά ενός πάρκου, το οποίο βρίσκεται σε μια πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή της Αθήνας με μέσου μεγέθους εμπορικά κτίρια και κατοικίες και με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Το πάρκο καλύπτεται από γρασίδι, θάμνους διαφόρων τύπων, χαμηλά δένδρα μέσης πυκνότητας και ψηλά δένδρα και αρδεύεται κατά την καλοκαιρινή περίοδο μετά τη την ανατολή και τη δύση του ήλιου. Για τις ανάγκες της έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα και της υγρασίας και η σχετική υγρασία τόσο μέσα στο πάρκο όσο και στο περιβάλλον γύρω από αυτό. Η έρευνα έδειξε ότι η θερμική ισορροπία του πάρκου καθορίζεται από τις μεταβαλλόμενες δυνατότητες ψύξης με ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της νύχτας δημιουργείται μια διαφορά θερμοκρασίας της τάξεως των 1 έως 3 K. Ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας, η σκίαση του πάρκου δημιουργεί διαφορά θερμοκρασίας της τάξης των 2.5 K, η οποία μπορεί να φθάσει και τους 5 K όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη. Στο πλαίσιο της μελέτης αναλύθηκε και η δημιουργία τοπικών δροσερών νησίδων από την παρουσία του πάρκου τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας βρέθηκε ότι ο μέσος ρυθμός ψύξης του πάρκου ήταν  $0.32 \text{ K} / \text{h}$  και η ένταση της ψυχρής νησίδας κυμαινόταν μεταξύ  $-0.7 \text{ K}$  και  $-2.8 \text{ K}$ . Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η μέση μέγιστη θερμοκρασία του πάρκου ήταν χαμηλότερη από αυτή της γύρω αστικής περιοχής και το μέγεθος της έντασης

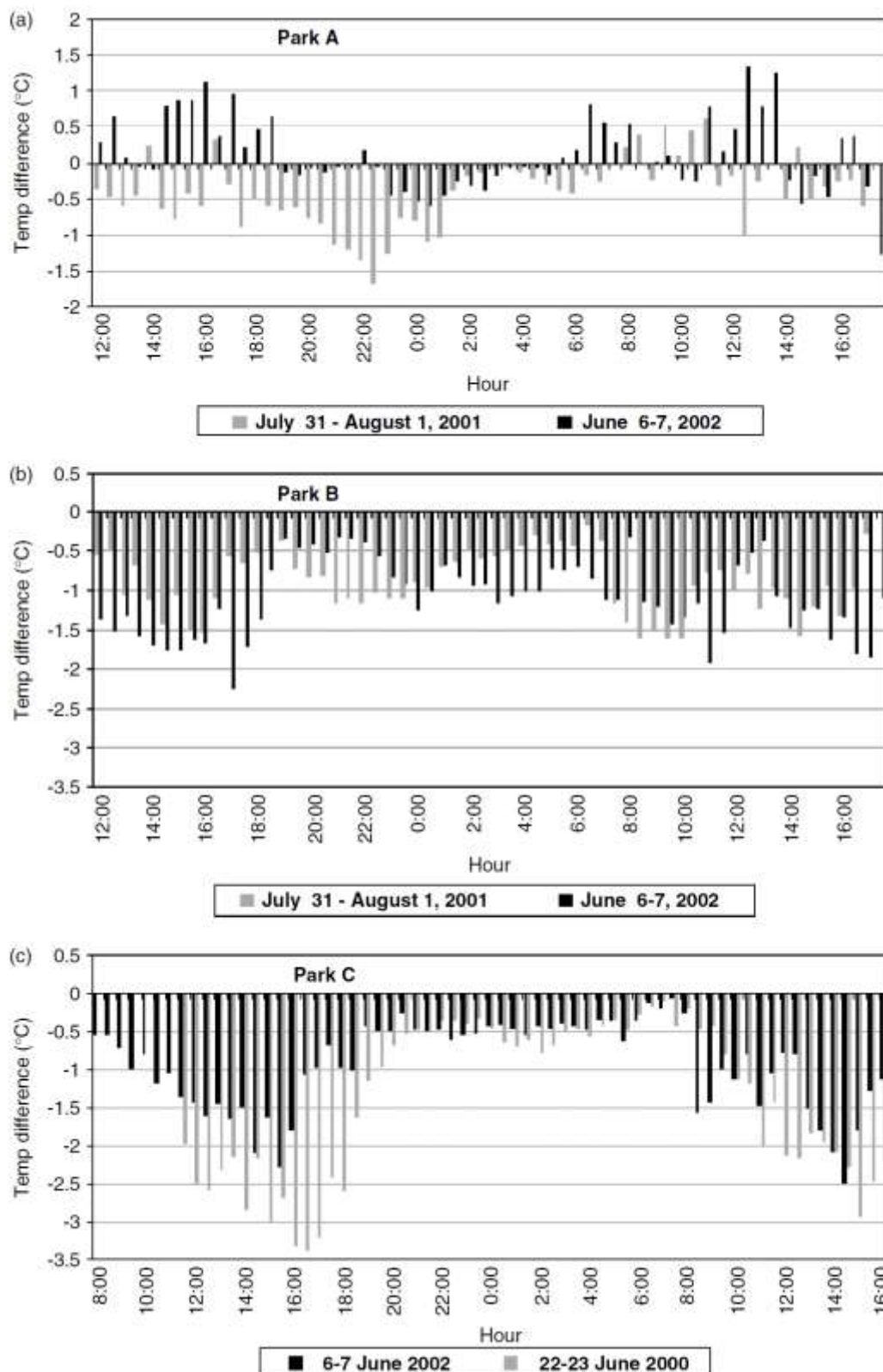
της ψυχρής νησίδας κυμαινόταν μεταξύ  $-0.2\text{ K}$  και  $-2.6\text{ K}$ , με μέση τιμή  $-1.4\text{ K}$ . Επίσης διαπιστώθηκε ότι η ένταση της ψυχρής νησίδας συσχετίζεται με την πυκνότητα πληθυσμού της αστικής περιοχής. Επίσης παρατηρήθηκε ότι για θερμοκρασίες περιβάλλοντος χαμηλότερες από  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  το πάρκο παρουσιάζεται θερμότερο, ενώ σε θερμοκρασίες υψηλότερες από  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  παρατηρήθηκε το αντίθετο. Για θερμοκρασίες περιβάλλοντος μεταξύ  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  ο μέσος όρος της έντασης της ψυχρής νησίδας ήταν κοντά στους  $-1.4\text{ K}$ , ενώ βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της έντασης της ψυχρής νησίδας για ταχύτητες ανέμου υψηλότερες από  $6\text{ m/s}$ . Τέλος διαπιστώθηκε ότι το πάρκο έχει αντίκτυπο στον μετριασμό της θερμοκρασίας στην γύρω αστική περιοχή. Η ένταση του ψυχρού πάρκου (PCI) κυμαινόταν μεταξύ  $3.3\text{ K}$  και  $3.8\text{ K}$  και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της αστικής περιοχής και το μέγεθος της απελευθερούμενης ανθρωπογενούς θερμότητας. Η κλίση της θερμοκρασίας κατά μήκος της διαδρομής από το πάρκο στις αστικές περιοχές κυμαινόταν μεταξύ  $0.16\text{ K/100 m}$  και  $1.4\text{ K/100 m}$  (Εικόνα 51).



Εικόνα 51: Κατανομή των μέσων θερμοκρασιών περιβάλλοντος κατά μήκος δύο διαδρομών (A και B). Επίσης, δίνονται οι μέσες θερμοκρασίες του πάρκου (Skoulíka et al., 2014)



Οι Potchter et al. (2006) μελέτησαν την κλιματική συμπεριφορά και την επίδραση στην ανθρώπινη άνεση τριών πάρκων κατά τη διάρκεια ζεστών και υγρών καλοκαιριών στο Τελ-Αβίβ. Για τις ανάγκες της έρευνας μελετήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι πάρκων. Ένα πάρκο με χορτάρι και μερικά χαμηλά δένδρα, ένα με μεσαία και πυκνά δένδρα και ένα με ψηλά και πλατύφυλλα δένδρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πάρκο με τα ψηλά δένδρα παρουσίαζε το μέγιστο αποτέλεσμα ψύξης κατά τη διάρκεια της ημέρας, με μείωση της θερμοκρασίας να φτάνει έως και τους 3.5 °C. Επίσης παρατηρήθηκε μείωση της θερμικής πίεσης παρά τις αυξημένες τιμές της σχετικής υγρασίας. Στο πάρκο με τα μεσαία και τα πυκνά δένδρα παρατηρήθηκε μείωση της θερμοκρασίας της τάξης των 2.5 °C. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της νύχτας, στο παραπάνω πάρκο μπορεί να δημιουργηθούν δυσάρεστες κλιματολογικές συνθήκες λόγω της αυξημένης σχετικής υγρασίας που είναι αποτέλεσμα της μείωσης της ταχύτητας του ανέμου. Τέλος, το πάρκο με το γρασίδι βρέθηκε το πιο θερμό εκ των τριών και μερικές φορές ακόμη και πιο υγρό από την γύρω αστική περιοχή κατά τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση των θερμικών πιέσεων (Εικόνα 52).

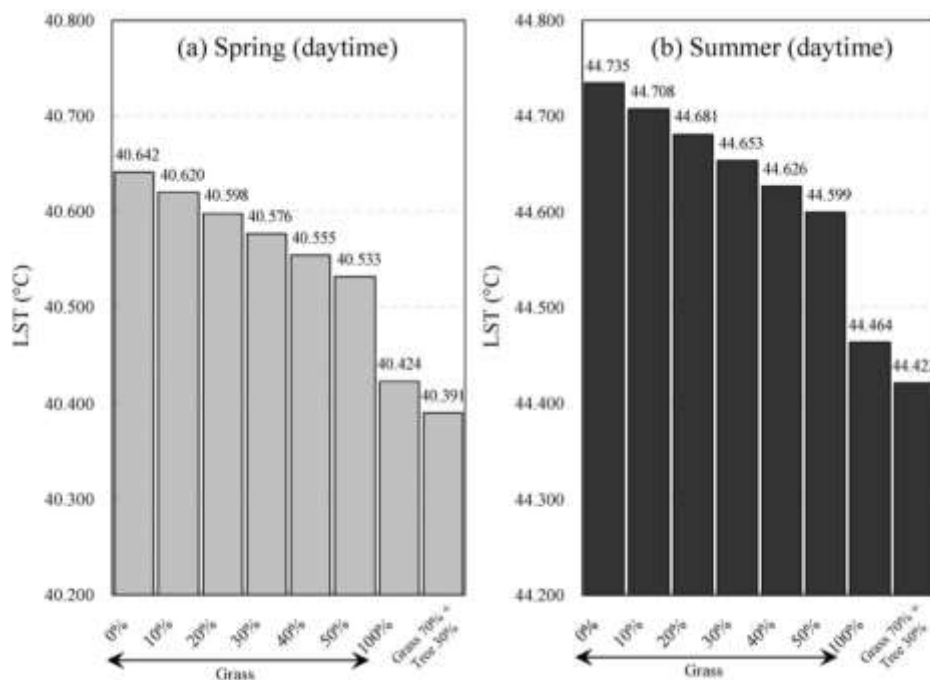


Εικόνα 52: Ωριαίες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου των πάρκων και του γύρω δομημένου περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια επιλεγμένων περιόδων: (α). πάρκο με γρασίδι, (β). πάρκο με μεσαία και πυκνά δένδρα και (γ). πάρκο με ψηλά και πλατύφυλλα δένδρα (Potchter et al., 2006).

## **4.2 Μεμονωμένα δέντρα ή ομάδες**

Οι Armson et al. (2012) μελέτησαν την επίδραση της βλάστησης και των δέντρων στην θερμοκρασία επιφάνειας του δομημένου περιβάλλοντος στο Μάντσεστερ. Διαπίστωσαν ότι η σκιά των δέντρων μπορεί να προσφέρει τοπική ψύξη και επομένως σημαντική επίδραση στη θερμική άνεση των ανθρώπων. Ειδικότερα παρατηρήθηκε ότι οι σκιασμένες επιφάνειες εμφάνισαν θερμοκρασία επιφάνειας μέχρι 19 °C χαμηλότερη σε σχέση με μη σκιασμένες επιφάνειες.

Οι Onishi et al. (2010) αξιολόγησαν τη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας σε χώρους στάθμευσης στη Ναγκόγια της Ιαπωνίας. Για τις ανάγκες της έρευνας δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά σενάρια. Στο πρώτο στους χώρους στάθμευσης τοποθετήθηκε γρασίδι με κάλυψη από 10% έως 100% και στο δεύτερο 70% γρασίδι και 30% δέντρα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η επιφανειακή θερμοκρασία μειώθηκε και στα δύο σενάρια τόσο την άνοιξη όσο και το καλοκαίρι. Ωστόσο, η μέγιστη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας παρουσιάστηκε στο δεύτερο σενάριο την καλοκαιρινή περίοδο και ήταν της τάξεως των 9.26 °C. Στην Εικόνα 53 παρουσιάζεται η προσομοιωμένη μέση θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST) στο επίπεδο της περιοχής μελέτης για τα σενάρια του πράσινου χώρου στάθμευσης την άνοιξη και το καλοκαίρι.



Εικόνα 53: Προσομοιωμένη μέση θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST) στο επίπεδο της περιοχής μελέτης για τα σενάρια του πράσινου χώρου στάθμευσης στην άνοιξη (α) και το καλοκαίρι (β) (Onishi et al., 2010).

Οι Coutts et al. (2016) διερεύνησαν το ρόλο που διαδραματίζουν τα δέντρα των δρόμων στη μείωση της θερμοκρασίας στο αστικό μικροκλίμα και στη βελτίωση της θερμικής άνεσης των ανθρώπων (Human Thermal Comfort–HTC). Για τις ανάγκες της έρευνας επιλέχθηκαν τρεις τύποι αστικών φαραγγιών με προσανατολισμό ανατολής – δύσης: ένα βαθύ με μέτρια κάλυψη βλάστησης (CBD), ένα ρηχό το οποίο ήταν ανοιχτό και με πολύ μικρή κάλυψη δέντρων (OPN) και ένα ρηχό με πυκνή κάλυψη δέντρων (TRD) στη Μελβούρνη της Αυστραλίας (Εικόνα 54). Εντός των φαραγγιών πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις: θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία και μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί ο γενικός δείκτης κλίματος (Universal Thermal Climate Index – UTCI). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέγιστη μείωση του γενικού δείκτη κλίματος ήταν 6 °C και οφειλόταν στην παρουσία των δέντρων. Επιπλέον, η μέγιστη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα ήταν της τάξης των 1.5 °C. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι τα οφέλη της ψύξης των δέντρων εντοπίζονται και μεταβάλλονται τόσο χρονικά όσο και χωρικά. Ο βαθμός ψύξης κατά τη διάρκεια της ημέρας εξαρτάται από την ποσότητα της σκίασης, τη γεωμετρία του δρόμου και τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα τόσο μέσα όσο και ανάμεσα στα αστικά φαράγγια. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι τα δέντρα των

δρόμων μπορούν να επηρεάσουν το μικροκλίμα του δρόμου όταν τοποθετούνται σε ανοικτά και ρηχά φαράγγια. Αντίθετα στα στενά και βαθιά φαράγγια η μορφολογία των κτιρίων τείνει να συντρίψει την επιρροή των δέντρων.

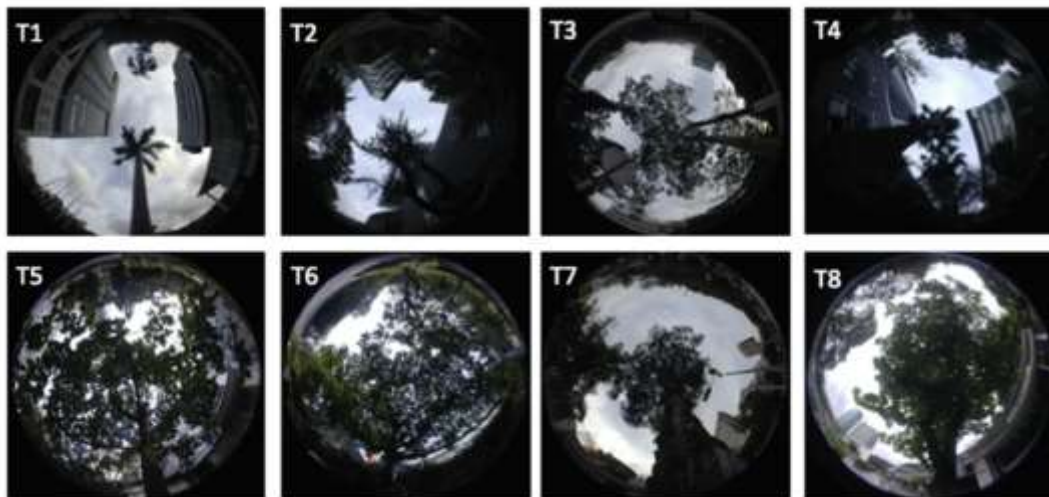


Εικόνα 54: Τοποθεσία και φωτογραφίες των αστικών φαραγγιών: BourkeSt. (CBD), Gipps St. (OPN) και George St. (TRD) (Coutts et al., 2016)

Οι Taleghani et al (2016) μελέτησαν την επίδραση που έχουν τα δέντρα στη θερμική άνεση των πεζών σε μια γειτονιά της Καλιφόρνιας κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα. Κάτω από τα δέντρα παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στη θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα και μικρή μείωση στη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ειδικότερα η φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (Physiologically Equivalent Temperature - PET) μειώθηκε κατά 1.1 °C, βελτιώνοντας τη θερμική άνεση των πεζών.



Οι Morakinyo et al.(2017) μελέτησαν τη βελτίωση της θερμικής άνεσης 8 ειδών δέντρων (Εικόνα 55) στο Χόνγκ Κόνγκ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο δείκτης επιφάνειας φύλλων (LAI) είναι ο κυριότερος δείκτης για την αξιολόγηση των ημερήσιων θερμικών ωφελειών των αστικών δέντρων. Δεν πρέπει όμως να παραβλεφθεί και η συμβολή των άλλων παραμέτρων, όπως το ύψος του δέντρου και το ύψος του κορμού. Σε βαθιά φαράγγια δρόμων προτείνεται να τοποθετούνται δέντρα με ψηλότερο κορμό και μικρό πλάτος κόμης για καλύτερα θερμικά αποτελέσματα, ενώ το αντίστροφο προτείνεται για τα ρηχά αστικά φαράγγια και τις ανοικτές περιοχές.



Εικόνα 55: Ημισφαιρικές φωτογραφίες των οκτώ (8) δέντρων που μελετήθηκαν (Morakinyo et al., 2017)

Οι Konarska et al. (2014) μελέτησαν το ρόλο των δέντρων στην άμβλυνση του θερμικού στρες στις ζεστές μέρες του καλοκαιριού, κυρίως λόγω της ικανότητας τους να παρέχουν σκίαση, στο Γκέτεμποργκ της Σουηδίας. Ωστόσο, ένα σημαντικό ζητούμενο είναι η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλείται από τα δέντρα το χειμώνα, κυρίως στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Για τις ανάγκες της έρευνας μελετήθηκαν ένα κωνοφόρο και τέσσερα φυλλοβόλα δέντρα και εξετάστηκε η διαπερατότητα της κόμης τους στην ολική και άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δέντρα με και χωρίς φύλλωμα κατά τη διάρκεια εννιά ανέφελων ημερών το χρονικό διάστημα 2011 – 2012. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο ηλιακά πυρανόμετρα, εκ των οποίων το ένα τοποθετήθηκε στη σκιά ενός δέντρου και το άλλο στην οροφή ενός παρακείμενου κτιρίου. Οι



μετρήσεις έδειξαν σημαντική μείωση της συνολικής και της άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους στη σκιασμένη περιοχή των προς μελέτη δέντρων τόσο των φυλλοβόλων όσο και των κωνοφόρων. Η μέση διαπερατότητα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των κωνοφόρων κυμάνθηκε από 1.3 έως 5.3% ενώ των φυλλοβόλων από 40.2 έως 51.9%. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη δυνατότητα ενός δέντρου να μειώνει τη θερμική πίεση στο αστικό περιβάλλον. Ωστόσο, σε περιοχές, στις οποίες κατά τη χειμερινή περίοδο η ηλιακή πρόσβαση είναι περιορισμένη, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η σχετικά χαμηλή διαπερατότητα.

Οι Klemm et al. (2015) μελέτησαν στο Utrecht της Ολλανδίας τον αντίκτυπο που έχει η τοποθέτηση δένδρων κατά μήκος των δρόμων στη θερμική άνεση συνδυάζοντας την αρχιτεκτονική τοπίου, τη μικρομετεωρολογία και την κοινωνική γεωγραφία. Ειδικότερα εξέτασαν εννέα φαράγγια δρόμων με παρόμοιες χωροταξικές διαμορφώσεις αλλά με διαφορετικές ποσότητες πράσινου και διεξήχθησαν συνεντεύξεις με πεζούς στους επιλεγμένους δρόμους. Μελετήθηκαν τρεις τύποι δρόμων: (1) χωρίς πράσινο, (2) με δένδρα και στις δύο πλευρές των δρόμων και (3) δένδρα σε συνδυασμό με μπροστινούς κήπους και στις δύο πλευρές των δρόμων (Εικόνα 56). Τα αποτελέσματα της έρευνα έδειξαν ότι η κάλυψη των δρόμων με δένδρα σε ποσοστό 10% μειώνει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$ ) περίπου κατά 1 K. Επίσης διαπιστώθηκε ότι μια ενισχυμένη αναλογία πράσινου στους δρόμους και στο επίπεδο του οπτικού πεδίου των πεζών οδηγεί σε καλύτερη θερμική αντίληψη. Από τις συνεντεύξεις προέκυψε ότι οι συμμετέχοντες σε αυτές είχαν επίγνωση των μικροκλιματικών διακυμάνσεων και είναι διατεθειμένοι να προσαρμοστούν για να βελτιωθεί το επίπεδο θερμικής άνεσης στα φαράγγια των δρόμων. Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι μεγάλα δέντρα θα πρέπει να εφαρμοστούν τόσο στις υπάρχουσες αστικές περιοχές όσο και στις νέες, έτσι ώστε να μειωθούν η ηλιακή και θερμική ακτινοβολία και συνεπώς να βελτιωθούν οι συνθήκες φυσικής θερμικής άνεσης



Εικόνα 56: Αποψη των εξεταζόμενων δρόμων, όπου εμφανίζονται οι τρεις διαφορετικοί τύποι δρόμων που εξετάζονται (Klemm et al., 2015)

Οι Scholz et al. (2018) μελέτησαν στο Duisburg της Γερμανίας τις επιδράσεις ψύξης και τη ρύθμιση των υπηρεσιών οικοσυστήματος που παρέχονται από τα αστικά δέντρα, χρησιμοποιώντας ως λογισμικό μοντελοποίησης το i-Tree Eco (v. 5) το οποίο αναπτύχθηκε από την US Forest Service. Η μελέτη έδειξε ότι η μείωση της θερμικής ακτινοβολίας είναι σημαντικά μικρότερη από τη μείωση της άμεσης ακτινοβολίας. Ειδικότερα παρατηρήθηκε ότι τα δένδρα είναι δυνατόν να μειώσουν το ενεργειακό φόρτο κατά 58%. Αξιοσημείωτη είναι και η απομάκρυνση των σωματιδίων, η οποία μπορεί να φτάσει το 16%. Επίσης η απομάκρυνση του όζοντος παρουσιάζεται να είναι σημαντική αν και δεν υπάρχουν πληροφορίες για τις εκπομπές όζοντος σε ολόκληρη την πόλη για σύγκριση. Οι σημαντικότερες φυσιολογικές παράμετροι που συνδέονται με τις υπηρεσίες οικοσυστήματος είναι η βιομάζα και η επιφάνεια φύλλων των δένδρων. Όσο μεγαλύτερη είναι η βιομάζα του δένδρου τόσο η αποθήκευση άνθρακα και η δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα είναι υψηλότερες. Επίσης διαπιστώθηκε ότι η παρεμπόδιση, η απομάκρυνση της ρύπανσης και οι ενεργειακές επιπτώσεις αυξάνονται με την αύξηση της επιφάνειας των φύλλων. Η μελέτη επίσης καταλήγει στο συμπέρασμα ότι πρωτεύουσας σημασίας είναι τα φυτεμένα δένδρα να είναι υγιή και καλά προσαρμοσμένα ώστε να μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας και φύλλων και δευτερεύουσας σημασίας είναι ποια είδη θα χρησιμοποιηθούν. Όταν όμως γίνεται τοποθέτηση νέων δένδρων απαραίτητο είναι τα είδη να επιλέγονται έτσι ώστε να είναι κατάλληλα για τις αστικές περιοχές και τα οποία να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Οι Zhang et al. (2018) εξέτασαν τις επιδράσεις της κατανομής των δένδρων και των ειδών στο αστικό περιβάλλον, στο Wuhan της Κεντρικής Κίνας, χρησιμοποιώντας το μοντέλο V4 του ENVI – met. Για τις ανάγκες της έρευνας προσομοιώθηκαν 3 σενάρια με τρεις διατάξεις δένδρων και 8 είδη βλάστησης (Πίνακας 6). Για την περιγραφή της κατανομής των δένδρων χρησιμοποιήθηκε ο λόγος ύψους προς την απόσταση των δένδρων ως αναλογία των δένδρων (Aspect Ratio of Trees – ART). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση της βλάστησης τόσο στη θερμοκρασία όσο και στον εξαερισμό εξαρτάται από τη διάταξη των δένδρων, το δείκτη επιφάνειας φύλλων, το πλάτος της κόμης και το ύψος των δέντρων. Η σύγκριση των 3 διατάξεων δέντρων αποκάλυψε ότι τα δέντρα με  $ART < 2$  θα πρέπει να είναι προτεραιότητα για την άμβλυνση των θερμών συνθηκών λόγω των μεγάλων επιπτώσεων στη μείωση της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) το καλοκαίρι. Τα δέντρα με  $ART \geq 2$  αποδυνάμωσαν τις επιδράσεις ψύξης στη φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία διότι οι επικαλυπτόμενες κόμες προκαλούσαν την μικρότερη κάλυψη των δέντρων από ότι αναμενόταν. Τα αειθαλή είδη με  $ART < 2$  επίσης μείωναν αποτελεσματικά την ταχύτητα του ανέμου το χειμώνα καθώς και εμποδίζαν το άμεσο ηλιακό φως, με αποτέλεσμα αρνητικές επιπτώσεις στη φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία. Διαπιστώθηκε ότι τα αειθαλή είδη με  $ART \geq 2$  πρέπει να αποτελούν προτεραιότητα για τη βελτίωση της εξωτερικής φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας το χειμώνα. Επίσης παρατηρήθηκε ότι ο δείκτης επιφάνειας φύλλων (LAI), το ύψος και το πλάτος της κόμης ήταν οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ψύξη και τον αερισμό. Συνεπώς ψηλά δένδρα με μεγάλο δείκτη επιφάνειας φύλλων και θόλο θα πρέπει να αποτελούν προτεραιότητα για τη βελτίωση της θερμικής άνεσης των εξωτερικών χώρων. Ωστόσο, η διάταξη των δένδρων επηρέασε τις επιπτώσεις που ίδια είδη είχαν στο μικροκλίμα. Τέλος διαπιστώθηκε ότι η αναλογία του ύψους των δέντρων προς τη διάμετρο της κόμης ήταν ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρέασε σαφώς το μικροκλίμα.

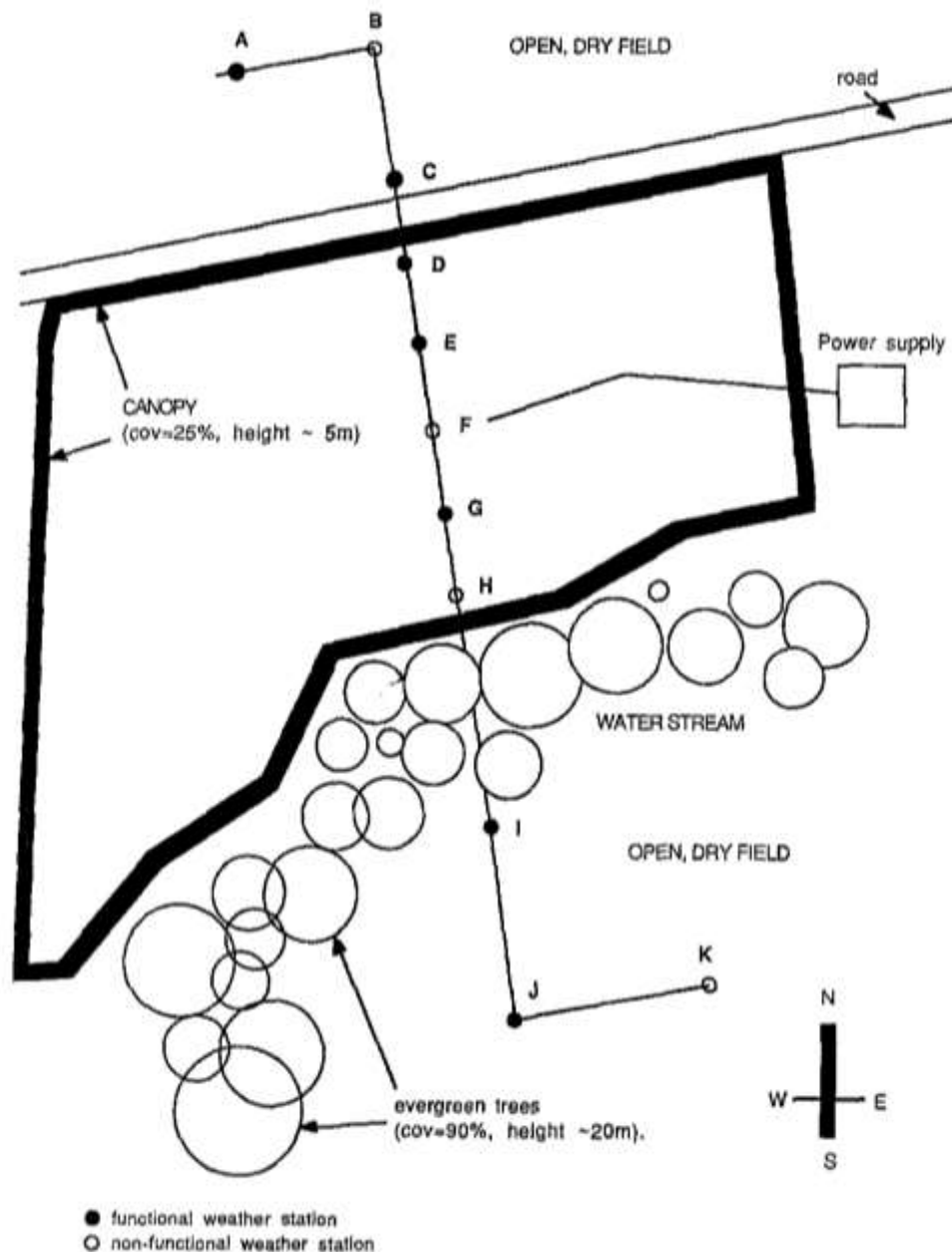
Πίνακας 6: Ταξινόμηση της βλάστησης που μελετήθηκε (Τροποποιημένος πίνακας των (Zhang et al., 2018).

Ταξινόμηση της βλάστησης	Βλάστηση	Κωδικός	Ύψος (m)	Διάμετρος κόμης (m)	Δείκτης Φύλλων (LAI)	Περιοχής
NET	Cedrus deodora	CD	12	7	2.32 (S) 2.32 (W)	
NDT	Metasequoia glyptostroboides	MG	12	5	2.45 (S) 0.18 (W)	
BET	Cinnamomum camphora (L.) Presl.	CC	8	7	3.80 (S) 3.80 (W)	
BDT	Koelreuteria paniculata	KP	8	7	2.68 (S) 0.20 (W)	
BET	Elaeocarpus decipiens Hemsl.	ED	8	5	1.84 (S) 1.84 (W)	
BDT	Magnolia denudata	MD	8	5	2.80 (S) 0.13 (W)	
BET	Osmanthus fragrans (Thunb.) Lour.	OF	4	5	3.45 (S) 3.45 (W)	
BDT	Prunus yedoensis	x	4	5	1.08 (S) 0.27 (W)	

Σημείωση: NDT: φυλλοβόλο δένδρο με φύλλα βελόνας, BDT: πλατύφυλλο φυλλοβόλο δένδρο, NET: αειθαλές δένδρο με φύλλα βελόνας, BET: πλατύφυλλο αειθαλές δένδρο. Τα S και W αντιστοιχούν στο καλοκαίρι και στο χειμώνα αντίστοιχα.

Οι Taha et al. (1991) στη μελέτη τους ανέλυσαν και ποσοτικοποίησαν τις μικρομετεωρολογικές συνθήκες κατά τη αντίθετη πλευρά του ανέμου μέσα και κάτω από μια συστάδα δένδρων για δύο εβδομάδες μια ζεστή περίοδο του Οκτωβρίου στο Davis της Καλιφόρνιας (Εικόνα 57). Στόχος ήταν να εκτιμηθούν οι μικροκλιματικές επιπτώσεις της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της μείωσης της ταχύτητας του ανέμου ενός συστήματος εδάφους-βλάστησης στο ζεστό κλίμα της κεντρικής κοιλάδας της Καλιφόρνιας. Έμφαση δόθηκε στη θερμοκρασία ξηρού βολβού και στην ταχύτητα του ανέμου. Η θερμοκρασία ξηρού βολβού, το σημείο δρόσου, η ταχύτητα ανέμου και η κατεύθυνση του ανέμου μετρήθηκαν μέσα και γύρω από ένα απομονωμένο φυτικό κάλυμμα. Αυτές οι μετεωρολογικές μεταβλητές μετρήθηκαν 1.5 μέτρο πάνω από το έδαφος κατά μήκος μιας διατομής από 7 μετεωρολογικούς σταθμούς που ήταν τοποθετημένοι σε όλη την έκταση του θόλου και στα ανοιχτά πεδία προς τα πάνω και προς τα κάτω. Αυτές οι μεταβλητές υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο κάθε 15 λεπτά για μια περίοδο δύο εβδομάδων, ώστε να μπορούν να αναλύσουν τους ημερήσιους κύκλους τους καθώς και τη χωρική μεταβλητότητά τους. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν σημαντικές νυχτερινές θερμικές νησίδες και οάσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα στην περιοχή των δένδρων, ειδικά με καθαρό καιρό. Μέσα στο θόλο των δένδρων σε απόσταση 5 m, από την αντίθετη πλευρά, η ημερήσια θερμοκρασία μειώθηκε κατά 4.5 °C, ενώ η νυχτερινή θερμοκρασία

αυξήθηκε κατά 1 °C. Βαθύτερα στις συστάδες των δένδρων, η μείωση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας έφτασε τους 6 °C και η νυχτερινή αύξηση κατά 2 °C. Η ταχύτητα ανέμου μειώθηκε κατά περίπου 2 m / s σε ήπιες συνθήκες και έως και 6.7 m / s κατά τη διάρκεια των κυκλωνικών καιρικών συνθηκών όταν η ταχύτητα ανέμου του ανοικτού πεδίου ήταν κοντά στα 8 m / s. Οι μελετητές κατέληξαν στο γενικότερο συμπέρασμα ότι στην πράξη δεν χρειάζεται να φυτέψουμε εκτεταμένες ζώνες με βλάστηση για να πετύχουμε σημαντική ψύξη, αλλά μια ή δύο σειρές δένδρων στην αντίθετη πλευρά ενός κτιρίου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη. Συνεπώς, στα θερμά κλίματα, τα δένδρα αποτελούν ένα πραγματικό πλεονέκτημα για τη μείωση των ψυκτικών φορτίων στα κτίρια.



Εικόνα 57: Χωροταξικό σχέδιο, το οποίο αντιπροσωπεύει το θόλο βλάστησης και τη θέση των μετεωρολογικών σταθμών (Taha et al., 1991)

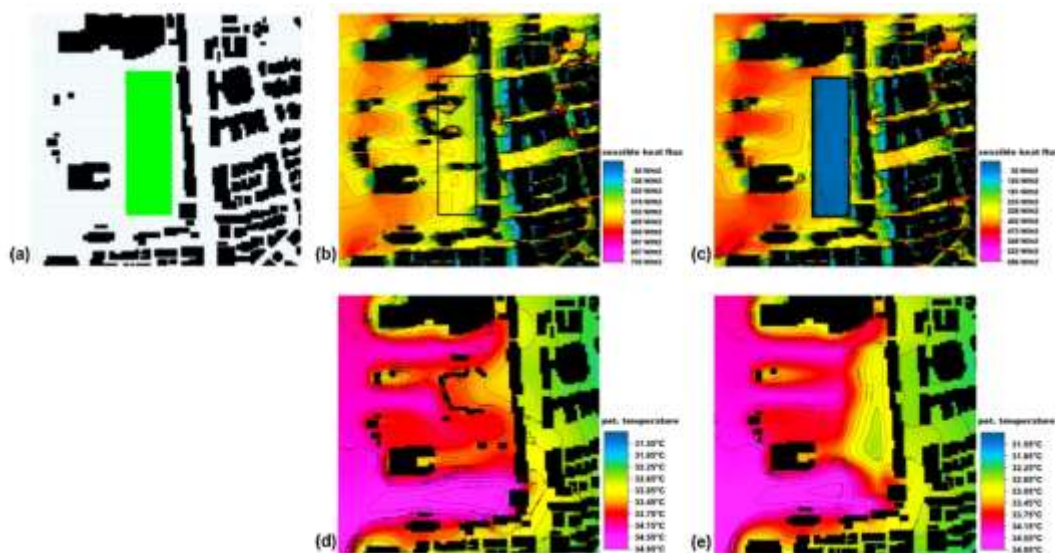
Οι Tan et al. (2016) αξιολόγησαν δύο παράγοντες: τον παράγοντα προβολής στον ουρανό (Sky View Factor -SVF) και την διαδρομή του ανέμου σε επίπεδο γειτονιάς σε δύο ευαίσθητες αστικές περιοχές με διαφορετική μορφολογία στο Χονγκ Κονγκ. Ειδικότερα συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα ψύξης των εξής σεναρίων, όσον αφορά το δείκτη SVF:

1. Δένδρα τοποθετημένα σε σημεία με χαμηλό δείκτη SVF ( $< 0.2$ )
2. Δένδρα τοποθετημένα σε σημεία με μέσο δείκτη SVF ( $0.2 - 0.4$ )
3. Δένδρα τοποθετημένα σε σημεία με υψηλό δείκτη SVF ( $0.4 - 0.8$ ).



Όσον αφορά τη διαδρομή του ανέμου συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των εξής σεναρίων:

1. Δένδρα διατεταγμένα σε δρόμους παράλληλους με την κατεύθυνση του ανέμου κατά την καλοκαιρινή περίοδο (κατά μήκος της διαδρομής του ανέμου)
2. Δένδρα διατεταγμένα σε δρόμους κάθετα προς την κατεύθυνση του ανέμου κατά την καλοκαιρινή περίοδο (σε προστατευόμενη θέση)
3. Δένδρα διατεταγμένα σε δρόμους ευθυγραμμισμένα κατά  $45^\circ$  προς την κατεύθυνση του ανέμου κατά την καλοκαιρινή περίοδο (μικρότερη ταχύτητα ανέμου).

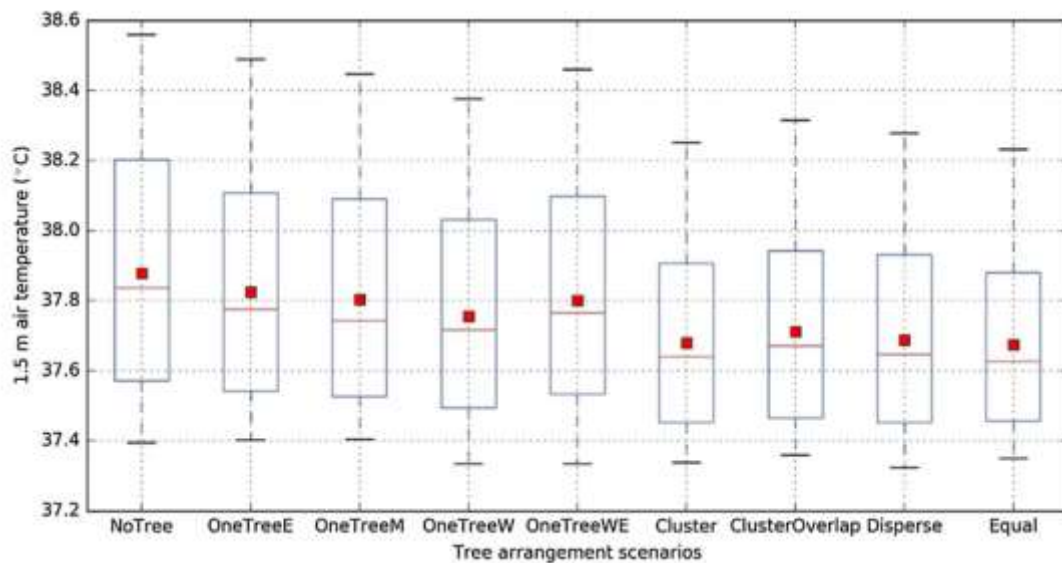


Εικόνα 58: Στην εικόνα (α) παρουσιάζεται η περιοχή με δένδρα με υψηλό δείκτη SVF. Στις εικόνες (c) και (b) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ροής λογικής θερμότητας με και χωρίς διάταξη δένδρων αντίστοιχα. Στις εικόνες (e) και (d) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στην κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα σε ύψος 1.5 m με και χωρίς διάταξη δένδρων αντίστοιχα στις 13:00 (Tan et al., 2016)

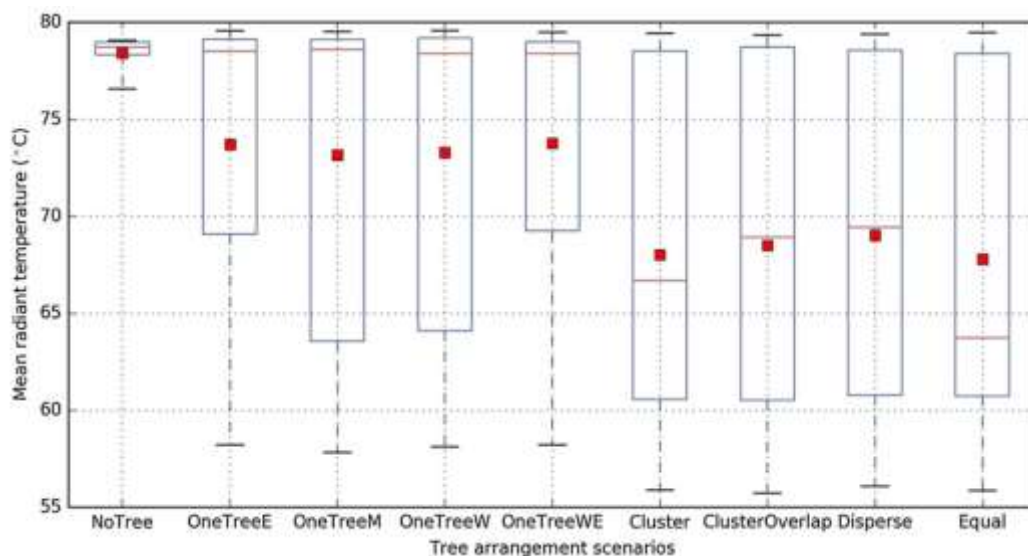
Η μελέτη έδειξε ότι περιοχές με δένδρα με ψηλό δείκτη SVF μειώνουν σημαντικά τη θερμοκρασία του αέρα και μετριάζουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας κατά τη διάρκεια της ημέρας στο αστικό κέντρο. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα κατά  $1.5^\circ\text{C}$ . Από την άλλη πλευρά περιοχές με δένδρα με μέσο και χαμηλό δείκτη SVF μειώνουν το φορτίο ακτινοβολίας στο αστικό περιβάλλον των πόλεων κατά τη διάρκεια του απογεύματος. Ειδικότερα παρατηρήθηκε ότι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{\text{mrt}}$ ) μειώθηκε στους  $34^\circ\text{C}$ . Επίσης παρατηρήθηκε ότι η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα ήταν διπλάσια στις περιοχές που τα δένδρα ήταν διατεταγμένα στον άξονα του ανέμου. Στην Εικόνα 58

παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για μια περιοχή με δένδρα με υψηλό δείκτη SVF. Τέλος οι μελετητές προτείνουν σε περιοχές με ογκώδεις κατοικίες και με λίγο χώρο πρασίνου, τα δένδρα να τοποθετούνται στις διαδρομές του ανέμου για να βελτιώνονται τα οφέλη ψύξης στις γειτονιές.

Οι Zhao et al. (2018) πρώτα πραγματοποίησαν μια προσομοίωση σε μια υφιστάμενη γειτονιά με την τρέχουσα διάταξη των δένδρων χρησιμοποιώντας το ENVI – met. Στη συνέχεια αξιολογήθηκαν και συγκρίθηκαν οι διαφορές που προκύπτουν στο μικροκλίμα και τη θερμική άνεση με προσομοίωση διαφορετικών διατάξεων των δένδρων (συγκεντρωμένα – ίσα διαστήματα ή διασκορπισμένα) στην ίδια γειτονιά. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι δένδρων στο μοντέλο βάσης με διαφορετικό τύπο φύλλου, πλάτος κόμης και ύψος. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής είδη δένδρων: *Fraxinus velunita*, *Acacia salicina*, *Washingtonia filifera*. Στην Εικόνα 59 και Εικόνα 60 αντίστοιχα παρουσιάζεται η θερμοκρασία του αέρα και η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$ ) για τα διαφορετικά σενάρια που μελετήθηκαν. Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν πρώτα ότι η υψηλότερη πυκνότητα των δένδρων συμβάλλει περισσότερο στη βελτίωση της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) από ότι στη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα μόνο. Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη ψύξης από τα δένδρα προτείνονται: να αποφεύγεται η επικάλυψη των δένδρων, να παρέχουν περισσότερη σκίαση στα κτίρια και να δημιουργούν αποτελεσματικές συνθήκες αερισμού αποφεύγοντας τον αποκλεισμό των αιολικών διαδρομών μεταξύ των κτιρίων. Τέλος κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πιο αποτελεσματική στρατηγική για τη βελτίωση της θερμικής άνεσης της γειτονιάς είναι είτε η τοποθέτηση ενός μόνο δένδρου στη μέση της μπροστινής αυλής είτε η τοποθέτηση δύο σε ίσα διαστήματα. Και οι δύο στρατηγικές μειώνουν τη φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (PET) κατά 1 - 1.5 °C σε όλη τη γειτονιά.



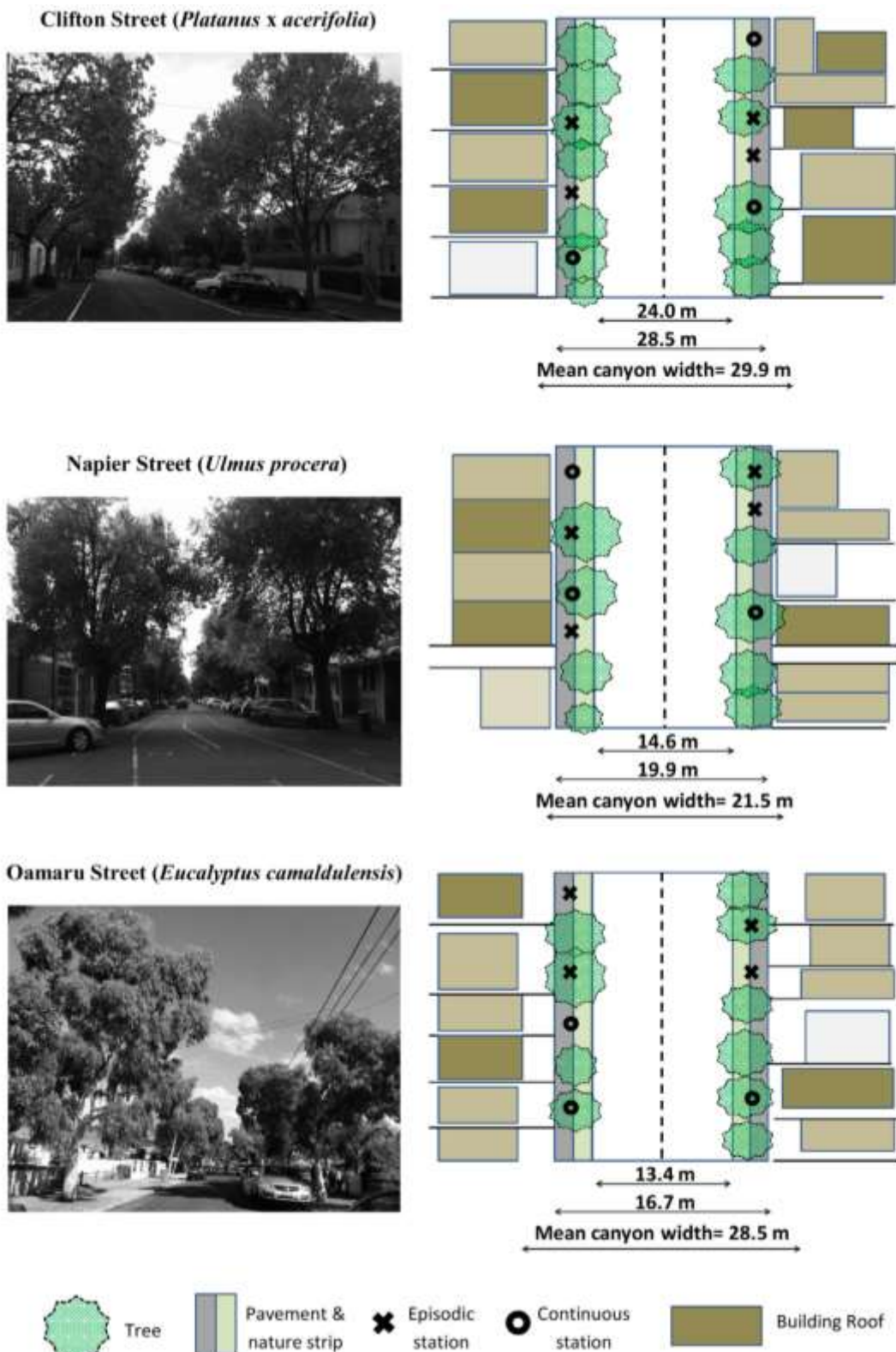
Εικόνα 59: Σύγκριση της θερμοκρασίας του αέρα σε ύψος 1.5 m για τις διαφορετικές διατάξεις των δένδρων (Τα άνω και κάτω όρια των θηκογραμμάτων υποδεικνύουν το 25 % και το 75% των τιμών, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το 5% και το 90%, τα κόκκινα σημεία δείχνουν τη μέση τιμή και οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τη διάμεση τιμή) (Zhao et al., 2018)



Εικόνα 60: Σύγκριση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$ ) για τις διαφορετικές διατάξεις των δένδρων (Τα άνω και κάτω όρια των θηκογραμμάτων υποδεικνύουν το 25 % και το 75 % των τιμών, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το 5% και το 90%, τα κόκκινα σημεία δείχνουν τη μέση τιμή και οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τη διάμεση τιμή) (Zhao et al., 2018)

Οι Sanusi et al. (2017) μελέτησαν τα οφέλη που παρέχουν διαφορετικά είδη δένδρων που είναι διατεταγμένα στα πεζοδρόμια στο μικροκλίμα με διαφορετικό δείκτη επιφάνειας φυτών (Plant Area Index – PAI) στη Μελβούρνη της Αυστραλίας. Ειδικότερα μελετήθηκαν το καλοκαίρι του 2014 τρεις παρόμοιοι δρόμοι βορρά – νότου με τρία διαφορετικά είδη δένδρων (*Platanus acerifolia*, *Ulmus procera*, *Eucalyptus scorparia*) με διαφορετικά χαρακτηριστικά κόμης και φύλλων (Εικόνα 61).

Οι μικροκλιματικές παράμετροι μετρήθηκαν στους πεζόδρομους κάτω και μακριά από τα δένδρα μεταξύ 06:00 και 20:00 σε τρεις ημέρες χωρίς σύννεφα.



Εικόνα 61: Οι περιοχές μελέτης. Αριστερά η οπτική φωτογραφία των περιοχών και δεξιά η περιγραφή της θέσης των μετεωρολογικών σταθμών και στις δύο πλευρές των δρόμων. Στην ανοικτή πλευρά του δρόμου οι σταθμοί ήταν τοποθετημένοι μακριά από το θόλο των δένδρων. (Sanusi et al., 2017)



Η μελέτη καταδεικνύει τα εξής:

1. Οι δρόμοι με είδη δένδρων, όπως οι *U. procera* και *P. acerifolia*, έδωσαν μεγαλύτερο όφελος στο μικροκλίμα του δρόμου από την άποψη της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας ανέμου.
2. Οι δρόμοι με *U. procera* και *P. acerifolia* είχαν υψηλότερες πρώιμες θερμοκρασίες κάτω από τους θόλους τους από το δρόμο με *E. scoraria*, υποδηλώνοντας ότι τα δέντρα με κλειστούς θόλους, σφαιρικό σχήμα και μεγαλύτερη περιοχή θόλων μπορούν να μειώσουν την ψύξη τη νύχτα. Το απόγευμα, η *U. procera* παρείχε τα μεγαλύτερα οφέλη για την ψύξη με μεγαλύτερη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας.
3. Όσον αφορά τη φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (PET) υπήρξε ένα όφελος της τάξης των 4.7 έως 5.3 °C, χωρίς να υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών δένδρων που μελετήθηκαν.
4. Οι μικροκλιματικές διαφορές μεταξύ των ειδών στο επίπεδο του δρόμου οφείλονται στο διαφορετικό Δείκτη Επιφάνειας Φυτών (PAI).
5. Ωστόσο, με την ίδια τιμή PAI, οι μορφολογικές διαφορές μεταξύ των ειδών δεν ήταν τόσο σημαντικές όσο τα απλά βασικά χαρακτηριστικά, όπως το σχήμα των δένδρων και το κέλυφος, για τα οφέλη στο μικροκλίμα και στην φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (PET).

Οι Shashua – Bar και Hoffman (2000) μελέτησαν την επίδραση ψύξης μικρών αστικών περιοχών με δένδρα με διαφορετικές γεωμετρικές διαμορφώσεις κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου στο Τελ – Αβίβ. Ειδικότερα επιλέχθηκαν 11 αστικές περιοχές με δένδρα που αντιπροσώπευαν μια ποικιλία περιοχών, όπως μικρούς κήπους και αυλές, λεωφόρους με και χωρίς κυκλοφορία και δρόμους φαράγγια. Για τις ανάγκες της έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, της διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας ακτινοβολίας επιφάνειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση ψύξης εξαρτάται μεταξύ άλλων παραγόντων, από τη θερμοκρασία του αέρα της γύρω περιοχής. Ειδικότερα όσο υψηλότερη είναι αυτή η θερμοκρασία, τόσο ισχυρότερη είναι η ψυκτική επίδραση. Επίσης σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ψυκτικής επίδρασης του χώρου διαδραματίζει και ο

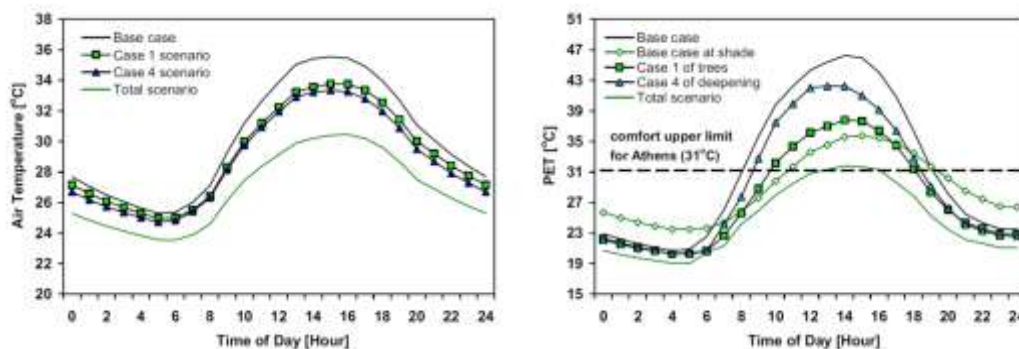
παράγοντας της σκίασης. Στους χώρους μελέτης όπου η σκίαση παρέχεται από τα δένδρα προσδιορίστηκε ότι το 80 % του ψυκτικού αποτελέσματος προέρχεται από αυτή. Επίσης παρατηρήθηκε ότι το φαινόμενο ψύξης λόγω της γεωμετρίας και των χαρακτηριστικών των δένδρων, εκτός από τη σκίαση, ήταν σχετικά μικρό, περίπου 0.5 K, με μια μέση ψύξη περίπου 3 K το μεσημέρι. Τέλος διαπιστώθηκε ότι η ψυκτική επίδραση γίνεται αντιληπτή σε απόσταση περίπου 100 m από τις περιοχές με τα δένδρα.

Οι Shashua – Bar et al. (2012) ερευνήσαν πώς μπορεί να μειωθεί με τον κατάλληλο αστικό σχεδιασμό, η θερμοκρασία του αέρα στο επίπεδο του δρόμου και να βελτιωθούν οι θερμικές συνθήκες των πεζών το καλοκαίρι. Για τις ανάγκες της έρευνας μελετήθηκε ένας δρόμος στην Αθήνα με χαμηλό λόγο διαστάσεων  $H / W$  ( $H$ : ύψος κτιρίου,  $W$ : πλάτος δρόμου), χαμηλό επίπεδο κάλυψης με δένδρα και υψηλή κυκλοφορία με τέσσερις διαφορετικούς σχεδιασμούς. Οι αστικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό είναι ο λόγος της περιοχής, η κάλυψη των δένδρων, ο φόρτος κυκλοφορίας, το albedo των επιφανειών των τοίχων και ο λόγος  $H / W$ . Η μέρα που έλαβε χώρα η έρευνα ήταν σχετικά ζεστή (36.5 °C το μεσημέρι) με οκτώ ώρες θερμικού στρες (δύο και έξι ώρες ακραίας και έντονης θερμικής καταπόνησης, αντίστοιχα) στο επίπεδο του δρόμου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι:

1. Υπάρχει μια ισχυρή σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και του χώρου και της κατάστασης άνεσης, αλλά όχι το αντίστροφο. Δηλαδή διαπιστώθηκε ότι η σκιά επηρεάζει την άνεση αλλά δεν επηρεάζει απαραίτητα και το μικροκλίμα, εφόσον δεν επηρεάζει την προσπίπτουσα ακτινοβολία του συνολικού τόπου ή / και τον παράγοντα θέασης του ουρανού.
2. Η επιλογή των δένδρων είναι ο πιο ωφέλιμος παράγοντας για τη βελτίωση του μικροκλίματος, καθώς και της κατάστασης άνεσης. Η επίδρασή τους στο μικροκλίμα είναι μέσω του ψυκτικού τους αποτελέσματος. Ωστόσο, στην επίδρασή τους στην θερμική άνεση, τόσο η ψύξη του αέρα όσο και η σκιά των δένδρων παίζουν σημαντικό ρόλο.
3. Όλα τα σενάρια σχεδιασμού βρίσκονται σε θέση να μειώσουν τον αριθμό των ωρών θερμικής πίεσης στο επίπεδο των πεζών σε σχέση με τις επικρατούσες συνθήκες. Μεταξύ των διαφόρων σεναρίων που μελετήθηκαν, το πιο ωφέλιμο για τον μετριασμό του στρες είναι τα σενάρια της αυξανόμενης κάλυψης των



δέντρων για τη δημιουργία σκιάς και της εμβάθυνσης του ανοιχτού χώρου στο δρόμο. Ωστόσο, και μόνο τα σενάρια αύξησης των δένδρων βρίσκονται σε θέση να εξαλείψουν τις συνθήκες ισχυρής θερμικής πίεσης και να συνδεθούν με μέτρια θερμική καταπόνηση (Εικόνα 62). Αύξηση της κάλυψης με δένδρα από 7.8 % σε 50 % είχε σαν αποτέλεσμα μείωση της PET κατά 8.3 K.

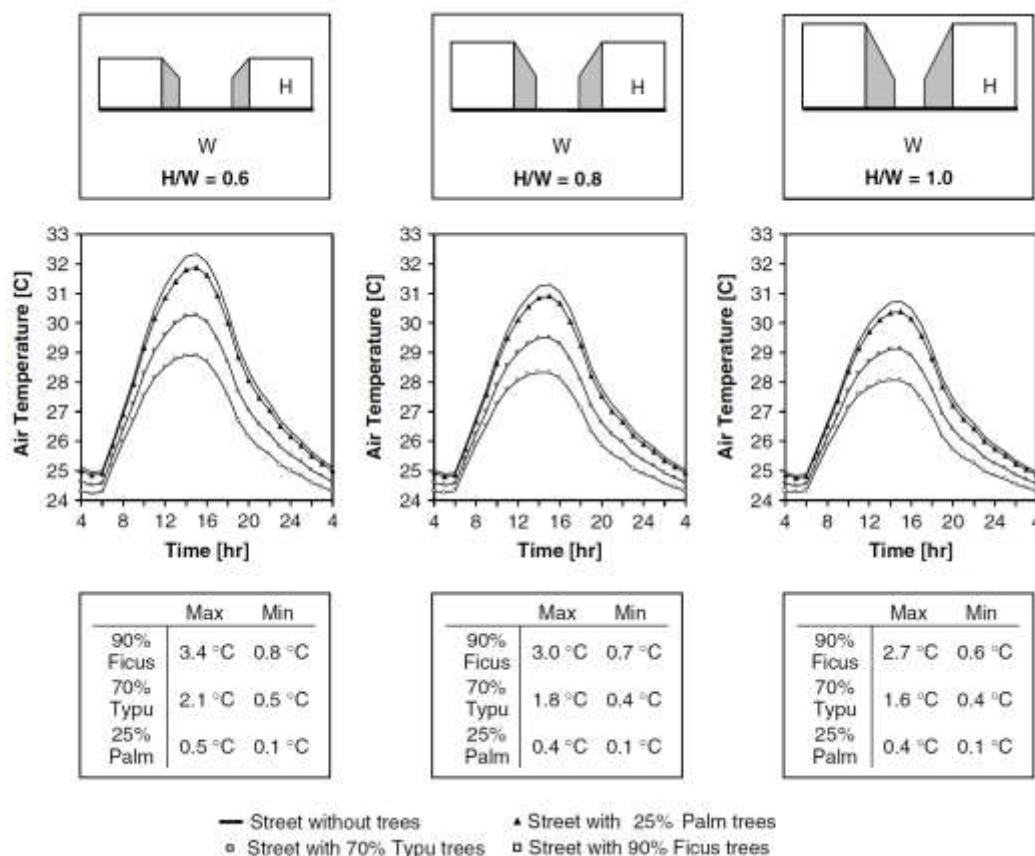


Εικόνα 62: Αριστερά: Προσομοιωμένες θερμοκρασίες αέρα στο δρόμο για σενάρια παθητικής ψύξης, περίπτωση 1: αύξηση της κάλυψης των δένδρων, περίπτωση 2: εμβάθυνση ανοικτού χώρου. Δεξιά: Ημερήσιες τιμές φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) των κύριων περιπτώσεων: βασική περίπτωση, περίπτωση με δένδρα, περίπτωση εμβάθυνσης και το γενικό σενάριο. Επίσης το μοτίβο της PET για την υποθετική βασική περίπτωση του δρόμου εντελώς στη σκιά. Η οριζόντια γραμμή δείχνει το ανώτερο όριο άνεσης για τους ανθρώπους της Αθήνας (Shashua-Bar et al., 2012).

Οι Shashua - Bar et al. (2009b) εξέτασαν πως η αστική πυκνότητα και τα αστικά δένδρα επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα και κατ' επέκταση τον πολεοδομικό σχεδιασμό στο Τελ-Αβίβ. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε για τρία είδη δένδρων με διαφορετικά χαρακτηριστικά κόμης και επίπεδο κάλυψης (*Ficus retusa*, *Tirupana tiru*, *Date Palm*), για έναν τυπικό δρόμο, πλάτους 27 m, με κτίρια 4, 6, και 8 ορόφων. Τα κυριότερα ευρήματα είναι τα εξής:

1. Η ψυκτική επίδραση των δένδρων σε μια αστική περιοχή με ζεστό και υγρό κλίμα είναι σημαντική και μπορεί η μείωση της θερμοκρασίας να φθάσει του 3 – 4 °C.
2. Η ψυκτική επίδραση των δένδρων εξαρτάται κυρίως από το επίπεδο κάλυψης της κόμης και την πυκνότητα φύτευσης στον αστικό δρόμο.
3. Από τα τρία είδη δένδρων που μελετήθηκαν βρέθηκε ότι το είδος *Date Palm* ήταν τα πιο αποτελεσματικά ως μέσο ψύξης.
4. Η ψυκτική επίδραση των δένδρων σχετίζεται με την αστική γεωμετρία του αστικού δρόμου ανεξάρτητα από το επίπεδο κάλυψης τους. Ειδικότερα όσο πιο υψηλός είναι ο λόγος H / W τόσο μικρότερο είναι το φαινόμενο ψύξης των δένδρων.

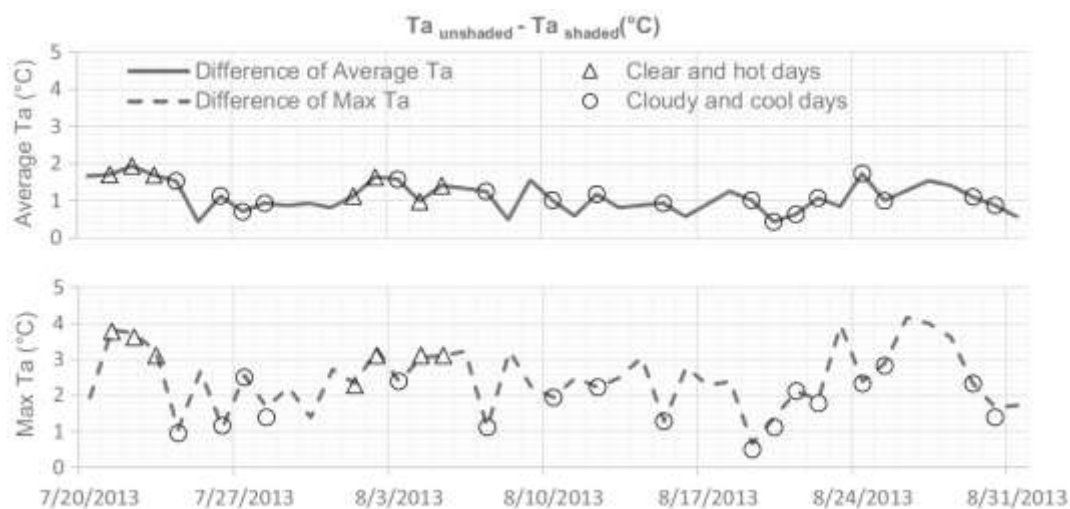
5. Σε αστικούς δρόμους με υψηλό λόγο  $H / W$  η επίδραση των δένδρων στο μικροκλίμα είναι μικρή. Σε αυτές τις περιπτώσεις προτιμώνται δένδρα με μικρό μέγεθος κόμης, όπως το είδος Data Palm. Τέτοιου είδους δένδρα είναι απαραίτητο να τοποθετούνται κατά μήκος των πεζοδρομίων, καθώς προσφέρουν σκιά και συμβάλλουν στη θερμική άνεση στο επίπεδο των πεζών κατά τις μεσημεριανές ώρες (Εικόνα 63).



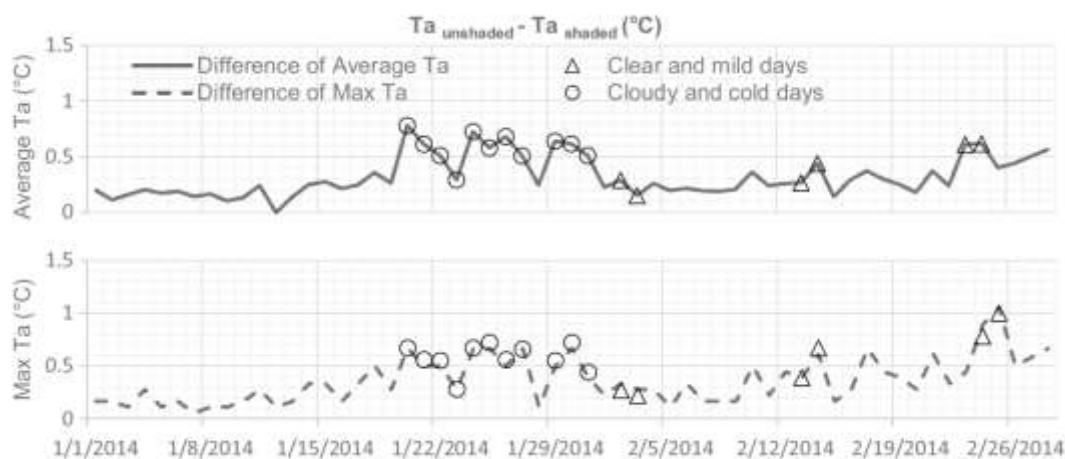
Εικόνα 63: Προσομοιωμένο δυναμικό ημερήσιας ψυκτικής επίδρασης των τριών ειδών δένδρων που μελετήθηκαν σε έναν αστικό δρόμο με διαφορετικούς λόγους  $H / W$  (Shashua-Bar et al., 2009b)

Οι Wang et al. (2015a) ερεύνησαν τις επιπτώσεις των δένδρων στο τοπικό αστικό μικροκλίμα και τη θερμική άνεση υπό διαφορετικές τοπικές καιρικές συνθήκες, σε μια μικρή αστική περιοχή στο Assen, της Ολλανδίας. Διεξήχθησαν μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας τόσο κατά τη θερινή περίοδο όσο και κατά τη χειμερινή, σε πέντε επιλεγμένες τοποθεσίες, οι οποίες χαρακτηρίζονταν από διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς την κάλυψη των δένδρων. Οι μετρήσεις απέδειξαν ότι κατά τη θερινή περίοδο το μικροκλίμα επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία των δένδρων. Η σύγκριση των μετρήσεων μεταξύ της σκιασμένης και της

μη σκιασμένης περιοχής έδειξε ότι η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία αέρα διέφερε κατά 2.5 °C (Εικόνα 64). Τη χειμερινή περίοδο, διαπιστώθηκε ότι τα αειθαλή δένδρα μείωσαν τη μέση θερμοκρασία αέρα κατά 0.5 °C (Εικόνα 65). Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η ψυκτική επίδραση των δένδρων ήταν δύο φορές υψηλότερη κατά τις ανέφελες και ζεστές μέρες σε σύγκριση με τις νεφελώδεις και κρύες. Τέλος, η παρουσία των δένδρων βελτιώνει τη θερμική άνεση. Ειδικότερα η θερμική αντίληψη «πολύ ζεστό» και «θερμό» μειώνεται κατά 16 % περίπου σε ανέφελες μέρες και κατά 11 % περίπου σε νεφελώδεις. Οι μελετητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι καιρικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση των δένδρων, κυρίως κατά τη θερινή περίοδο.



Εικόνα 64: Διαφορά μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας αέρα ( $T_a$ ) μεταξύ σκιασμένης και μη σκιασμένης θέσης των δένδρων κατά την καλοκαιρινή περίοδο (μεταξύ 06:00 και 21:00) (Wang et al., 2015a)



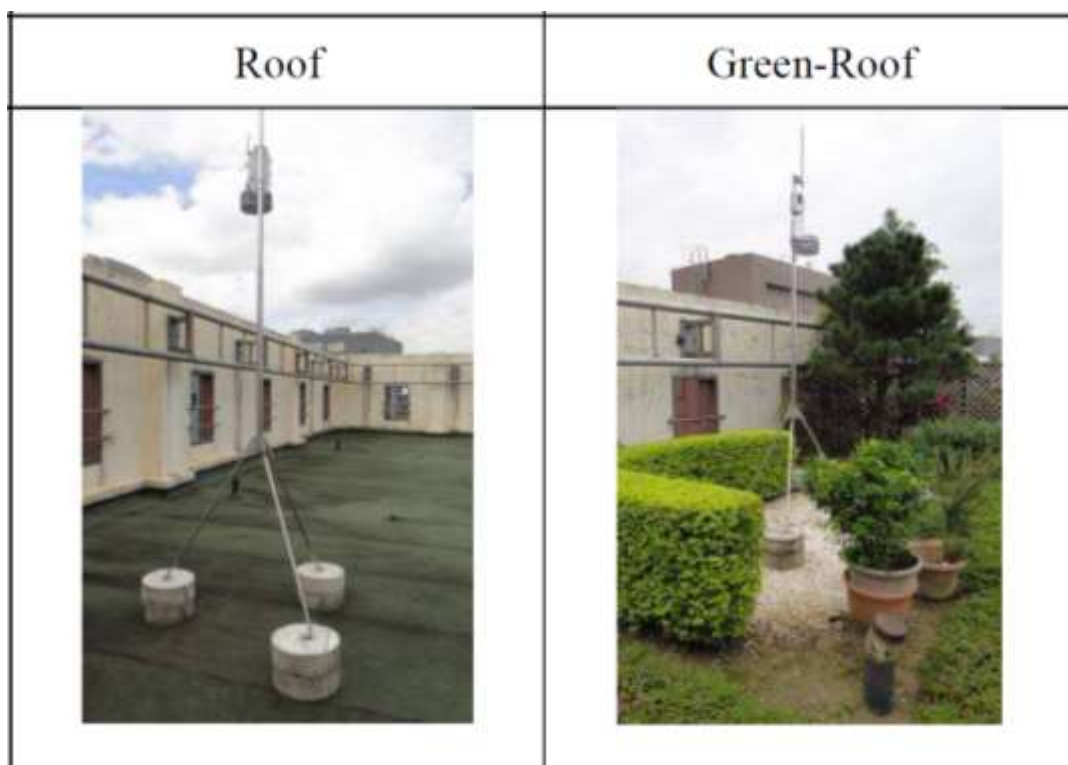
Εικόνα 65: Διαφορά μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας αέρα ( $T_a$ ) μεταξύ σκιασμένης και μη σκιασμένης θέσης των δένδρων κατά την χειμερινή περίοδο (μεταξύ 06:00 και 21:00) (Wang et al., 2015a)

### 4.3 Πράσινες στέγες

Ο Santamouris (2014) εξέτασε την επίδραση που έχουν οι πράσινες στέγες στο μετριασμό της αστικής θερμικής νησίδας (UHI), συγκρίνοντας δέκα διαφορετικές μελέτες προσομοίωσης. Οι μελέτες έδειξαν ότι οι πράσινες στέγες είναι δυνατόν να μειώσουν τη μέση θερμοκρασία του αέρα από 0.3 έως 3.0 K. Επίσης παρατηρήθηκε ότι όταν οι πράσινες στέγες τοποθετούνται σε ψηλά κτίρια και μεσαίου ύψους οι πιθανότητες να μειωθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο επίπεδο του δρόμου είναι αμελητέες. Οι πράσινες στέγες παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα ως προς τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα όταν τοποθετούνται σε κτίρια των οποίων το ύψος είναι μικρότερο των 10 μέτρων.

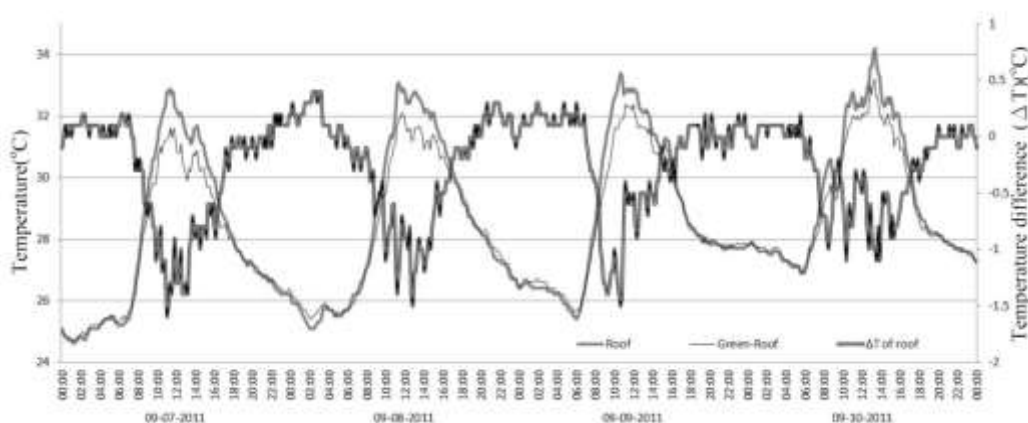
Οι Smith και Roebber (2011) μελέτησαν στο Σικάγο τις δυνατότητες που έχει μια πράσινη στέγη στο μετριασμό της αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε η εκδοχή Advanced Research του μοντέλου Weather Research and Forecasting Model (ARW) σε συνδυασμό με ένα μοντέλο αστικών θόλων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το χρονικό διάστημα 19:00 – 23:00 η θερμοκρασία του αέρα μειώθηκε κατά 2 -3 °C. Η μείωση οφείλεται στο υψηλότερο albedo που έχουν οι πράσινες στέγες και στην εξατμισοδιαπνοή των φυτών.

Οι Sun et al. (2012) μελέτησαν τη μείωση της θερμοκρασίας που προκαλείται από μια πράσινη στέγη στο βόρειο – ανατολικό Ταϊπέι. Για τις ανάγκες της έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα σε ύψος 2.5 m σε μια πράσινη στέγη και σε μια συμβατική στέγη (Εικόνα 66). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμοκρασία του αέρα στην πράσινη στέγη μειώθηκε 0.26 °C κατά μέσο όρο, με μέγιστη μείωση τους 1.6 °C (Εικόνα 67). Επίσης, διαπιστώθηκε η θερμική επίδραση των πράσινων στεγών όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα είναι πιο σημαντική κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 66: Συμβατική και πράσινη στέγη, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της έρευνας (Sun et al., 2012)

Οι Chen et al. (2009) μελέτησαν το θερμικό αντίκτυπο που έχουν οι πράσινες στέγες όταν είναι τοποθετημένες σε ψηλά κτίρια στο επίπεδο των πεζών (1.5 m), στο Τόκυο. Για την έρευνά τους χρησιμοποίησαν συνδυασμένες προσομοιώσεις για τη μεταφορά, την ακτινοβολία και την αγωγιμότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση των πράσινων στεγών στο επίπεδο των πεζών είναι αμελητέα, γεγονός που οφείλεται στο ύψος των κτιρίων.

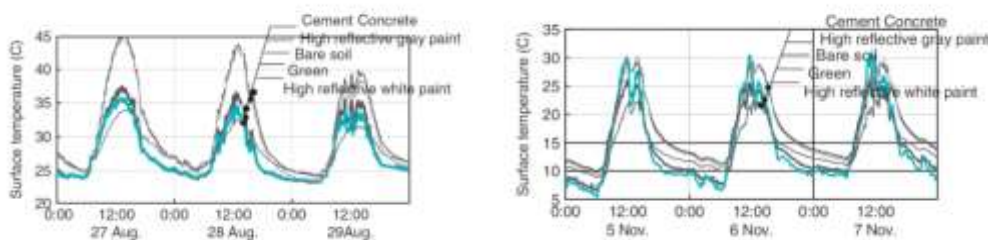


Εικόνα 67: Τα δεδομένα θερμοκρασίας των 2 σταθμών στην οροφή του κτιρίου κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης (Sun et al., 2012)



Οι Taleghani et al (2016) μελέτησαν την επίδραση που έχουν οι πράσινες στέγες στη θερμική άνεση των πεζών σε μια γειτονιά της Καλιφόρνιας κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πράσινες στέγες που ήταν τοποθετημένες σε κτίρια ύψους 6 m δεν βελτίωσαν τη θερμική άνεση στο επίπεδο του δρόμου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πράσινες στέγες τροποποιούν το ενεργειακό ισοζύγιο στο επίπεδο της οροφής, δηλαδή πάνω από το ύψος των πεζών.

Οι Takebayashi και Moriyama (2007) παρατήρησαν τις οροφές οκτώ ιστορικών κτιρίων στο Πανεπιστήμιο Kobe της Ιαπωνίας. Ειδικότερα μελετήθηκαν οι εξής επιφάνειες: (1) γυμνό έδαφος, (2) γρασίδι, (3) σκυρόδεμα, (4) υψηλή ανακλαστική λευκή βαφή και (5) υψηλή ανακλαστική γκρίζα βαφή. Για τις εν λόγω επιφάνειες παρατηρήθηκαν η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η υπέρυθη ακτινοβολία, η βροχόπτωση, η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου. Παρατηρήθηκε ότι το μήνα Αύγουστο η θερμοκρασία επιφάνειας του σκυροδέματος και της υψηλής ανακλαστικής γκρίζας βαφής ήταν σχεδόν ίδια και υψηλότερη περίπου κατά 10 °C από εκείνη στις επιφάνειες με υψηλά ανακλαστική λευκή βαφή και σε αυτή με το γρασίδι (Εικόνα 68). Επίσης, η θερμοκρασία της επιφάνειας με γρασίδι ήταν αρκετούς βαθμούς χαμηλότερη από εκείνη του γυμνού εδάφους αλλά μερικούς βαθμούς υψηλότερη από εκείνη με το λευκό χρώμα υψηλής ανακλαστικότητας. Ωστόσο κατά το μήνα Νοέμβριο η θερμοκρασία της επιφάνειας με το γρασίδι και του γυμνού εδάφους ήταν περίπου ίδια.



Εικόνα 68: Παρατηρούμενα αποτελέσματα της θερμοκρασίας επιφάνειας κατά το μήνα Αύγουστο (αριστερά) και κατά το μήνα Νοέμβριο (δεξιά) (Takebayashi and Moriyama, 2007)

Ο Theodosiou (2003) μελέτησε τα χαρακτηριστικά μιας οροφής που έχουν επηρεαστεί από την προσθήκη βλάστησης σε αυτή ως παθητική τεχνική ψύξης. Για να αξιολογηθούν τα χαρακτηριστικά πραγματοποιήθηκε η χρήση πραγματικών

δεδομένων από μια κατασκευή στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και διεξήχθη μια παραμετρική μελέτη. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν:

1. Το ύψος του φυλλώματος από μόνο του δεν αποτελεί κρίσιμο παράγοντα που επηρεάζει την απόδοση αυτής της τεχνικής, αλλά μόνο σε συνδυασμό με την πυκνότητα του στρώματος βλάστησης.
2. Η πιο σημαντική παράμετρος είναι η πυκνότητα των φύλλων, η οποία εκφράζεται από το δείκτη της επιφάνειας των φύλλων (LAI). Ο δείκτης LAI επηρεάζει τη διαπνοή και τη σκίαση. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του φυλλώματος τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιφάνεια των φύλλων στην οποία πραγματοποιείται η διαπνοή. Επιπλέον μεγάλη τιμή του δείκτη LAI (π.χ. 6) προσφέρει σχεδόν πλήρη σκίαση στην κάτω περιοχή του φυλλώματος και στην επιφάνεια του εδάφους, προστατεύοντας την από την ηλιακή ακτινοβολία.
3. Το πάχος του στρώματος του εδάφους της φυτεμένης οροφής έχει πολύ μικρή επίδραση στην ψύξη.
4. Ο τύπος της φυτεμένης οροφής επηρεάζει τη θερμική ροή. Όσον αφορά όμως τη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που αυτοί οι τύποι μπορούν να προσφέρουν για ολόκληρη την καλοκαιρινή περίοδο, δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Η φυτεμένη οροφή με υψηλές απαιτήσεις βλάστησης μπορεί να συνισφέρει σημαντικά στην ψύξη ακόμη και σε υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ενώ αυτή με χαμηλές απαιτήσεις βλάστησης δεν μπορεί να το πετύχει. Ο πιο συνηθισμένος τύπος που χρησιμοποιείται είναι ο μεσαίος και είναι ικανός να λειτουργήσει ως τεχνική ψύξης κατά το μεγαλύτερο μέρος της καλοκαιρινής περιόδου.
5. Σημαντική παράμετρος αποτελεί και το πάχος της μονωτικής στρώσης, καθώς ελέγχει τη θερμική σύνδεση της φυτεμένης στέγης με το εσωτερικό του κτιρίου. Η απουσία της μονωτικής στρώσης είναι δυνατόν να εξασφαλίσει τη ροή θερμότητας από το ζεστό εσωτερικό προς τα ψυχρότερα στρώματα της φυτεμένης στέγης. Υψηλότερα επίπεδα μόνωσης εμποδίζουν τη ροή θερμότητας και αν και προσφέρουν θερμική προστασία, εμποδίζουν τις δυνατότητες ψύξης των φυτεμένων στεγών.
6. Τέλος οι κλιματικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση των φυτεμένων στεγών ως τεχνική ψύξης, με τη σχετική υγρασία να είναι ο

σημαντικότερος. Ένα ξηρό περιβάλλον ενισχύει τις δυνατότητες εξατμισοδιαπνοής και ψύξης. Η ταχύτητα του ανέμου έχει παρόμοιο αποτέλεσμα, αν και όχι τόσο ισχυρό όσο η σχετική υγρασία. Οι υψηλότερες τιμές προσφέρουν βελτιωμένη αφαίρεση ατμών από τον όγκο του φυλλώματος και οδηγούν σε αυξημένη εξατμισοδιαπνοή.

Οι Susca et al. (2011) παρακολούθησαν το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας σε τέσσερις περιοχές της Νέας Υόρκης. Από την έρευνά τους διαπίστωσαν μια μέση διαφορά θερμοκρασίας της τάξεως των 2 °C μεταξύ των περισσότερο και των λιγότερων πράσινων περιοχών, η οποία αποδίδεται στην υποκατάσταση της βλάστησης με τεχνητά οικοδομικά υλικά. Επίσης διαπίστωσαν ότι τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι, η θερμική αντίσταση και η εξατμισοδιαπνοή μειώνουν τις ροές θερμότητας μέσω της οροφής. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα λόγω της πρόσθετης θερμικής αντίστασης που παρέχεται από το έδαφος και από τη βιομάζα των φυτών, οι θερμοκρασίες που καταγράφονται στον πυθμένα του εδάφους είναι σχεδόν σταθερές. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στην πράσινη οροφή, η εξατμισοδιαπνοή διασκορπίζει τη θερμότητα και εγγυάται χαμηλές θερμοκρασίες. Συνεπώς οι πράσινες στέγες είναι σε θέση να μειώσουν τη χρήση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση. Η αστική ευρεία μετατροπή των μαύρων στέγων σε πράσινες στέγες μπορεί να προσφέρει καλύτερη διαχείριση των καταιγίδων, βελτίωση της ποιότητας του αέρα και αύξηση της αστικής βιοποικιλότητας.

#### 4.4 Πράσινοι τοίχοι

Οι Wong et al. (2010) μελέτησαν 8 διαφορετικά συστήματα πράσινων κατακόρυφων τοίχων (Εικόνα 69) στη Σιγκαπούρη. Για την αξιολόγηση των θερμικών επιπτώσεων των πράσινων τοίχων στην απόδοση των κτιρίων και στο άμεσο περιβάλλον πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας επιφάνειας και του περιβάλλοντος. Όσον αφορά τη θερμοκρασία επιφάνειας τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση τιμή αυτής ήταν κατά 4.36 °C χαμηλότερη σε σύγκριση με τους τοίχους στους οποίους δεν υπήρχε βλάστηση. Επιπλέον από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος διαπίστωσαν ότι σε απόσταση 0.15 m μπροστά από τους τοίχους η θερμοκρασία μειώθηκε κατά 3.33 °C, ενώ σε απόσταση 0.60 m δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά (Πίνακας 7).

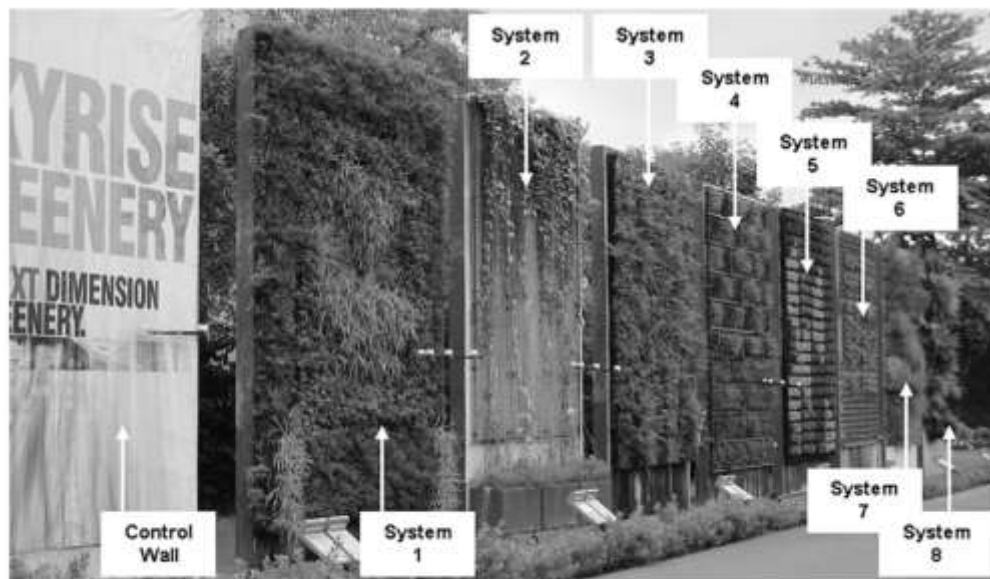


Fig. 1. Control wall and the 8 vertical greenery systems in HortPark.

Εικόνα 69: Ο τοίχος ελέγχου και τα 8 συστήματα πράσινων κατακόρυφων τοίχων στη Σιγκαπούρη (Wong et al., 2010)

Πίνακας 7: Τροποποιημένος συγκεντρωτικός πίνακας των θερμοκρασιών επιφάνειας (Wong et al., 2010)

Σύστημα	Θερμοκρασία (°C)					
	Απόσταση 0.15m		Απόσταση 0.30m		Απόσταση 0.60m	
	Χαμηλότερη	Υψηλότερη	Χαμηλότερη	Υψηλότερη	Χαμηλότερη	Υψηλότερη
<b>Τοίχος ελέγχου</b>	26.34	34.85	25.17	33.59	25.17	33.59
<b>1</b>	24.79	31.93	26.34	34.01	25.17	32.34
<b>2</b>	25.56	32.76	25.56	32.76	25.56	32.76
<b>4</b>	25.17	31.52	25.17	31.93	25.95	32.76

Οι Taleghani et al. (2014) μελέτησαν τη θερμοκρασία του αέρα σε δύο αυλές στο Όρεγκον των ΗΠΑ. Στη μια αυλή οι τοίχοι είχαν καλυφθεί με κόκκινα τούβλα και στην άλλη είχαν καλυφθεί με βλάστηση. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα για μια εβδομάδα κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου του 2013 και από τα αποτελέσματα παρατήρησαν ότι η αυλή με τη βλάστηση παρουσίασε χαμηλότερη θερμοκρασία κατά 4.7 °C σε σύγκριση με αυτή που ήταν καλυμμένη με τα κόκκινα τούβλα.



## 4.5 Γρασίδι

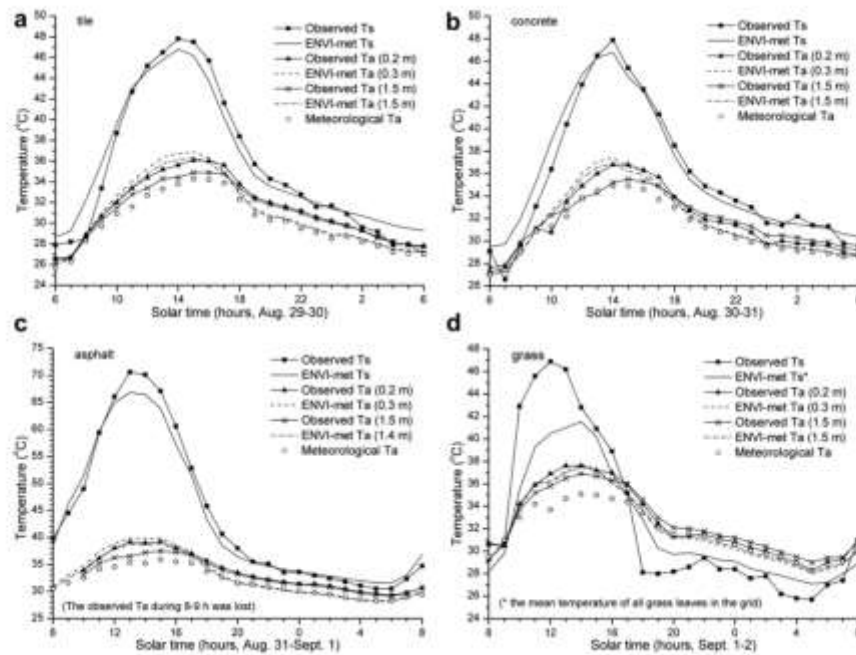
Οι Yang et al. (2013) αξιολόγησαν τη θερμική συμπεριφορά τριών τύπων πεζοδρομίων (κεραμίδι, σκυρόδεμα και άσφαλτος) και γρασιδιού, στο Guangzhou της Νότιας Κίνας για το χρονικό διάστημα από 29 Αυγούστου έως 2 Σεπτεμβρίου 2010 (Εικόνα 70). Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε το ENVI-met (Έκδοση 4) και μετρήθηκαν οι εξής μεταβλητές: (α) η θερμοκρασία του εδάφους σε διάφορα βάθη, (β) η ροή θερμότητας του εδάφους στην επιφάνεια, (γ) η θερμοκρασία της επιφάνειας και (δ) η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα σε διαφορετικά ύψη.



Εικόνα 70: Η περιοχή στην οποία διεξήχθη το πείραμα (προέρχεται από το Google Earth), η διάταξη των σημείων μέτρησης και τα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη επιφανειών εδάφους (δεξιά). Για τα σημεία 5, 6 και 7 μετρήθηκαν και οι δύο μεταβλητές της υπερκείμενης επιφάνειας. Για το σημείο 9 παρατηρήθηκαν μόνο οι μεταβλητές της πάνω επιφάνειας. Για τα σημεία 1, 2, 3, 4, 8 και 10 μετρήθηκαν μόνο η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία σε ύψος 0.2 m και 1.5 m πάνω από το έδαφος. Ο αισθητήρας του ανεμόμετρου τοποθετήθηκε στο κέντρο της πλατείας, 2.0 m πάνω από το έδαφος (Yang et al., 2013)

Στην Εικόνα 71 παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ της παρατηρούμενης και της μοντελοποιημένης θερμοκρασίας επιφάνειας και της θερμοκρασίας του αέρα σε δύο διαφορετικά ύψη (0.2 m και 1.5 m) για τους τέσσερις τύπους επιφάνειας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο από τα μοντέλα όσο και από τις παρατηρήσεις αποδεικνύεται ότι η τοπική θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται έντονα από τον τύπο της επιφάνειας του εδάφους. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια των πεζοδρομίων και ειδικότερα στην επιφάνεια με την άσφαλτο ήταν υψηλότερη από τη μετεωρολογική θερμοκρασία του αέρα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, με αποτέλεσμα την αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα. Αντίθετα, η θερμοκρασία επιφάνειας στο

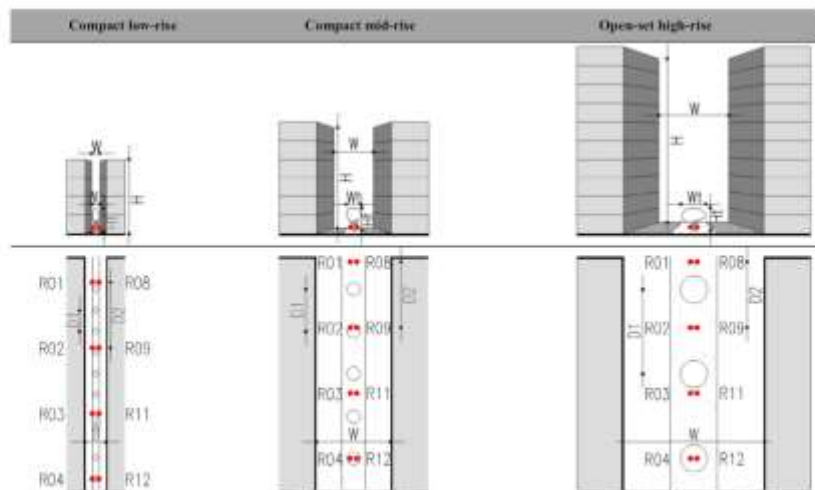
γρασίδι μειώθηκε πιο γρήγορα και παρατηρήθηκε ότι ήταν χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μετά το ηλιοβασίλεμα, με αποτέλεσμα την ελαφριά αναστροφή της θερμοκρασίας του αέρα τη νύχτα. Συνεπώς μπορούμε να θεωρήσουμε το γρασίδι ως «θερμότητα» για το αστικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας το ζεστό καλοκαίρι.



Εικόνα 71: Σύγκριση των παρατηρηθέντων και μοντελοποιημένων  $T_s$  και  $T_a$  σε 0.2 m και 1.5 m πάνω από το έδαφος για τους τέσσερις τύπους εδάφους. Το ύψος παρατήρησης 0.2 m αντιστοιχεί σε ύψος 0.3 m στο μοντέλο (Yang et al., 2013)

#### 4.6 Συνδυασμός πράσινων υποδομών

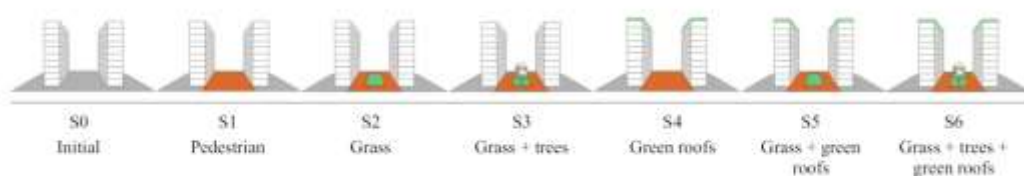
Οι Lobaccaro και Acero (2015) πραγματοποίησαν μια έρευνα σε τρία τυπικά αστικά φαράγγια με διαφορετικές γεωμετρικές αναλογίες και πέντε σενάρια με βλάστηση σε τυπικές συνθήκες μια καλοκαιρινής ημέρας στο Μπιλμπάο της Ισπανίας. Χρησιμοποίησαν το μοντέλο ENVI-met και ανέλυσαν τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, τη θερμοκρασία του αέρα, τη θερμοκρασία της επιφάνειας και την ταχύτητα του ανέμου. Η θερμική άνεση εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας τον δείκτη της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET). Τα χαρακτηριστικά της βλάστησης που χρησιμοποιήθηκε στα αστικά φαράγγια ήταν: (α) 0.5 m γρασιδιού στο κεντρικό τμήμα του δρόμου, καλύπτοντας το 30% της συνολικής επιφάνειας του πλάτους του δρόμου, (β) πράσινη στέγη με 0.5 m γρασιδιού και (γ) δέντρα ύψους 5.0 m σε όλα τα φαράγγια, με το πλάτος της κόμης τους να έχει μοντελοποιηθεί ανάλογα με το πλάτος του δρόμου. Ειδικότερα στα φαράγγια με συμπαγή χαμηλά κτίρια ορίστηκε σε 1.5m, στα φαράγγια με συμπαγή κτίρια 3.0 m και στα φαράγγια με ανοιχτά πολυώροφα κτίρια 6.0 m. Αντίστοιχα ορίστηκε και η απόσταση μεταξύ των δέντρων σε 4.5 m, 9.0 m και 18.0 m (Εικόνα 72).



Εικόνα 72: Τα προς μελέτη αστικά φαράγγια με τη θέση των υποδοχών, των δέντρων, την απόσταση μεταξύ των δέντρων ( $D_1$ ), την απόσταση των υποδοχών ( $D_2$ ) και την κάλυψη των φύλλων των δέντρων. Επίσης  $H / W = 3.5$  αντιστοιχεί σε συμπαγές φαράγγι με χαμηλά κτίρια,  $H / W = 1.5$  σε συμπαγές φαράγγι με μεσαίου ύψους κτίρια και  $H / W = 1.3$  σε ανοιχτό φαράγγι με πολυώροφα κτίρια (Lobaccaro and Acero, 2015).

Για καθένα από τα παραπάνω αστικά φαράγγια μελετήθηκαν 7 διαφορετικά σενάρια, όπως εμφανίζονται στην Εικόνα 73. Η έρευνα επιβεβαίωσε ότι το γρασίδι, οι

πράσινες στέγες και τα δέντρα βελτιώνουν τη θερμική άνεση στο επίπεδο των πεζών. Από τα σενάρια που μελετήθηκαν διαπιστώθηκε ότι η μεγαλύτερη μείωση του δείκτη ισοδύναμης φυσιολογικής θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε στο S3, στο οποίο είχαμε συνδυασμό δέντρων και γρασιδιού. Ειδικότερα παρατηρήθηκε μείωση του δείκτη κατά 10 °C στα συμπαγή φαράγγια με χαμηλά και μεσαίου ύψους κτίρια και 8 °C στα ανοιχτά με πολυώροφα κτίρια. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η παρουσία των δέντρων έχει σημαντικό αντίκτυπο στη μείωση της ταχύτητας του ανέμου μόνο στα ανοιχτά φαράγγια με πολυώροφα κτίρια και στα συμπαγή με μεσαίου ύψους κτίρια.

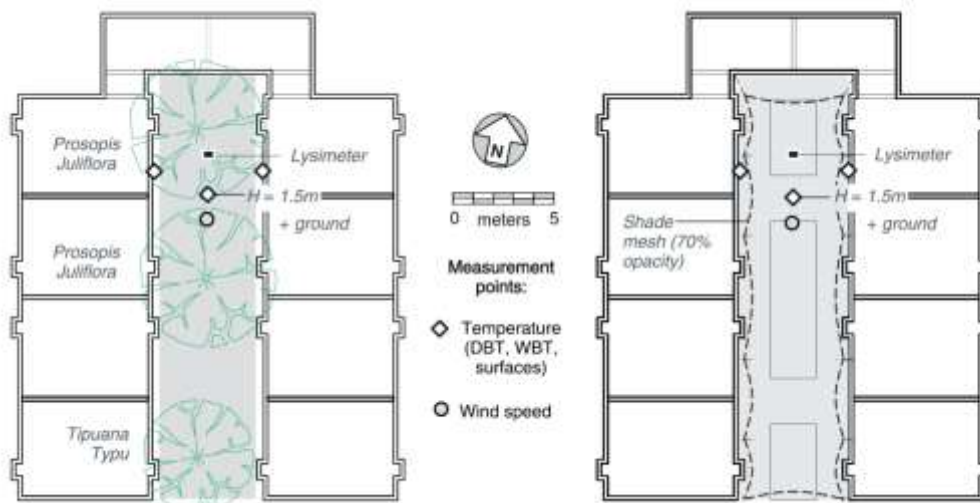


Εικόνα 73: Τα επτά σενάρια που μελετήθηκαν και αναλύθηκαν (Lobaccaro and Acero, 2015)

Οι Song και Wang (2015) διερεύνησαν τις επιπτώσεις των διαφόρων μορφών βλάστησης στο μικροκλίμα του Φοίνιξ της Αριζόνας, του οποίου το κλίμα είναι ζεστό και ξηρό ερημικό. Ειδικότερα μελετήθηκαν διάφορα σενάρια στα οποία χρησιμοποιήθηκαν γρασίδι και δένδρα. Για το κάθε σενάριο μετρήθηκαν και συγκρίθηκαν η θερμοκρασία της επιφάνειας του αστικού εδάφους, η θερμοκρασία αέρα κοντά στην επιφάνεια, η θερμική άνεση στο αστικό στρώμα κάτω από την κόμη των δένδρων, καθώς και η θερμοκρασία και η υγρασία στο υπερκείμενο στρώμα. Το γρασίδι και τα δένδρα μετριάζουν τη θερμοκρασία με διαφορετικούς μηχανισμούς. Το γρασίδι μειώνει τις θερμοκρασίες μέσω της εξάτμισης, αλλά απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού. Ενώ τα δένδρα μειώνουν τις αστικές θερμοκρασίες κυρίως μέσω της σκιάς και έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε νερό. Οι μελετητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι σε μια αστική περιοχή με ζεστό και ξηρό ερημικό κλίμα για το μετριασμό της θερμοκρασίας θα πρέπει να προτιμάται η χρήση δένδρων και όχι γρασιδιού, για τους εξής λόγους:

1. Τα δένδρα μπορούν να προσφέρουν ψύξη στην πόλη με λιγότερη κατανάλωση νερού σε σύγκριση με το γρασίδι και
2. Η αποτελεσματική ψύξη του γρασιδιού περιορίζεται στη δροσερή επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από τη σκιά των δένδρων.

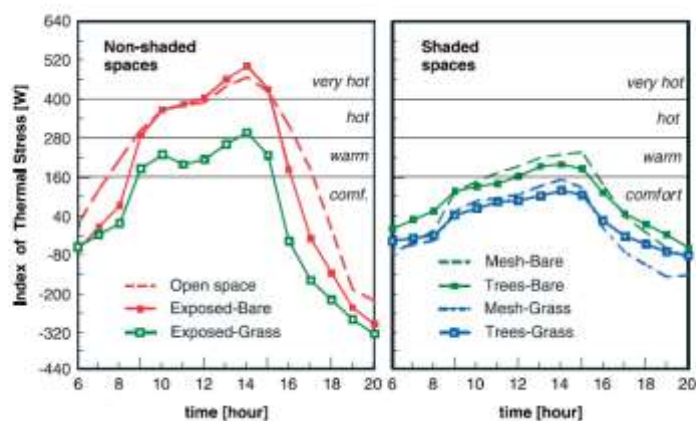
Οι Shashua – Bar et al. (2009a) μελέτησαν την επίδραση των δέντρων και του γρασιδιού στην πανεπιστημιούπολη Sede-Boqer, η οποία βρίσκεται στο Negev-Highlands του νότιου Ισραήλ. Συγκεκριμένα διερεύνησαν τις επιπτώσεις της βλάστησης στη θερμική άνεση των ανθρώπων σε δύο ημίκλειστους αστικούς χώρους (αυλές), με διάφορους συνδυασμούς ώριμων δέντρων, γρασιδιού, πλέγματος σκίασης και πλακόστρωσης (Εικόνα 74).



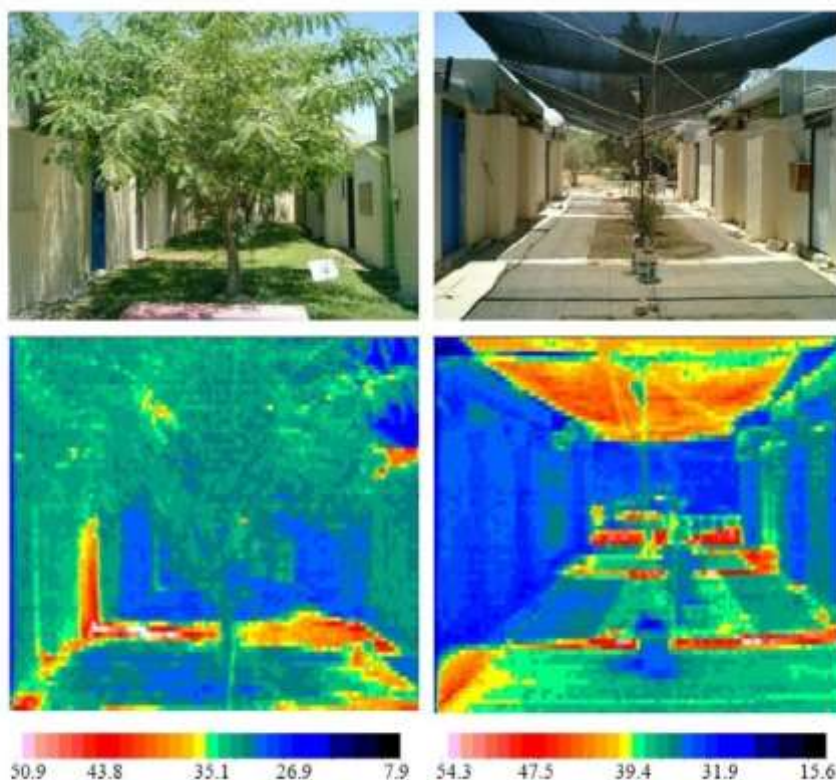
Εικόνα 74: Σχέδιο διαμόρφωσης της αυλής στο οποίο φαίνεται η τοποθεσία των σημείων μέτρησης και των δέντρων στη δυτική αυλή (αριστερά) και το σκιασμένο πλέγμα στην ανατολική αυλή (δεξιά) (Shashua-Bar et al., 2009a)

Στην περίπτωση της αυλής με την πλακόστρωση παρατηρήθηκαν συνθήκες μη άνεσης για όλη τη διάρκεια της ημέρας, με τις μισές από αυτές τις ώρες να έχουν χαρακτηριστεί από έντονη δυσφορία. Στις περιπτώσεις που εφαρμόστηκε βλάστηση παρατηρήθηκε βελτίωση της θερμικής άνεσης. Στα σημεία με σκιά, η οποία μπορεί να προερχόταν είτε από τα δέντρα είτε από το πλέγμα παρατηρήθηκε μείωση της δυσφορίας (Εικόνα 75). Όταν οι δύο μηχανισμοί σκίασης (δέντρα ή πλέγμα) συνδυάστηκαν με γρασίδι καταγράφηκαν συνθήκες άνεσης όλες τις ώρες. Διαπιστώθηκε όμως ότι η επίδραση των δέντρων ήταν πιο έντονη από αυτή του πλέγματος. Συνεπώς, η βλάστηση συμβάλλει ουσιαστικά στη θερμική άνεση του ανθρώπου, ακόμη και όταν η επίδρασή της στη θερμοκρασία του αέρα είναι αμελητέα, καθώς μειώνει την εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου κύματος από τις επιφάνειες της αυλής και περιορίζει την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται (Εικόνα 76).





Εικόνα 75: Δείκτης τιμών θερμικής άνεσης (ITS) κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ημερήσιων ωρών (LST) για μη σκιασμένους χώρους (αριστερά) και για διαμορφώσεις αυλής με σκίαση από δέντρα ή πλέγμα, με τα αντίστοιχα επίπεδα θερμικής άνεσης (Shashua-Bar et al., 2011)



Εικόνα 76: Οι οπτικές και οι αντίστοιχες θερμικές εικόνες υπέρυθρης ακτινοβολίας σε διαμορφώσεις αυλών με χορτάρι και δέντρα (αριστερά) και με γυμνό οδόστρωμα και σκιασμένο πλέγμα (δεξιά) περίπου στις 12:20LST στις 17 Ιουλίου 2007. Οι θερμικές εικόνες δείχνουν τις ακτινοβολούμενες επιφανειακές θερμοκρασίες (σε °C) σε ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος 0.92 (Shashua-Bar et al., 2011)

Οι Perini και Magliocco (2014) μελέτησαν την επίδραση της βλάστησης (βλάστηση στο έδαφος και στις στέγες) στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (UHI) και στην εξωτερική θερμική άνεση στα πυκνά αστικά περιβάλλοντα τριών πόλεων της Ιταλίας (Μιλάνο, Ρώμη, Γένοβα). Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο μικροκλίματος ENVI-met 3.1, το οποίο είναι δυνατόν να προβλέψει τις

μικροκλιματικές αλλαγές στα αστικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ψυκτική επίδραση της βλάστησης διαφέρει ανάλογα με την έκταση των πράσινων περιοχών και το είδος της βλάστησης (πράσινες στέγες, πράσινες περιοχές με δέντρα, θάμνοι και γρασίδι). Οι πράσινες περιοχές στο έδαφος (γρασίδι, θάμνοι, δέντρα) είναι πιο αποτελεσματικές στη μείωση των θερινών θερμοκρασιών, των μέσων ακτινοβολούμενων θερμοκρασιών και της προβλεπόμενης μέσης ψήφου (Predicted Mean Vote-PMV) στο επίπεδο του δρόμου (ύψος 1.6m) σε σύγκριση με τις πράσινες στέγες. Οι πράσινες στέγες, όμως είναι πιο αποτελεσματικές στη μείωση του φορτίου ψύξης των κτιρίων. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να θεωρηθεί σημαντική, καθώς σε πολύ πυκνές αστικές περιοχές μπορεί να μην είναι δυνατή η προσθήκη βλάστησης στο έδαφος. Τέλος, βρέθηκε ότι η επίδραση της βλάστησης ήταν πιο αποτελεσματική στο μικροκλίμα που παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας.

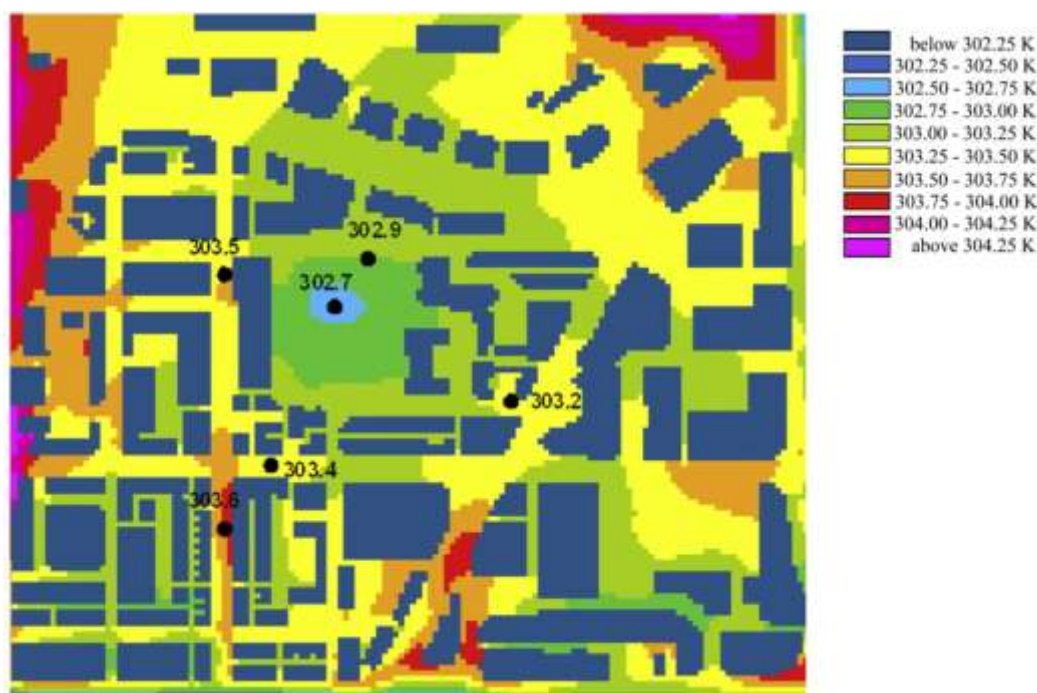
Οι Wang et al. (2015b) στην Ολλανδία μελέτησαν και ανέλυσαν τον τρόπο με τον οποίο οι μεταβολές του δείκτη επιφάνειας φυτών (Plant Area Index – PAI) και των καιρικών συνθηκών μεταβάλλουν την επίδραση της αστικής πράσινης υποδομής στο μικροκλίμα. Για τις ανάγκες της έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε πέντε διαφορετικά σημεία σε μια αστική περιοχή. Ειδικότερα η τοποθεσία Α βρισκόταν σε ανοικτό χώρο, ενώ οι τοποθεσίες Β, C και D καλύπτονταν από δάσος, μεμονωμένα φυλλοβόλα δέντρα και δέντρα στους δρόμους αντίστοιχα και η Ε βρισκόταν δίπλα σε κτίρια (Εικόνα 77). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην τοποθεσία Β, όπου υπήρχαν περισσότερα δέντρα παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη δυνατότητα ψύξης μεταξύ των προς μελέτη τοποθεσιών, αν και η διαφορά στη μέση ημερήσια μείωση της θερμοκρασίας του αέρα ( $T_a$ ) ήταν μικρή (max 0.3 °C). Τα δέντρα του δρόμου παρατηρήθηκε ότι είχαν τη μικρότερη επίδραση στη βελτίωση του μικροκλίματος σε σύγκριση με ένα μεμονωμένο δέντρο, πιθανώς εξαιτίας της παρουσίας πλακοστρωμένων επιφανειών, οι οποίες αντισταθμίζουν τις μειώσεις της θερμοκρασίας. Γενικότερα παρατηρήθηκε ότι κατά μέσο όρο η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$ ) στην έκταση με τα δέντρα ήταν κατά 7.5 K χαμηλότερη από τον ανοικτό χώρο.



Εικόνα 77: Οι προς μελέτη περιοχές στο Άσσεν της Ολλανδίας (Google earth – δεξιά και στιγμιότυπο οθόνης του Open Street Map – αριστερά) (Wang et al., 2015b)

Οι Ng et al. (2012) μελέτησαν στο Χονγκ Κονγκ ένα χώρο που αποτελείται από μικτά εμπορικά και οικιστικά κτίρια τα οποία είναι διατεταγμένα σε συμπαγή μορφή ενώ στο κέντρο υπάρχει ένα πάρκο έκτασης  $100 \text{ m}^2$ , δένδρα και πράσινο στις οροφές των κτιρίων. Τα μεγέθη κτιρίων στη διάταξη είχαν ληφθεί ως συνδυασμένα τεμάχια, μεγέθους από  $20 \times 40 \text{ m}^2$ ,  $20 \times 80 \text{ m}^2$  και  $80 \times 80 \text{ m}^2$ . Τα πλάτη των δρόμων μεταξύ κτιρίων ήταν 10, 15, 20 και 30 m. Τα ύψη των κτιρίων ορίστηκαν για πρώτη φορά ομοιογενή στα 60 m, που αντιπροσωπεύει το μέσο ύψος κατασκευής της περιοχής. Στη μια μελέτη περίπτωσης υποθέσαμε ότι οι αναλογίες ύψους προς πλάτος δρόμου ήταν από 2 έως 6 m, γεγονός που αποτελεί χαρακτηριστικό της αστικής μορφολογίας στο Χονγκ Κονγκ. Επίσης κατασκευάστηκαν και προσομοιώθηκαν μοντέλα με άλλα ύψη κτιρίων των 40 και 20 μέτρων αντίστοιχα, ώστε να συμπεριληφθεί η επίδραση των υψών των κτιρίων στις δυνατότητες ψύξης. Στην Εικόνα 78 φαίνεται ότι μπορεί να υπάρξει σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του αέρα από 0.8 έως 1.3 K στην περιοχή του πάρκου σε σύγκριση με τις κοντινές αστικές περιοχές. Όσον αφορά τα δένδρα η έρευνα έδειξε ότι μια κάλυψη της τάξεως του 16 % συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα περίπου κατά 0.4 K. Με αύξηση της κάλυψης στο 34 % η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μπορεί να φθάσει τους 0.8 K. Όταν τα δένδρα φυτεύονται κατά μήκος των δρόμων και καλύπτουν το 56 % της συνολικής έκτασης η μέγιστη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μπορεί να φθάσει τους 1.8 K, σε σύγκριση με τη βασική περίπτωση χωρίς βλάστηση. Όσον αφορά το γρασίδι, παρατηρήθηκε ότι όταν αυξάνεται η κάλυψή του οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος αέρα είναι χαμηλότερες και πιο ομοιόμορφα κατανομημένες. Σε σύγκριση όμως με τη φύτευση δένδρων η ψύξη που προέρχεται από το γρασίδι είναι λιγότερο

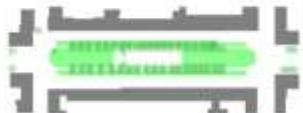

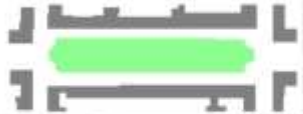
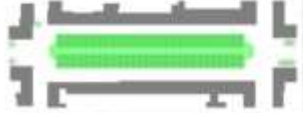





αποτελεσματική. Η διαφορά αυτή είναι λιγότερο προφανής όταν ο λόγος κάλυψης είναι μικρότερος ή ίσος με 16 %. Ωστόσο, όταν η αναλογία κάλυψης αυξάνεται σε 34 % και άνω, η φύτευση δέντρων στο επίπεδο του εδάφους μπορεί να μειώσει τις θερμοκρασίες του αέρα των πεζών περισσότερο από τις επιφάνειες γρασιδιού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα δέντρα μπορούν να παρέχουν σκίαση στις επιφάνειες, πράγμα που είναι πιο αποτελεσματικό στη μείωση της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας. Όσον αφορά την κάλυψη των οροφών με πράσινο τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ούτε οι επιφάνειες γρασιδιού ούτε τα δένδρα είναι δυνατόν να αποδώσουν χρήσιμα αποτελέσματα ψύξης στο επίπεδο των πεζών. Επίσης τα οφέλη της ψύξης είναι υψηλότερα όταν τα ύψη των κτιρίων είναι χαμηλότερα (στα 20 m) σε σύγκριση με κτίρια πιο ψηλά (στα 40 m ή 60 m).



Εικόνα 78: Θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2 m από το έδαφος στις 3 μ.μ. της προς μελέτης περιοχής από την προσομοίωση με το ENVI – met (Ng et al., 2012)

Οι Zolch et al. (2019) διερεύνησαν τα τυπικά σχέδια πράσινου μιας αντιπροσωπευτικής ορθογώνιας δημόσιας πλατείας και τις μικροκλιματικές επιρροές τους κατά τη διάρκεια μιας ζεστής καλοκαιρινής ημέρας τόσο κατά τη διάρκεια των ημερήσιων όσο και των νυχτερινών συνθηκών στο Μόναχο της Γερμανίας (Εικόνα 79). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αριθμός και η τοποθέτηση των δένδρων όσο και το ποσοστό κάλυψης με γρασίδι αποτελούν σημαντικούς δείκτες για τον χαρακτηρισμό των συνθηκών θερμικής άνεσης σε μια δημόσια πλατεία.



Greening design scenario	Description of typical design	Share of all squares in Munich (n = 326, %)	Green share (%) in spatial design a) Tree crown projected area b) grass area	Number of trees in spatial design	Implementation of spatial design at Boerhaaplatz
A) Status Quo	Current greening situation at Boerhaaplatz, trees in two short rows along the long sides, in the centre of the square	–	a) 18.0 b) 16.0	87	
B) No Veg	No vegetation on the square	2.2	a) 0.0 b) 0.0	0	
C) No Tree	No trees on the square, greened with grass	1.2	a) 0.0 b) 22.0	0	
D) TreeRows-open	Trees in two rows along the long sides, in the centre of the square, open edges	4.3	a) 23.0 b) 22.0	112	
E) TreeRows-closed	As D), but rows of trees are at short sides closed to rectangular shape	12.0	a) 24.0 b) 22.0	116	
F) TreeRows-out	Trees in 2 rows on each side of the square, streets in the centre	1.8	a) 25.5 b) 21.0	124	
G) TreesFull	Centre of the square fully planted by trees	5.8	a) 29.0 b) 22.0	140	
H) TreesFull-Side	Trees only on one side of the square, streets on the other side	2.2	a) 32.0 b) 23.0	155	
I) New Design	Trees in asymmetric cluster on western part of the square, eastern part greened with grass and single, scattered trees	–	a) 16.0 b) 27.0	77	

Εικόνα 79: Σχέδια πράσινου για ορθογώνια πλατεία που μελετήθηκαν στο Μόναχο της Γερμανίας (Zölch et al., 2019)

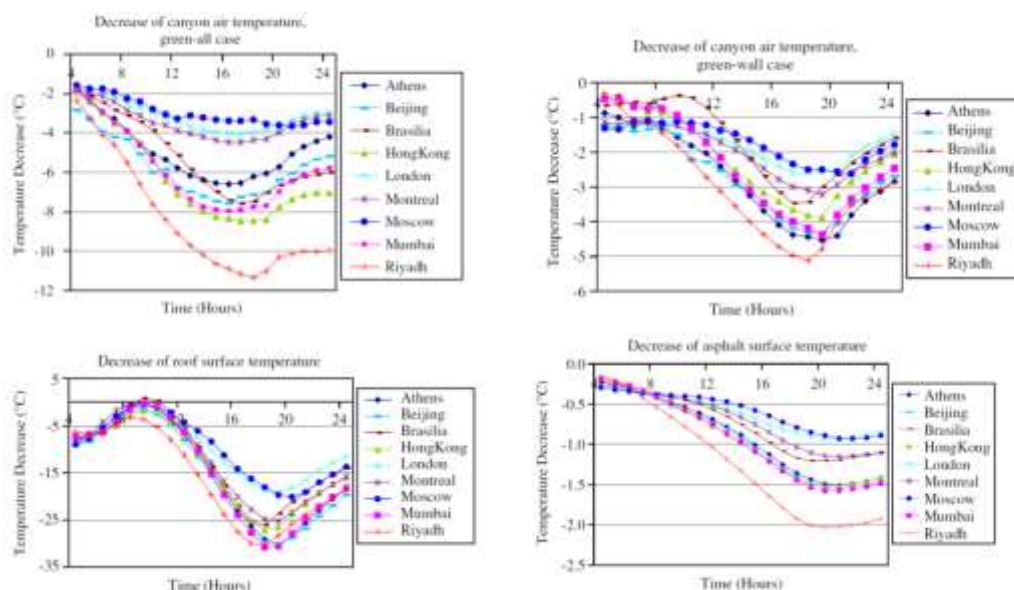
Ειδικότερα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τις μεσημεριανές ώρες ο σχεδιασμός με τα περισσότερα δένδρα και τα δένδρα που ήταν τοποθετημένα στις ηλιόλουστες περιοχές της πλατείας οδήγησε σε αύξηση της ψύξης κατά 5.2 % σε σύγκριση με το σχεδιασμό χωρίς δένδρα. Αντίθετα κατά τις πρώτες πρωινές ώρες τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο σχεδιασμός χωρίς δένδρα αλλά με περιοχές καλυμμένες με γρασίδι είχε καλύτερη μείωση της θερμοκρασίας κατά 4.2 %. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι για τη



δημιουργία μιας άνετης θερμικής κατάστασης, ο σχεδιασμός των χώρων θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένος στο κλίμα και συγκεκριμένα θα πρέπει να περιλαμβάνει δένδρα για τη μεγιστοποίηση των σκιασμένων επιφανειών, ενώ ο κύριος αιολικός διάυλος να διατηρείται χωρίς δένδρα και να φυτεύεται με γρασίδι για να ελαχιστοποιείται η αποθήκευση θερμότητας.

Οι Alexandri και Jones (2008) ασχολήθηκαν με τη θερμική επίδραση της κάλυψης του κελύφους των κτιρίων με βλάστηση στο μικροκλίμα στο δομημένο περιβάλλον, για διάφορα κλίματα και γεωμετρίες αστικών φαράγγιων. Αναλύθηκαν τα κλιματικά χαρακτηριστικά εννέα πόλεων (Λονδίνο, Μόντρεαλ, Μόσχα, Αθήνα, Πεκίνο, Ριάντ, Χονγκ Κονγκ, Βομβάη, Βραζιλία), τρεις γεωμετρίες και δύο προσανατολισμοί των αστικών φαράγγιων και δύο κατευθύνσεις του ανέμου. Η θερμική επίδραση των πράσινων στεγών και των πράσινων τοίχων στο δομημένο περιβάλλον εξετάστηκαν τόσο μέσα στο φαράγγι όσο και σε επίπεδο οροφής. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι υπάρχει ένα σημαντικό δυναμικό μείωσης των αστικών θερμοκρασιών όταν το περίβλημα του κτιρίου καλύπτεται από βλάστηση (Εικόνα 80). Όσο πιο θερμό και ξηρότερο είναι το κλίμα τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της βλάστησης στις αστικές θερμοκρασίες. Ωστόσο, έχει επισημανθεί ότι και τα υγρά κλίματα μπορούν να επωφεληθούν από τις πράσινες επιφάνειες, ειδικά όταν τόσο οι τοίχοι όσο και οι στέγες καλύπτονται με βλάστηση, φθάνοντας μέχρι και 8.4 °C μέγιστη μείωση θερμοκρασίας για το υγρό Χονγκ Κονγκ. Η μείωση της θερμοκρασίας λόγω της βλάστησης επηρεάζεται κυρίως από την ίδια τη βλάστηση (ποσότητα και γεωμετρία), περισσότερο από ότι από τον προσανατολισμό του φαράγγιου σε θερμές περιόδους. Γενικά, όσο μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνει μια επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση της θερμοκρασίας όταν καλύπτεται με βλάστηση. Για τις χαμηλές ταχύτητες αέρα μέσα στο φαράγγι, η κατεύθυνση του ανέμου δεν έχει σημαντική επίδραση στη μείωση της θερμοκρασίας λόγω της βλάστησης. Όσον αφορά την αστική γεωμετρία, όσο ευρύτερο είναι το φαράγγι, τόσο πιο αδύναμο είναι το φαινόμενο των πράσινων στεγών και των πράσινων τοίχων στη μείωση της θερμοκρασίας. Για όλα τα εξεταζόμενα κλίματα, οι πράσινοι τοίχοι έχουν ισχυρότερο αποτέλεσμα από τις πράσινες στέγες μέσα στο φαράγγι. Παρ' όλα αυτά, οι πράσινες στέγες έχουν μεγαλύτερη επίδραση στο επίπεδο στέγης και, κατά συνέπεια, στην αστική κλίμακα. Ο συνδυασμός τόσο των πράσινων στεγών όσο και των

πράσινων τοίχων οδηγεί στον υψηλότερο μετριασμό των θερμοκρασιών μέσα στο φαράγγι.



Εικόνα 80: Στις εικόνες παρουσιάζονται: (1) η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα σε ένα φαράγγι με προσανατολισμό ανατολής δύσης, με αναλογία ύψους / πλάτος 5 / 10, με παράλληλη ροή αέρα, όταν οι στέγες και οι τοίχοι καλύπτονται με βλάστηση (πάνω αριστερά), (2) η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα σε ένα φαράγγι με προσανατολισμό ανατολής δύσης, με αναλογία ύψους / πλάτος 5 / 10, με παράλληλη ροή αέρα, όταν καλύπτονται μόνο οι τοίχοι με βλάστηση (πάνω δεξιά), (3) η μείωση της θερμοκρασίας επιφάνειας της στέγης όταν καλύπτεται με βλάστηση (κάτω αριστερά), (4) η μείωση της θερμοκρασίας της ασφάλτου σε ένα φαράγγι με αναλογία ύψους / πλάτος 5/10 όταν οι τοίχοι καλύπτονται με βλάστηση (κάτω αριστερά), για όλα τα εξεταζόμενα κλίματα (Alexandri and Jones, 2008)

Οι Lin et al. (2008) διερεύνησαν την επίδραση των δένδρων, του γρασιδιού και των θάμνων στη θερμική άνεση στο επίπεδο των πεζών στο Πεκίνο, την πρωτεύουσα της Κίνας. Για τις ανάγκες της έρευνας ο δείκτης επιφάνειας φύλλων υπολογίστηκε ίδιος για όλα τα είδη βλάστησης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι ένα δένδρο δεν είναι πάντα αποτελεσματικό για τη θερμική άνεση στο επίπεδο των πεζών. Το γρασίδι μπορεί να μειώσει την θερμότητα που απελευθερώνεται από το έδαφος και να αποτρέψει υψηλότερες θερμοκρασίες στο δρόμο και το χώμα. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του αέρα και της τυπικής ενεργού θερμοκρασίας (SET) δεν ήταν υψηλότερες από αυτές που παρατηρήθηκαν στην περίπτωση των δένδρων. Επιπλέον, για την περίπτωση των θάμνων ή των δένδρων, δεδομένου ότι ο δείκτης επιφάνειας των φύλλων είναι ο ίδιος, η σκιασμένη περιοχή του εξωτερικού εδάφους θα είναι μικρότερη από εκείνη της περίπτωσης του γρασιδιού. Εάν όμως ληφθεί υπόψη η μέση τυπική ενεργός θερμοκρασία (SET) στο επίπεδο των πεζών η παρουσία δένδρων είναι πιο αποτελεσματική από το γρασίδι και τους θάμνους. Στον Πίνακα 8 και Πίνακα 9

παρουσιάζεται η μέση τιμή της τυπικής ενεργού θερμοκρασίας στο επίπεδο των πεζών για όλες τις περιπτώσεις μελέτης και για δύο διαφορετικές ώρες της ημέρας.

**Πίνακας 8:** Σύγκριση της τυπικής ενεργής θερμοκρασίας (SET) γύρω από τα φυτά στο επίπεδο των πεζών και ώρα 12:00 (Lin et al., 2008)

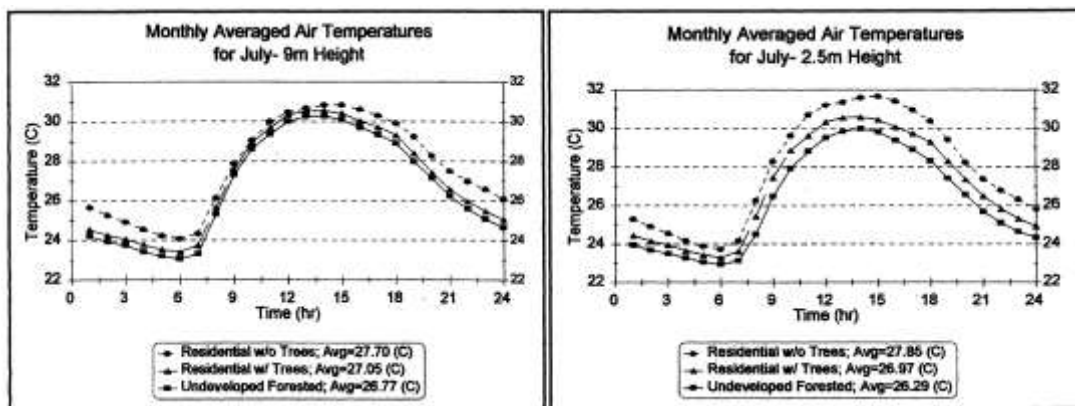
Direction	SET around the 1 <sup>st</sup> row building			SET around the 2 <sup>st</sup> row building		
	Grass case	Shrub case	Tree case	Grass case	Shrub case	Tree case
<b>E</b>	44.7	42.2	40.4	44.8	42.4	40.5
<b>S</b>	46.7	43.2	41.4	47.2	43.7	42.00
<b>W</b>	43.2	41.1	38.4	43.3	41.2	38.6
<b>N</b>	39.8	34.9	35.8	39.4	34.4	35.7
<b>Average</b>	43.6	40.4	39.0	43.7	40.4	39.2

**Πίνακας 9:** Σύγκριση της τυπικής ενεργής θερμοκρασίας (SET) γύρω από τα φυτά στο επίπεδο των πεζών και ώρα 15:00 (Lin et al., 2008)

Direction	SET around the 1 <sup>st</sup> row building			SET around the 2 <sup>st</sup> row building		
	Grass case	Shrub case	Tree case	Grass case	Shrub case	Tree case
<b>E</b>	31.7	31.5	30.9	35.3	34.8	33.4
<b>S</b>	34.8	33.6	32.3	50.1	47.6	42.1
<b>W</b>	37.1	36.1	33.9	51.4	49.6	42.2
<b>N</b>	33.4	32.9	31.9	48.2	46.1	39.8
<b>Average</b>	34.3	33.5	32.3	46.3	44.5	39.4

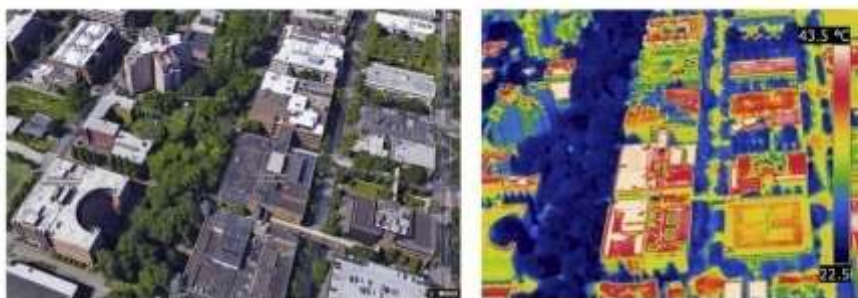
Οι Sonne και Vieira (2000) μελέτησαν και συνέκριναν τρεις διακεκριμένους χώρους γης στη Μελβούρνη της Φλόριντας. Ειδικότερα μελέτησαν: (1) μια φυσική δασική περιοχή έκτασης 19 εκταρίων, (2) μια ανεπτυγμένη κατοικημένη περιοχή στην οποία υπήρχαν πολύ λίγα δένδρα, με έκταση 37 εκτάρια και πυκνότητα κατοικιών 10.1 κατοικίες / εκτάριο και (3) μια αναπτυγμένη, κατοικημένη περιοχή με μέτρια ποσότητα φυσικής βλάστησης και σημαντικό αριθμό δένδρων (εκτεταμένες δενδροστοιχίες με ψηλά δένδρα), με έκταση 9 εκτάρια και πυκνότητα κατοικιών περίπου 4.6 κατοικίες / εκτάριο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η δασική περιοχή των 19 εκταρίων ήταν πιο δροσερή ( $0.7 \pm 0.4$  °C) τόσο κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ημερών όσο και κατά τις νύχτες, σε σχέση με την οικιστική περιοχή των 9 εκταρίων με πυκνότητα 4.6 κατοικίες / εκτάριο. Με τη σειρά της αυτή ήταν ψυχρότερη ( $0.9 \pm 0.4$  °C) από τη οικιστική περιοχή των 37 εκταρίων με πυκνότητα 10.1 κατοικίες / εκτάριο και με πολύ λίγα δένδρα. Στην Εικόνα 81 παρουσιάζονται τα

διαγράμματα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα για το μήνα Ιούλιο για τους εξεταζόμενους χώρους.



Εικόνα 81: Σύγκριση της 24-ώρης μέσης θερμοκρασίας αέρα κατά το μήνα Ιούλιο σε ύψη 2.5 m και 9.0 m και για τους τρεις εξεταζόμενους χώρους (Sonne and Vieira, 2000)

Ο Taleghani M. (2018) εξέτασε την επίδραση διαφόρων στρατηγικών στην ανθρώπινη θερμική άνεση στους ανοικτούς χώρους. Συγκεκριμένα, η ανασκόπηση εστιάστηκε στη βλάστηση (με τη μορφή πάρκων, δέντρων, πράσινων στεγών και πράσινων τοίχων) και σε ιδιαίτερα ανακλαστικά υλικά (σε οροφή και σε επίπεδο εδάφους) ως πιο κοινές στρατηγικές για τη βελτίωση των θερμικών συνθηκών στις πόλεις. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μέγεθος της Αστικής Θερμικής Νησίδας ποικίλει ανάλογα που το κλίμα που επικρατεί σε κάθε περιοχή. Από τη μελέτη παραδειγμάτων από διάφορες χώρες και διάφορα κλίματα αποδείχθηκε ότι οι αστικές επιφάνειες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη θερμική άνεση των πεζών. Οι επιφάνειες βλάστησης και επιφάνειες με ψηλό albedo έδειξαν αισθητή μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στους αστικούς ανοικτούς χώρους. Ωστόσο, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας επηρεάζει την ανθρώπινη θερμική άνεση περισσότερο από τις άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές. Ως εκ τούτου, η χρήση υλικών με ψηλό albedo στην επιφάνεια του εδάφους προκαλεί εκ νέου ακτινοβολία της ηλιακής ακτινοβολίας στους πεζούς και οδηγεί σε θερμική δυσφορία (παρά τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα). Στην Εικόνα 82 φαίνεται η θερμοκρασία επιφάνειας ενός πάρκου σε σύγκριση με το γύρω δομημένο περιβάλλον. Έτσι, η εργασία αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η χρήση της βλάστησης σε αστικούς ανοικτούς χώρους είναι η καλύτερη επιλογή για τη βελτίωση της θερμικής άνεσης σε επίπεδο πεζών.



**Εικόνα 82:** Η θερμοκρασία επιφάνειας ενός πάρκου σε σύγκριση με το γύρω δομημένο περιβάλλον στο Πανεπιστήμιο του Πόρτλαντ (Taleghani, 2018)

Οι Norton et al. (2015) πραγματοποίησαν μια επισκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας, η οποία εξετάζει τις σχέσεις μεταξύ της αστικής γεωμετρίας, των αστικών πράσινων υποδομών και του μετριασμού της θερμοκρασίας για να αναπτυχθούν κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή των αστικών πράσινων υποδομών που θα μεγιστοποιήσουν τη μείωση της θερμοκρασίας στο αστικό περιβάλλον. Ειδικότερα κατέληξαν στα εξής:

1. Οι δενδροστοιχίες αποτελούν τη βέλτιστη λύση για τη σκίαση επιφανειών σε φαράγγια και πεζοδρόμια και παρέχουν ψύξη μέσω της εξατμισοδιαπνοής.
2. Η ποσότητα της σκιάς που παρέχεται από τα δένδρα εξαρτάται από τη μορφή τους και την πυκνότητα της κόμης τους.
3. Πυκνά δένδρα παρέχουν καλύτερη σκιά και συνεπώς τα πλατύφυλλα είναι πιο αποτελεσματικά από αυτά με βελόνες.
4. Δένδρα που παρέχουν μεγαλύτερη σκιά κατά τη διάρκεια των ζεστών καλοκαιρινών ημερών, παγιδεύουν κάτω από την κόμη τους θερμότητα κατά τη νύχτα. Για να ελαχιστοποιηθεί αυτή η παγίδευση, τα δέντρα δεν θα πρέπει να σχηματίζουν συνεχή θόλο, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τον αερισμό και τη διαφυγή της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος.
5. Οι ανοικτοί πράσινοι χώροι μπορούν να δροσίσουν πιο αποτελεσματικά τις αστικές περιοχές όταν τα δένδρα είναι διατεταγμένα διάσπαρτα και αρδεύονται. Επίσης η δημιουργία πολλών μικρών κατανεμημένων ανοιχτών πράσινων χώρων θα μπορούσε να ωφελήσει μεγαλύτερο αριθμό γειτονιών και είναι καλύτερο πράσινες προσόψεις μπορούν να παρέχουν ψύξη μέσω της εξατμισοδιαπνοής, είναι ιδιαίτερα επωφελείς να είναι τοποθετημένοι στις ιδιαίτερα θερμές περιοχές.



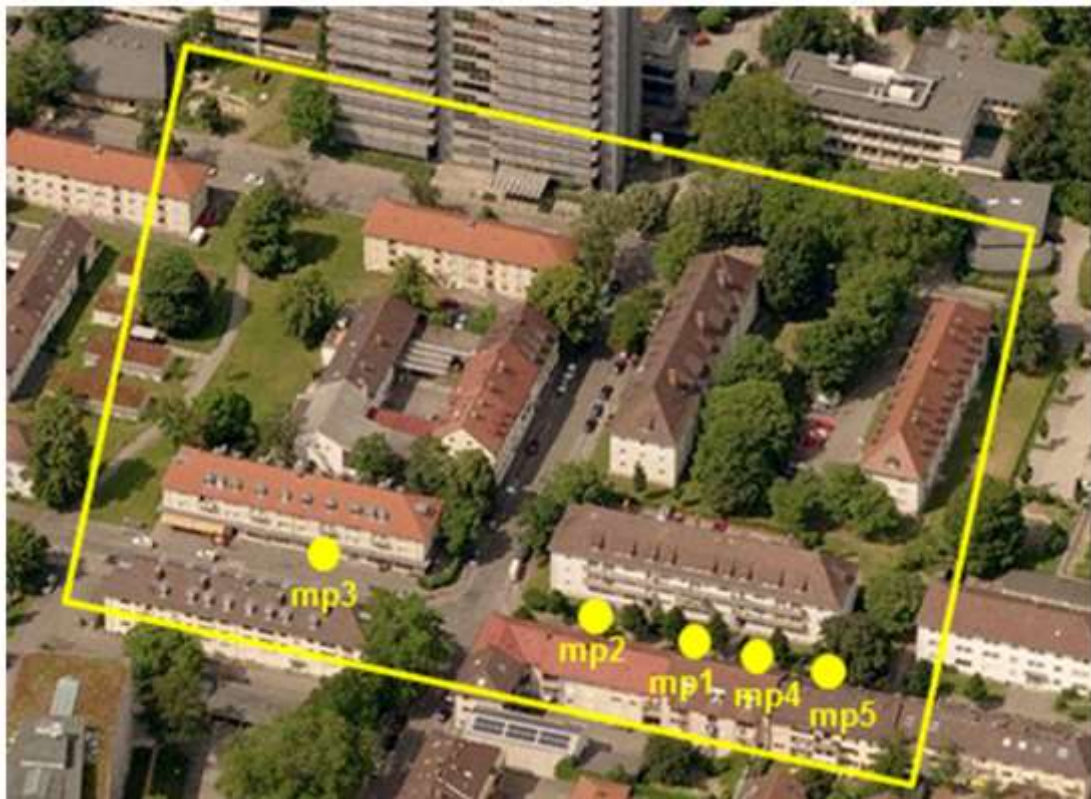
6. Οι πράσινες προσόψεις μπορούν να παρέχουν ψύξη μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Είναι ιδιαίτερα επωφελείς για τοίχους με υψηλή ηλιακή έκθεση και όπου ο χώρος στο επίπεδο του εδάφους είναι περιορισμένος ή όπου τα εναέρια εμπόδια περιορίζουν την ανάπτυξη των δέντρων. Για να επωφεληθούν οι πεζοί θα πρέπει να εγκατασταθούν δίπλα σε διαδρόμους.
7. Η κάλυψη των οροφών των κτιρίων με πράσινο μπορεί να μετριάσει σημαντικά τις θερμοκρασίες των αστικών επιφανειών και συνεπώς να μειώσει τις απαιτήσεις ψύξης μέσα στα κτίρια. Επίσης μπορούν να παρέχουν μείωση της θερμοκρασίας σε κλίμακα γειτονιάς, εάν καλύπτουν μια μεγάλη περιοχή. Όμως για να είναι αποτελεσματικές πρέπει να αρδεύονται και να διατηρούν έναν υψηλό δείκτη επιφάνειας φύλλων. Η επίδραση τους στο επίπεδο του δρόμου είναι χαμηλή. Προτείνεται η προσθήκη τους σε μεγάλα χαμηλά κτίρια ή σε περιοχές με μικρό ανοιχτό πράσινο χώρο στο έδαφος.

Στον Πίνακα 10 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τρόποι ψύξης που παρέχονται από διαφορετικές αστικές πράσινες υποδομές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, καθώς και οι τοποθεσίες προτεραιότητας τους για τη βελτιστοποίηση των οφελών ψύξης. Αυτό το πλαίσιο μπορεί να εφαρμοστεί σε πόλεις με κλασσικό μεσογειακό κλίμα και εκείνες που βιώνουν εκτεταμένες καλοκαιρινές περιόδους θερμών και ξηρών συνθηκών.

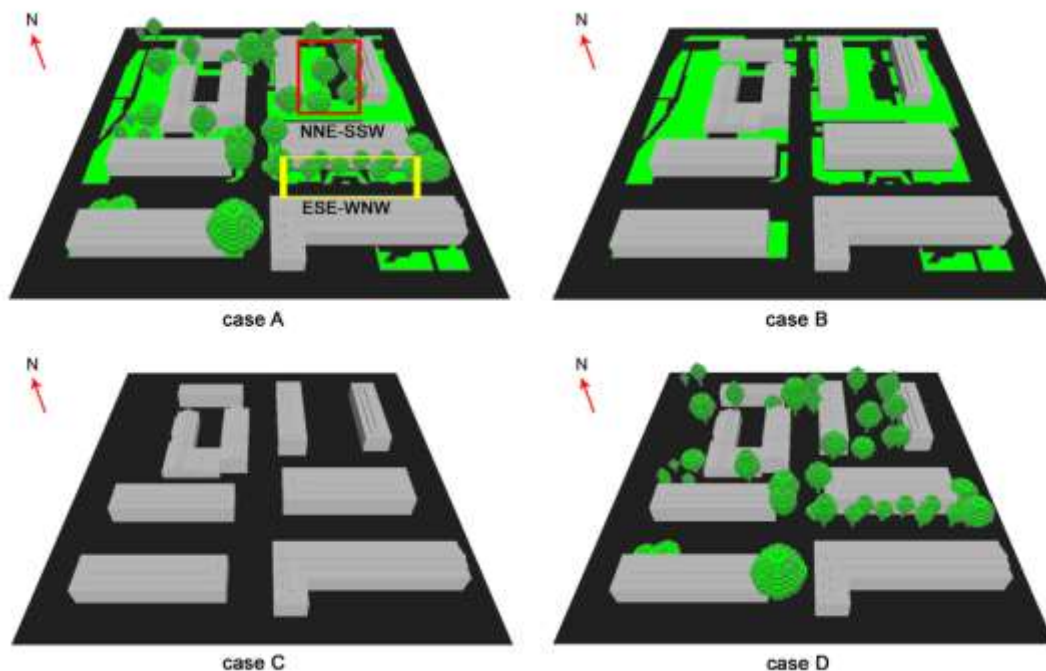
**Πίνακας 10:** Τρόποι ψύξης που παρέχονται από διαφορετικές αστικές υποδομές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και οι τοποθεσίες προτεραιότητας τους για τη βελτιστοποίηση των οφελών ψύξης (Norton et al., 2015)

UGI	Green open spaces	Trees	Green roofs	Vertical greening
Shades canyon surfaces?	Yes, if grass rather than concrete	Yes	Shades roof, not internal canyon surfaces	Yes
Shades people?	Yes, if treed	Yes	No, only very intensive green roofs	No
Increases solar reflectivity?	Yes, when grassed	Yes	Yes, if plants healthy	Yes
Evapo-transpirative cooling?	Yes, with water No, without water	Yes (unless severe drought)	Yes, with water when hot No, without water	Yes, with water when hot No, without water
Priority locations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wide streets with low buildings – both sides</li> <li>• Wide streets with tall buildings – sunny side</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wide streets, low buildings – both sides</li> <li>• Wide streets, tall buildings – sunny side</li> <li>• In green open spaces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sun exposed roofs</li> <li>• Poor insulated buildings</li> <li>• Low, large buildings</li> <li>• Dense areas with little available ground space</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canyon walls with direct sunlight</li> <li>• Narrow or wide canyons where trees are unviable</li> </ul>

Οι Lee et al. (2016) χρησιμοποιώντας το μοντέλο ENVI – met προσομοίωσαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια με διαφορετικούς τύπους πράσινης κάλυψης, δένδρα και γρασίδι, για μια περιοχή στο Freiburg της Γερμανίας (Εικόνα 83 και Εικόνα 84).



Εικόνα 83: Περιοχή προσομοίωσης (κίτρινο περίγραμμα) και των βιομετεωρολογικών σταθμών (mp1 έως mp5) (Lee et al., 2016)

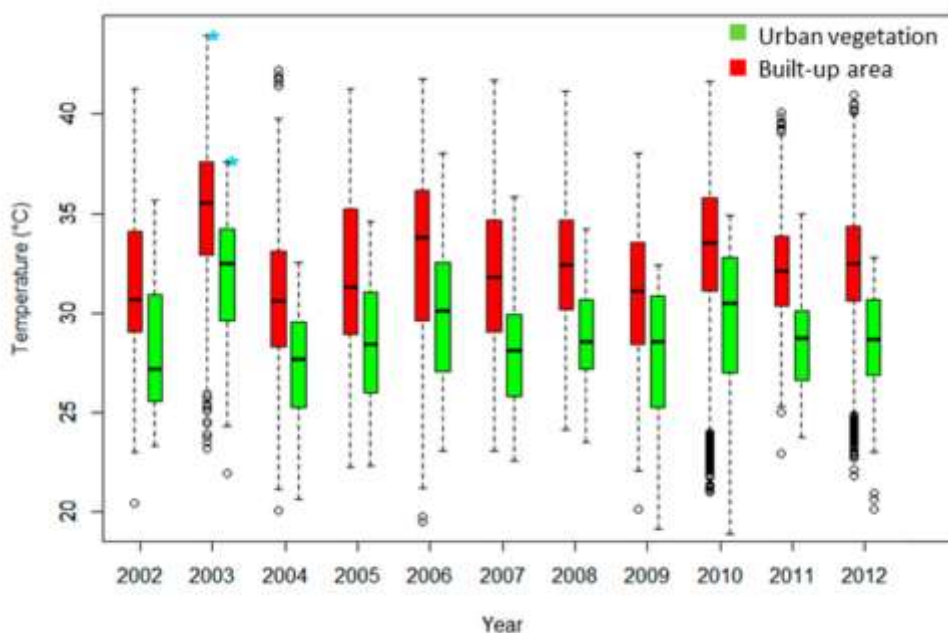


Εικόνα 84: Εξεταζόμενα σενάρια – Α: υφιστάμενη κατάσταση, Β: μόνο γρασίδι, C: χωρίς πράσινο, D: μόνο δένδρα (Lee et al., 2016)

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση δένδρων οδήγησε σε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα ( $T_a$ ) έως και 2.7 K, 39.1 K για τη μέση θερμοκρασία

ακτινοβολία ( $T_{mrt}$ ) και 17.4 K για τη φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (PET). Αντίστοιχα η χρήση γρασιδιού οδήγησε σε μείωση της θερμοκρασίας αέρα ( $T_a$ ) έως και 3.4 K, 7.5 για τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολία ( $T_{mrt}$ ) και 4.9 K για τη φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (PET). Η επίδραση των δένδρων τη νύχτα είναι αρνητική για το  $T_{mrt}$ . Αυτό οφείλεται στην ακτινοβολία που παγιδεύεται κάτω από την κόμη των δένδρων. Σε αντίθεση με την περίπτωση της ημέρας, η ψυκτική επίδραση του γρασιδιού τη νύχτα είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη των δένδρων, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες μειώσεις στα  $T_a$ ,  $T_{mrt}$  και PET. Οι μελετητές καταλήγουν ότι ο μετριασμός του ανθρώπινου θερμικού στρες είναι πιο αποτελεσματικός με τη χρήση δένδρων σε σύγκριση με τη χρήση γρασιδιού. Στην πράξη όμως, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες επηρεασμού κατά την εφαρμογή πράσινων σχεδίων, όπως η θέση των δένδρων, η διάσταση των δέντρων, η γεωμετρία και ο προσανατολισμός των δρόμων, η θέση του ηλίου, καθώς και οι απόψεις των πολιτών.

Οι Alavipanah et al. (2015) εκτίμησαν την ψυκτική επίδραση ποικίλης αστικής βλάστησης, ειδικά σε ακραίες θερμικές καταστάσεις. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν υπολογίστηκε η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας επιφάνειας γης (Land Surface Temperature - LST) και της έκτασης της γης (Land Use / Land Cover) για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο από το 2002 έως και το 2012. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι (i) η ψυκτική επίδραση που προήλθε από την αστική βλάστηση τείνει να είναι μη γραμμική. και (ii) εντοπίστηκε αξιοσημείωτη και ισχυρότερη ψυκτική επίδραση σε σχέση με την θερμοκρασία επιφάνειας γης (LST) σε περιοχές όπου η αναλογία βλάστησης ήταν μεταξύ εβδομήντα και σχεδόν ογδόντα τοις εκατό ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία επιφάνειας γης (LST) στην αστική βλάστηση επηρεάστηκε από τη θερμοκρασία της γύρω περιοχής και ότι κατά τη διάρκεια του γνωστού Ευρωπαϊκού καύσωνα του 2003, οι περιοχές των προαστίων ήταν πιο ψυχρές από τον πυρήνα της αστικοποιημένης περιοχής (Εικόνα 85).

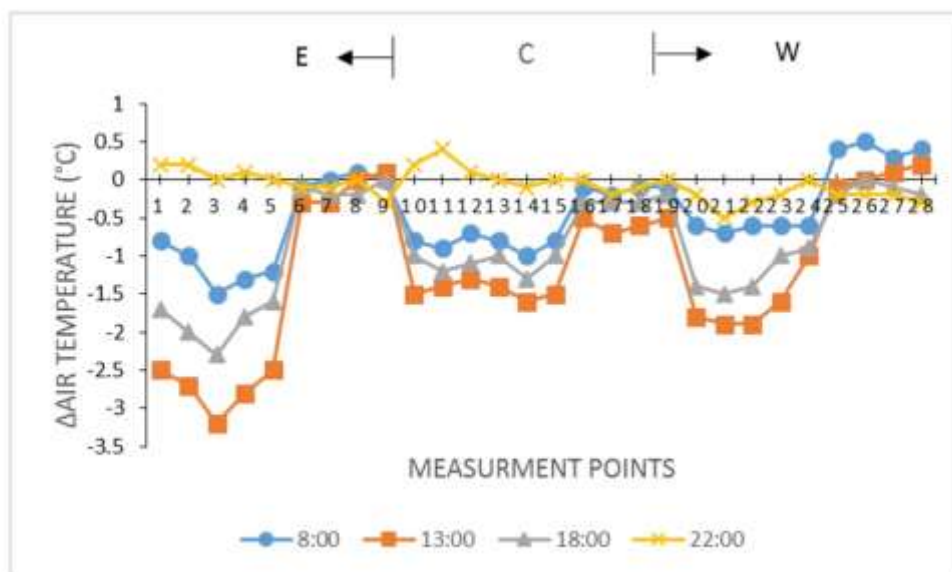


Εικόνα 85: Απεικόνιση της θερμοκρασίας επιφάνειας γης (LST) για τις πράσινες περιοχές και το δομημένο αστικό περιβάλλον για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο κάθε χρόνου (Alavipanah et al., 2015).

Οι Ahmadi Venhari et al. (2019) μελέτησαν την επίδραση της παρουσίας του πράσινου στους δρόμους ως στρατηγική για τη μείωση της θερμικής καταπόνησης και της βελτίωσης της θερμικής άνεσης στους εξωτερικούς χώρους στο Isfahan του Ιράν. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η επίδραση που έχουν τα δένδρα, το γρασίδι και οι θάμνοι. Για τις ανάγκες της έρευνας ένα δρόμος χωρίστηκε σε δύο μέρη. Και τα δύο μέρη είχαν τρεις γραμμές με πράσινο, αλλά το πρώτο μέρος είναι με δένδρα σκίασης και το δεύτερο μέρος είναι με γρασίδι και στις δύο πλευρές και γρασίδι και θάμνους στη μέση. Η Εικόνα 86 παρουσιάζει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα σε σύγκριση με ένα δρόμο χωρίς πράσινο για 28 σημεία μέτρησης κατά μήκος του δρόμου. Το σχήμα δείχνει ότι η ψυκτική επίδραση του πρώτου μέρους, ειδικά κατά τη διάρκεια του μεσημεριού είναι μεγαλύτερη από το δεύτερο μέρος. Τα σημεία E, W και C αντιπροσωπεύουν την ανατολή, τη δύση και του κέντρο του δρόμου αντίστοιχα. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι το μέγιστο αποτέλεσμα ψύξης προκαλείται από τη σκιά των δένδρων. Η σκιά που δημιουργείται από τις κόμες των δένδρων είναι οι πιο αποτελεσματικές μορφές πράσινου για τη μείωση του δείκτη προβολής στον ουρανό (SVF) και κατά συνέπεια της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET). Επίσης διαπιστώθηκε ότι στους δρόμους με προσανατολισμό ανατολή – δύση, μια



σειρά δένδρων στο κέντρο αυτού είναι πολύ αποτελεσματική για τη βελτίωση της θερμικής άνεσης των πεζών.



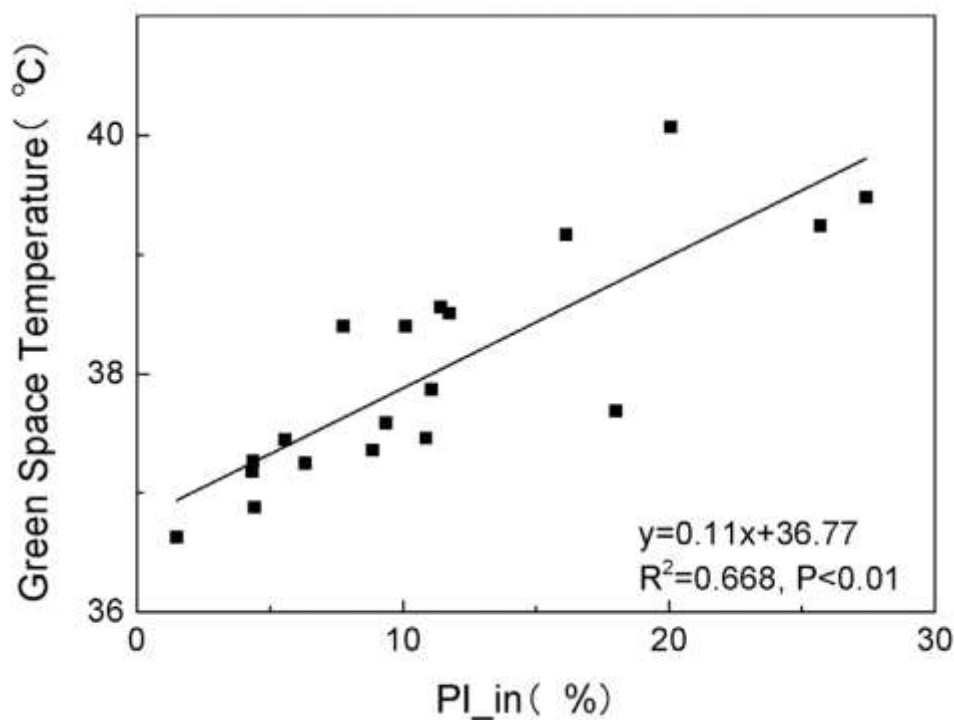
Εικόνα 86: Η ψυκτική επίδραση του αστικού πράσινου στο κέντρο και στις δύο πλευρές του δρόμου (Ahmadi Venhari et al., 2019)

Οι Sun και Chen (2017) ερεύνησαν τη δυναμική του πράσινου χώρου και της θερμοκρασίας επιφάνειας γης (LST) στο Πεκίνο. Για τις ανάγκες της έρευνας μελετήθηκαν πέντε τύποι τοπίου: αδιαπέραστη γη, έκταση με δένδρα, έκταση με γρασίδι, επιφάνειες με νερό και γυμνή γη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει προφανής μετριασμός της θερμοκρασίας από τη μετατροπή της αδιαπέραστης γης σε χώρους πρασίνου. Επίσης έδειξαν ότι ο αριθμός των χώρων του πρασίνου δεν είναι το μόνο κριτήριο που θα πρέπει να αξιολογηθεί για την άμβλυνση της θερμοκρασίας. Οι μελετητές καταλήγουν ότι η μεγαλύτερη εστίαση στην προστασία των φυσικών δασών στις πόλεις μπορεί να αποφέρει μεγαλύτερα οφέλη για το μετριασμό του κλίματος.

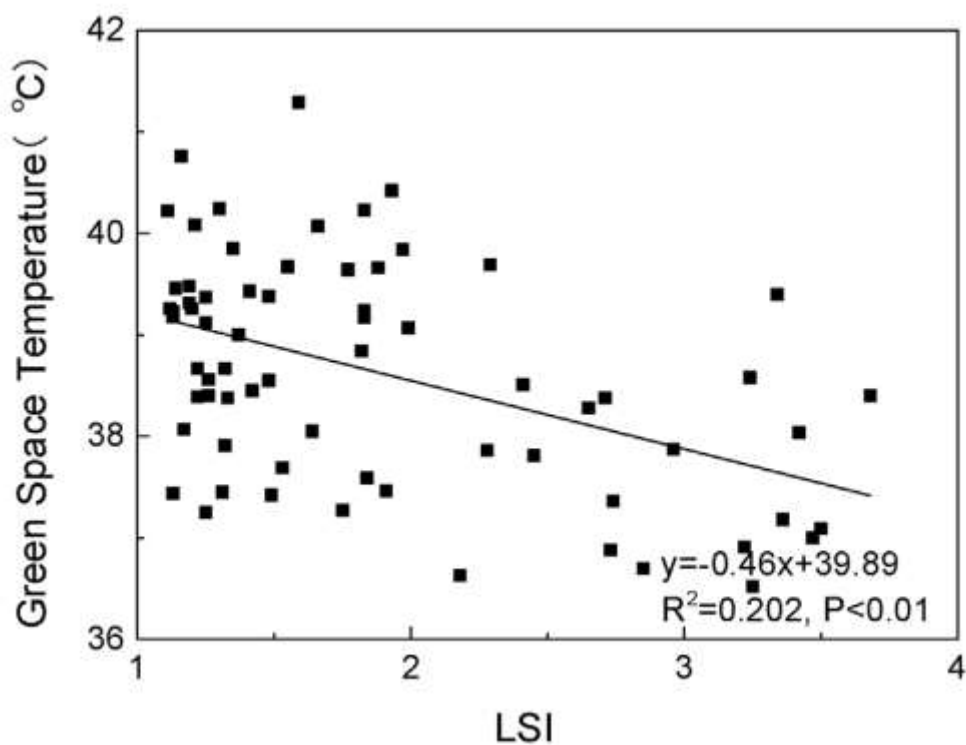
Οι Du et al. (2017) μελέτησαν τις θερμοκρασίες επιφάνειας γης (LST) για διαφορετικούς τύπους κάλυψης γης κατά μήκος ενός περιφερειακού οδικού άξονα στη Σαγκάη της Κίνας. Μελετήθηκαν 68 τύποι κάλυψης γης, οι οποίοι περιελάμβαναν: πράσινες περιοχές (κάλυψη κυρίως με δένδρα και θάμνους), περιοχές με γρασίδι, αδιαπέραστες επιφάνειες (οικιστικό και εμπορικό κέντρο, βιομηχανικές ζώνες, συγκοινωνίες και δρόμοι) και επιφάνειες με νερό (ποτάμια και λίμνες). Το



φαινόμενο της ψυκτικής επίδρασης περιλαμβάνει τρεις πτυχές: το εύρος της ψυκτικής επίδρασης (GR), δηλαδή η απόσταση μεταξύ του πρώτου σημείου καμπής της καμπύλης θερμοκρασίας και της ακμής του πράσινου χώρου, σε km, το πλάτος της πτώσης της θερμοκρασίας (TA), δηλαδή η πτώση της θερμοκρασίας επιφάνειας γης (LST) μεταξύ του σημείου καμπής και του χώρου του πράσινου χώρου, σε °C και η διαβάθμιση θερμοκρασίας (TG), δηλαδή η κλίση (πτώση θερμοκρασίας με την απόσταση μονάδας) του περιβάλλοντος της LST, σε °C / km. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει μια σημαντική ψυκτική επίδραση των πράσινων χώρων. Ο μέσος όρος GR, TA και TG των 68 χώρων πράσινου ήταν 0.57 km, 2.63 °C και 5.86 °C / km αντίστοιχα. Επίσης διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ένα άνω όριο της τάξεως των 40 εκταρίων της πράσινης περιοχής για τη μείωση της LST. Υπάρχει θετική σχέση μεταξύ της LST μέσα στους πράσινους χώρους και του δείκτη των αδιαπέραστων επιφανειών μέσα σε αυτούς (Εικόνα 87). Σημαντική αρνητική συσχέτιση διαπιστώθηκε μεταξύ της LST των χώρων πράσινου και του σχήματος αυτών (LSI) (Εικόνα 88). Συνεπώς, οι αποδοτικές μέθοδοι για τη μείωση της LST των χώρων πράσινου περιλαμβάνουν τη διεύρυνση της GSA εντός του παραπάνω αναφερόμενου ορίου, την πολυπλοκότητα του σχήματος και του περιγράμματος του πράσινου χώρου. Επιπλέον η ψυκτική επίδραση των πράσινων χώρων εξαρτάται από τον ίδιο τον πράσινο χώρο και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Διαπιστώθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ της πράσινης περιοχής και του ποσοστού βλάστησης, της LST και του εύρους της ψυκτικής επίδρασης και αρνητική συσχέτιση μεταξύ του εύρους της ψυκτικής επίδρασης και των αδιαπέραστων επιφανειών. Ως εκ τούτου, η αύξηση της βλάστησης και των υδάτινων κλασμάτων ή η μείωση των αδιαπέραστων επιφανειών θα συμβάλουν στην ενίσχυση των αποτελεσμάτων της έντασης της ψυκτικής επίδρασης.



Εικόνα 87: Σχέση μεταξύ ποσοστού αδιαπέραστων επιφανειών εντός (PI\_in) του πράσινου χώρου και της LST. (Du et al., 2017)



Εικόνα 88: Σχέση μεταξύ του σχήματος (LSI) του πράσινου χώρου και της LST (Du et al., 2017)

Οι Yu et al. (2017) πραγματοποίησαν χαρτογραφήσεις σε πέντε τύπους κάλυψης γης: οικιστικές περιοχές (οικιστικές, εμπορικές, βιομηχανικές, οδικές και άλλες υποδομές)

δασικές εκτάσεις (δέντρα και θάμνοι) εκτάσεις με γρασίδι, υδάτινες εκτάσεις και άλλους τύπους κάλυψης της γης, όπως η γυμνή γη στο Fuzhou της Κίνας. Στην εν λόγω μελέτη ορίζεται η έκταση, η ένταση και η αποτελεσματικότητα της ψυκτικής επίδρασης καθώς και η κατώτατη τιμή απόδοσης (TVoE). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι: (1) μεγαλύτεροι πράσινοι χώροι δημιουργούν υψηλότερο αποτέλεσμα ψύξης, με κατώτερη τιμή απόδοσης αυτή των 4.55 ha, (2) οι κυκλικοί και τετράγωνοι χώροι πράσινου παρουσιάζουν σημαντική συσχέτιση της θερμοκρασία επιφάνειας γης (LST) και παρουσιάζουν την υψηλότερη ένταση και απόδοση της ψυκτικής επίδρασης, (3) το 92 % της μέγιστης έντασης των πράσινων χώρων είναι εντός του ορίου 30 – 180 m, με τη μέση έκταση της ψυκτικής επίδρασης και της έντασης των πράσινων χώρων να είναι 104 m και 1.78 °C αντίστοιχα, (4) Οι πράσινες περιοχές που συνδέονται με υδάτινα στοιχεία εντείνουν την ψυκτική επίδραση, ενώ οι χώροι πράσινου με βάση το γρασίδι παρουσιάζουν τα ασθενέστερα αποτελέσματα στην ψυκτική επίδραση.

Οι Chen et al. (2014) εστίασαν στις επιπτώσεις των χωρικών διατάξεων των αστικών πράσινων επιφανειών στη δική τους επιφάνεια αστικής ψυκτικής νησίδας (Urban Cool Island – UCI) στο Πεκίνο. Οι αστικές περιοχές που μελετήθηκαν ταξινομήθηκαν ως δένδρα, θάμνοι, γρασίδι, καλλιέργειες, ποταμός και λίμνη. Η αστική ψυκτική νησίδα προσδιορίζεται από την ελάχιστη θερμοκρασία επιφάνειας γης (LST) κάθε αστικής πράσινης έκτασης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα χωρικά πρότυπα των αστικών πράσινων εκτάσεων είχαν σημαντικές επιπτώσεις στην UGI και τις τέσσερις εποχές. Ειδικότερα, το μέγεθος, το όριο και η συνδεσιμότητα των αστικών χώρων πράσινου επηρέασαν αρνητικά την UGI και η επιρροή αυτή ήταν ισχυρότερη τις ζεστές εποχές. Επίσης η μορφή του αστικού πράσινου χώρου έχει επιπτώσεις στην UGI, αλλά οι επιπτώσεις είναι πιο έντονες σε δροσερές εποχές. Οι μελετητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός συγκεκριμένων αστικών πράσινων τύπων καθώς και στοιχεία όπως το μέγεθος της έκτασης, το σχήμα, τα όρια και η συνδεσιμότητα έχουν ψυκτικές επιδράσεις.

Οι Chatzidimitriou και Yannas (2015) μέτρησαν τις θερμοκρασίες επιφάνειας και περιβάλλοντος, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου σε έξι ανοικτούς αστικούς χώρους (πάρκα, τετράγωνα και αυλές) με διάφορα υλικά εδάφους, ιδίως

άσφαλτο, σκυρόδεμα, μάρμαρο, γρανίτη, πορώδη πέτρα, λιθόστρωτα, κεραμικά πλακάκια, και νερό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για να εκτιμήσουν την επίδραση των υλικών αυτών, της βλάστησης, του νερού, και των κτιρίων στις μικροκλιματικές συνθήκες και στη θερμική άνεση των πεζών στη Θεσσαλονίκη (Εικόνα 89).



Εικόνα 89: Τα υλικά επιφάνειας που εξετάστηκαν (Chatzidimitriou and Yannas, 2015)

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι:

1. Από την άποψη της άνεσης των πεζών, η επίτευξη χαμηλότερων επιφανειακών θερμοκρασιών με τη χρήση ανακλαστικών υλικών δεν αντισταθμίζει τις υψηλότερες ποσότητες αντανάκλασης της ακτινοβολίας που απελευθερώνεται στο αστικό περιβάλλον και επηρεάζει άμεσα την άνεση των πεζών. Συνεπώς, τα πεζοδρόμια με υψηλό albedo όπως ανοιχτόχρωμα ή "δροσερά" υλικά, παρά τις επιφάνειες ψύξης τους, μπορούν στην πραγματικότητα να αυξήσουν τους θερμικούς δείκτες και να θέσουν σε κίνδυνο την εξωτερική θερμική άνεση.
2. Τα σκουρόχρωμα οδοστρώματα από υλικά με υψηλή θερμική ικανότητα παρουσίαζαν σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας και ελαφρώς χαμηλότερη θερμοκρασία σφαίρας από ό, τι παρόμοια σκοτεινά υλικά με χαμηλότερη θερμική ισχύ. Ορισμένες μετρήσεις έδειξαν επίσης ενδείξεις της επίδρασης του πορώδους υλικού στη μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών.
3. Τα δέντρα είχαν τη μεγαλύτερη επίδραση στις θερμοκρασίες επιφάνειας, σφαίρας και αέρα σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη παράμετρο. Η επίδραση του γρασιδιού και της χαμηλής βλάστησης ήταν μικρότερη από αυτή των δένδρων και φαίνεται ότι εξαρτάται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους. Συγκεκριμένα, οι εκτεθειμένες επιφάνειες γρασιδιού ήταν σημαντικά πιο ψυχρές από ότι τα σκληρά πεζοδρόμια και οι

θερμοκρασίες σφαίρας πάνω από αυτές ήταν χαμηλότερες. Οι σκιασμένες επιφάνειες (γρασίδι και σκληρά πεζοδρόμια) ήταν πολύ πιο ψυχρές από τις αντίστοιχες εκτεθειμένες επιφάνειες και οι θερμοκρασίες σφαίρας πάνω από αυτές ήταν χαμηλότερες. Τέλος, οι επιφάνειες γρασιδιού στη σκιά των δέντρων παρουσίαζαν σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας καθώς και χαμηλότερες θερμοκρασίες σφαιρών σε σχέση με τα εκτεθειμένα σκληρά πεζοδρόμια, ενώ η θερμοκρασία του αέρα πάνω από αυτά ήταν χαμηλότερη κατά περίπου 2 °C. Η μεγάλη επίδραση της βλάστησης αποδίδεται στη σκίαση και την εξατμισοδιαπνοή, καθώς και στο δυναμικό εξάτμισης του θερμικού δυναμικού και της υγρασίας του εδάφους (Πίνακας 11).

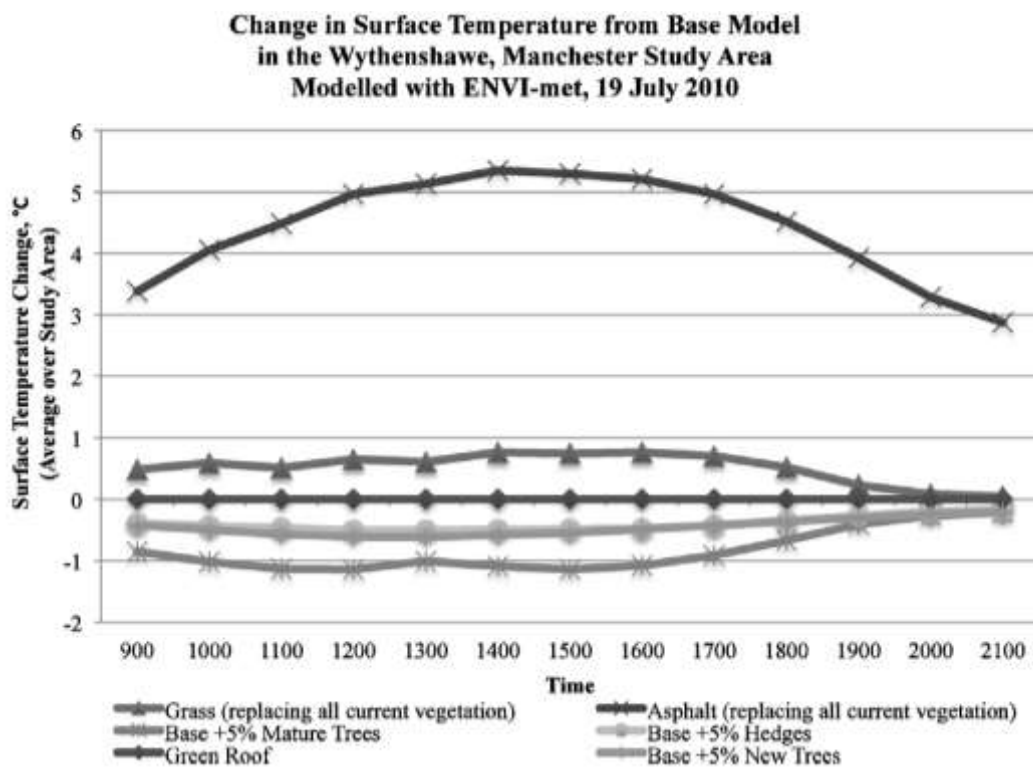
**Πίνακας 11:** Υπολογισμένες τιμές  $T_{mrt}$ , PMV, και PET σε τέσσερις θέσεις, το απόγευμα (16:00) (Chatzidimitriou and Yannas, 2015)

Site	Material	$T_{mrt}$ (°C)	PMV	PET (°C)
Site A 29-07-07	Marble black (and white)	42.1	2.6	34.8
	Marble white (and black)	43.6	2.9	36.1
	Granite cobble stone grey	42.0	2.7	35.1
	Grass (in shade)	30.8	1.5	29.2
Site B 27-07-07	Concrete tiles	40.8	3.0	36.1
	Grass	41.3	3.1	36.3
	Concrete tiles (in shade)	34.8	2.6	33.7
	Grass (in shade)	25.5	1.4	28.0
Site C 01-08-07	Asphalt	43.3	2.5	33.6
	Marble dark grey	40.8	2.2	32.1
	Grass	39.5	2.1	31.7
	Water	39.3	2.3	32.2
Site F 24-07-07	Asphalt	41.7	5.0	43.4
	Marble white and grey	42.1	5.1	43.8
Site F 03-08-07	Asphalt	38.8	2.3	33.4
	Marble white and grey	41.8	2.6	35.2

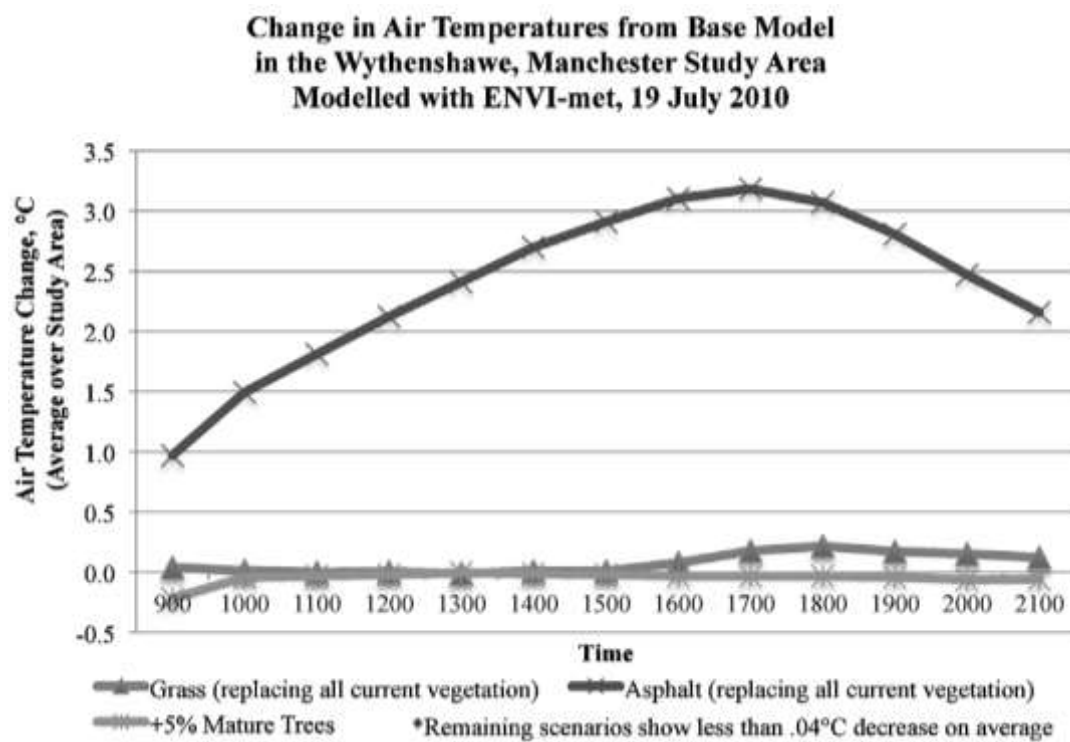
Οι Skelhorn et al. (2014) εξέτασαν τις επιπτώσεις επτά διαφορετικών σεναρίων πράσινων χώρων στις θερμοκρασίες αέρα και επιφάνειας σε μια προαστιακή περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου, το Manchester. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι ακόμη και για μια προαστιακή περιοχή που περιλαμβάνει γραφεία, καταστήματα και κατοικίες με μεσαία κάλυψη δένδρων, η προσθήκη 5 % ώριμων δένδρων είναι δυνατόν να αποφέρει μείωση της θερμοκρασίας επιφάνειας κατά 1 °C. Επίσης η προσθήκη φυτικών φραχτών σε ποσοστό 5 % ή νέων δένδρων είναι δυνατόν να οδηγήσει σε μείωση της θερμοκρασίας επιφάνειας κατά 0.5 °C (Εικόνα 90). Όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα διάφορα σενάρια που εξετάστηκαν είχαν πολύ μικρή επίδραση σε αυτή (Εικόνα 91). Από την άλλη πλευρά διαπιστώθηκε ότι στην ακραία περίπτωση που όλος ο χώρος (20 % της



περιοχής μελέτης) αντικατασταθεί με ασφάλτο η θερμοκρασία επιφάνειας θα αυξηθεί κατά 4.7 °C και η θερμοκρασία του αέρα κατά 3.2 °C. Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του αέρα αποδίδονται στην συνδυασμένη επίδραση της σκίασης και της εξατμισοδιαπνοής.



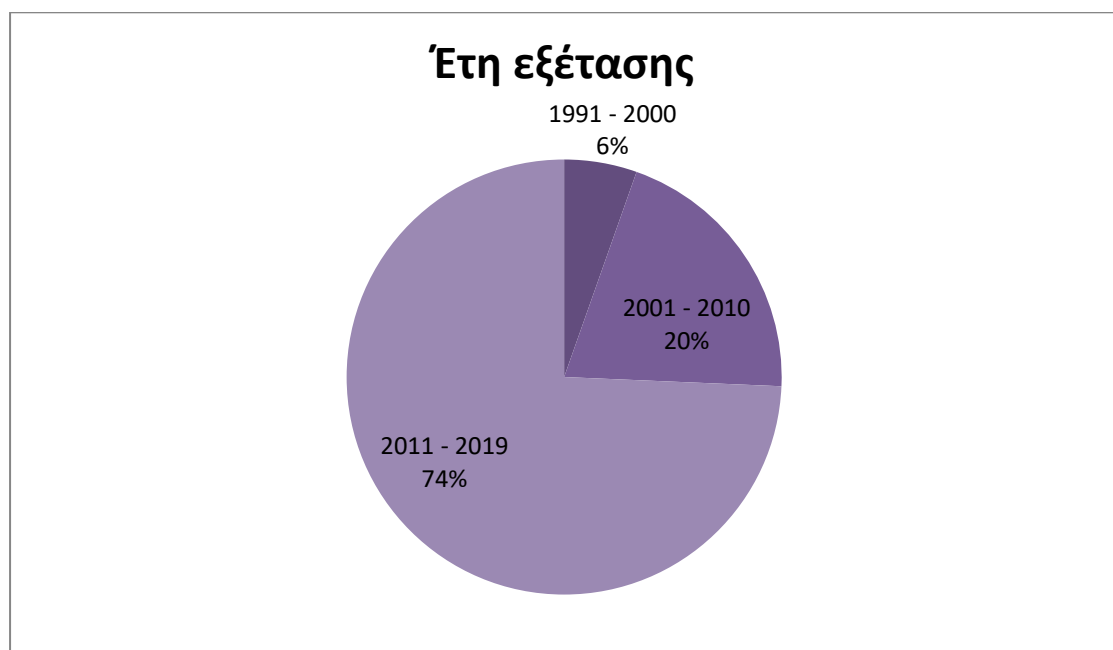
Εικόνα 90: Διαφορές στη θερμοκρασία επιφάνειας για τα διαφορετικά σενάρια μελέτης (Skelhorn et al., 2014)



Εικόνα 91: Διαφορές στη θερμοκρασία του αέρα για τα διάφορα σενάρια μελέτης (Skelhorn et al., 2014)

## 5. Στατιστική ανάλυση της βιβλιογραφίας

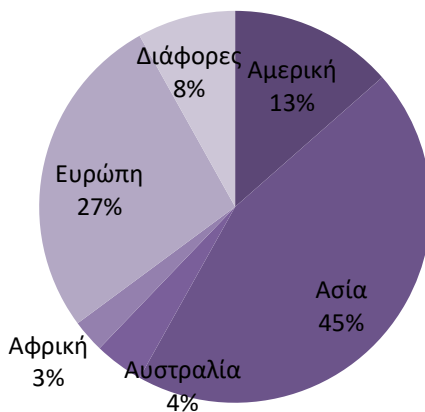
Στην παρούσα εργασία μετά από επιλογή από 300 περίπου δημοσιεύσεις μελετήθηκαν και αναλύθηκαν εκτενώς συνολικά 148 δημοσιεύσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία (περιοδικά με κριτές), οι οποίες χρονικά κάλυπταν τη χρονική περίοδο από το 1991 έως το 2019. Από το Διάγραμμα 1 διαπιστώνουμε ότι η μελέτη επικεντρώθηκε σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο την τελευταία δεκαετία (2011 έως 2019).



**Διάγραμμα 1:** Στατιστική ανάλυση των ετών που κάλυψαν οι προς μελέτη δημοσιεύσεις.

Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των δημοσιεύσεων. Το μεγαλύτερο μέρος των δημοσιεύσεων αφορούν περιοχές της Ασίας και ακολουθούν αυτές της Ευρώπης και της Αμερικής. Αυτό δείχνει το αυξημένο ενδιαφέρον για τα θέματα αυτά στις περιοχές του ήδη αναπτυγμένου κόσμου όπου ο πληθυσμός έχει υψηλά εισοδήματα αλλά και στις περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένο δυναμικό ανάπτυξης και αναζητούν αποτελεσματικές και βιώσιμες λύσεις (Ασία).

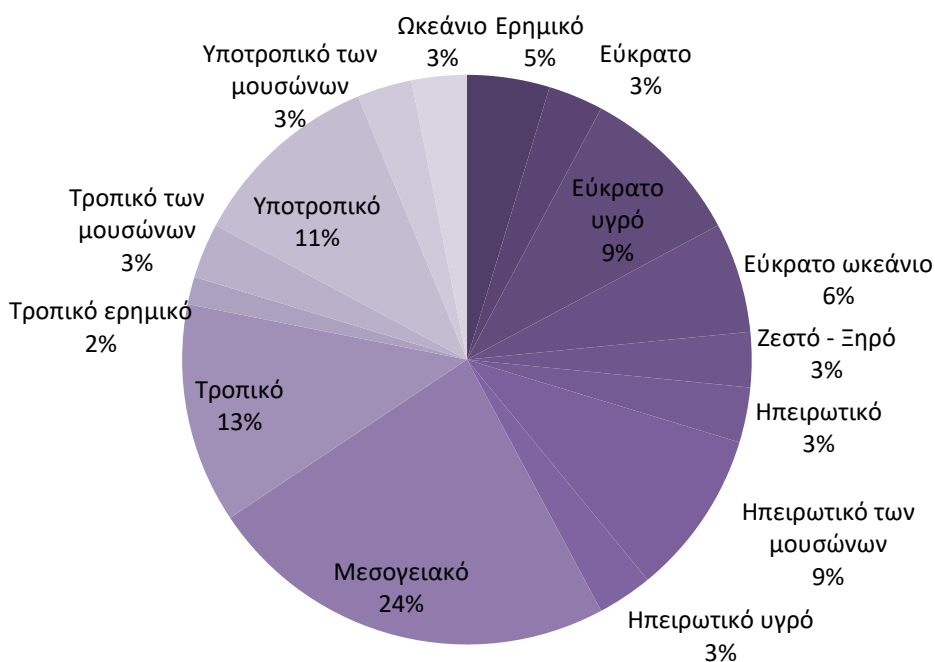
## Χωρική κατανομή



Διάγραμμα 2: Στατιστική ανάλυση της χωρικής κατανομής των δημοσιεύσεων που μελετήθηκαν.

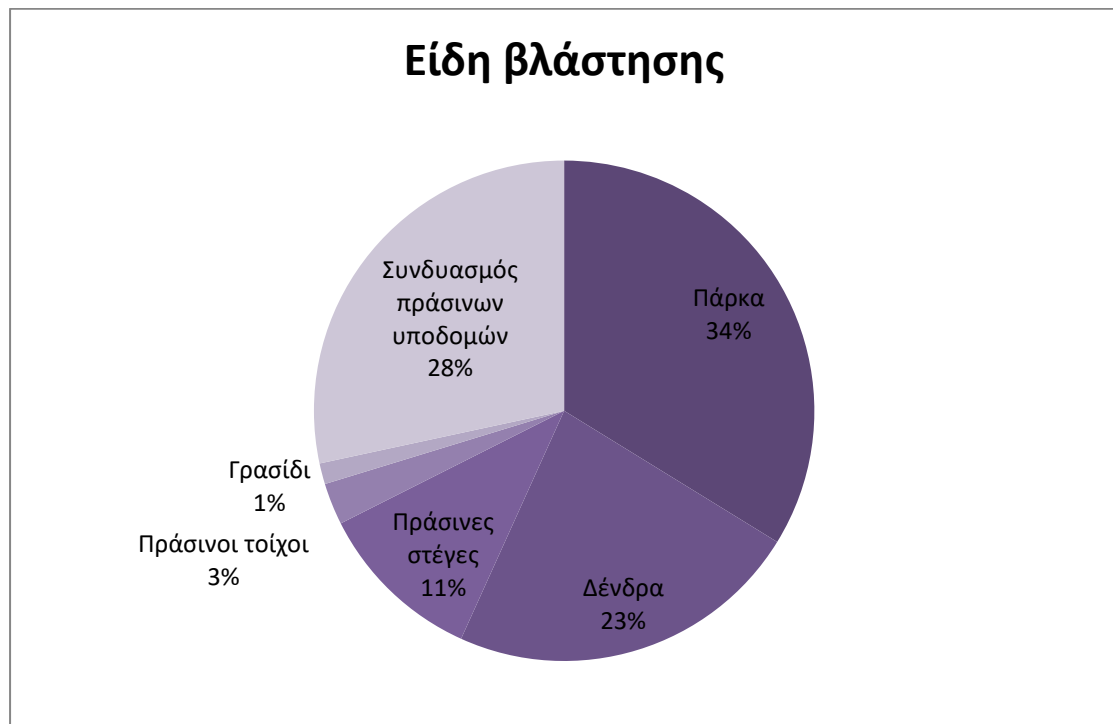
Στο Διάγραμμα 3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή των κλιματικών περιοχών των δημοσιεύσεων που αναλύθηκαν. Γίνεται προφανές από τα αποτελέσματα πως απουσιάζουν οι περιοχές που οι συνθήκες είναι ψυχρές ή πολύ ψυχρές. Συνεπώς από το δείγμα που εξετάσαμε αναλυτικά φαίνεται πως απασχολούν κυρίως οι θερμές περιοχές του πλανήτη είτε είναι υγρές είτε είναι ξηρές.

## Κλιματική κατανομή



Διάγραμμα 3: Στατιστική ανάλυση της κλιματικής κατανομής των δημοσιεύσεων που μελετήθηκαν

Οι δημοσιεύσεις πραγματοποιούνται διαφορετικά είδη βλάστησης. Το Διάγραμμα 4 παρουσιάζει τα διαφορετικά είδη βλάστησης που μελετήθηκαν. Διαπιστώνουμε ότι μεγάλη σημασία δίνεται στη μελέτη των δημόσιων χώρων πρασίνου και ειδικότερα το μεγαλύτερο ποσοστό να αναλύει την επίδραση των πάρκων. Όμως μεγάλη σημασία δίνεται και στο συνδυασμό των πράσινων υποδομών.

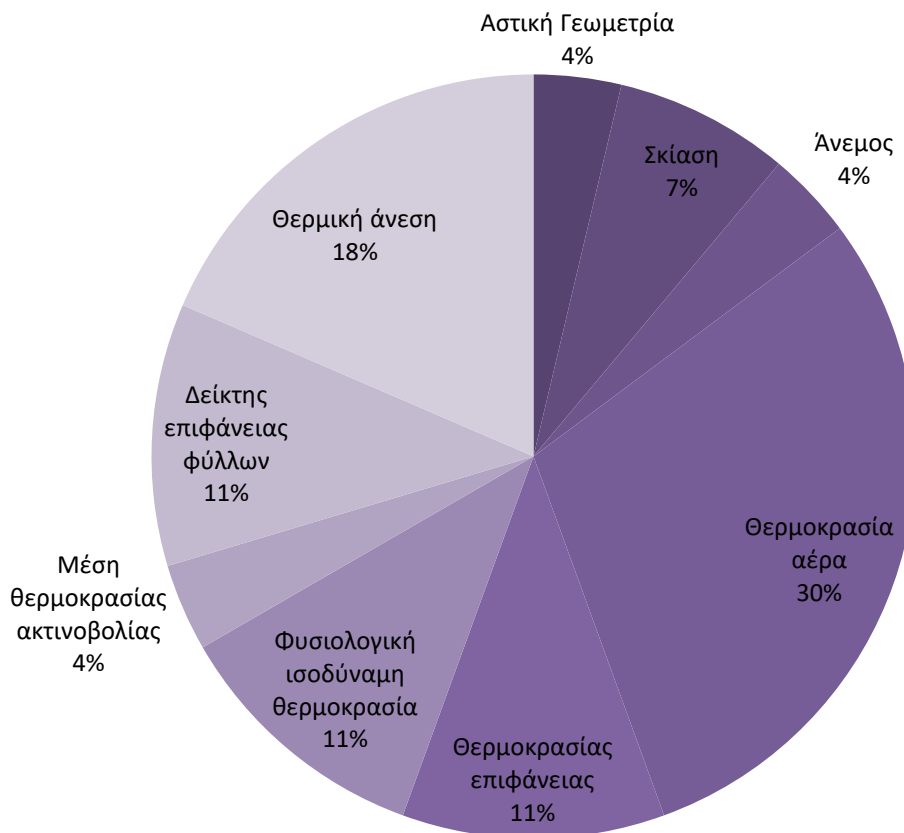


**Διάγραμμα 4: Στατιστική ανάλυση των ειδών βλάστησης των δημοσιεύσεων που μελετήθηκαν**

Για τα είδη βλάστησης οι ερευνητές μελέτησαν διάφορες παραμέτρους. Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Διάγραμμα 5, Διάγραμμα 6, Διάγραμμα 7, Διάγραμμα 8) παρουσιάζονται οι παράμετροι αυτοί. Ειδικότερα όσον αφορά τις παραμέτρους που εξετάστηκαν διαπιστώνουμε ότι κατά κύριο λόγο οι έρευνες επικεντρώθηκαν στη θερμική άνεση και τη θερμοκρασία του αέρα. Αυτό δείχνει το μεγάλο ενδιαφέρον για την επίδραση της βλάστησης στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη θερμική άνεση για τους κατοίκους των πόλεων.

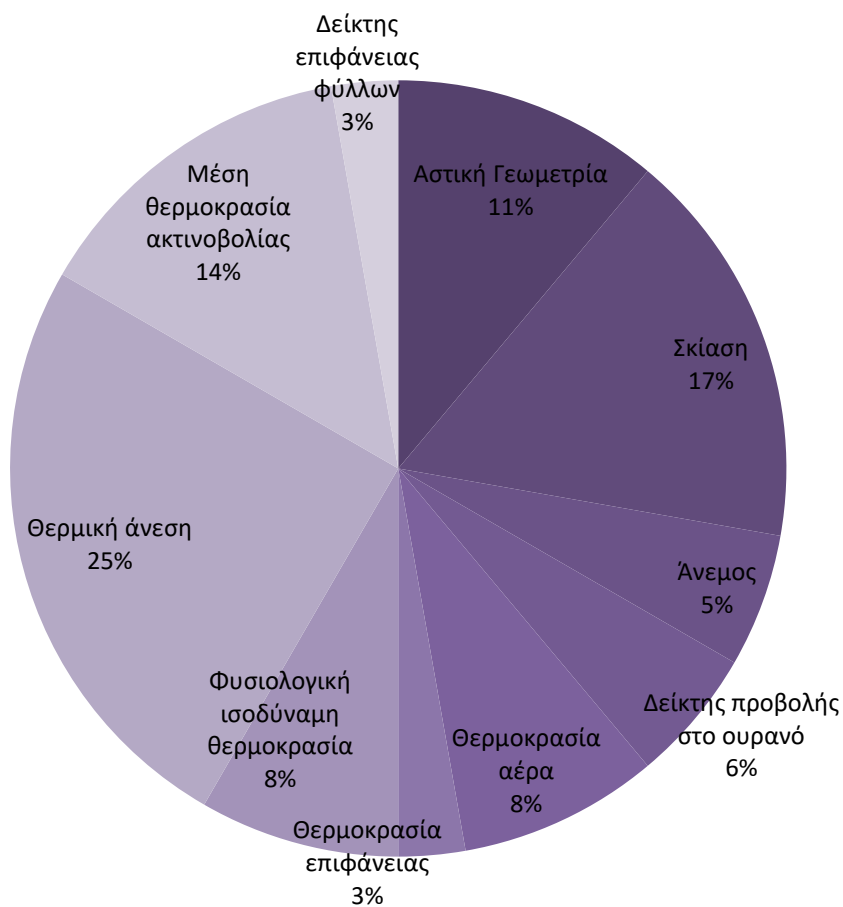


## Πάρκα & Εξεταζόμενοι Παράμετροι



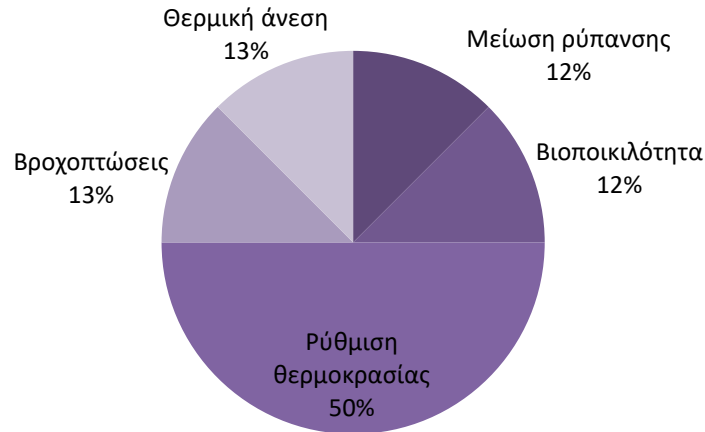
Διάγραμμα 5: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τα πάρκα.

## Δένδρα & Εξεταζόμενοι Παράγοντες



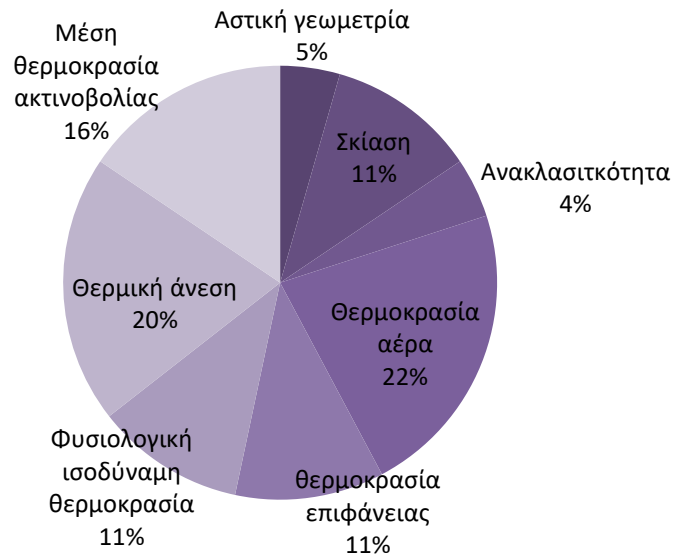
Διάγραμμα 6: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τα δένδρα

### Πράσινες Στέγες & Εξαταζόμενοι Παράμετροι



Διάγραμμα 7: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τις πράσινες στέγες.

### Συνδυασμός Πράσινων Υποδομών & Εξαταζόμενοι Παράμετροι

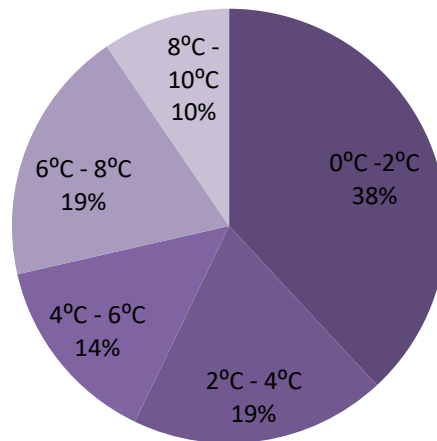


Διάγραμμα 8: Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για το συνδυασμό πράσινων υποδομών

Στο Διάγραμμα 9 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα που προέκυψε από τις δημοσιεύσεις που μελετήθηκαν, η οποία προέρχεται από την παρουσία των πάρκων στο αστικό περιβάλλον. Ενώ στο Διάγραμμα 10 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της απόστασης της ψυκτικής

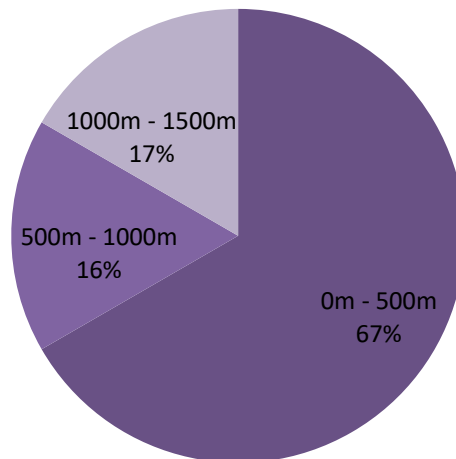
επίδρασης των πάρκων στο γύρω αστικό περιβάλλον. Διαπιστώνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων συμφωνεί με το γεγονός ότι τα πάρκα συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας. Η μείωση αυτή είναι δυνατόν να φθάσει και τους 10 °C, όμως το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων αναφέρει ότι η μείωση της θερμοκρασίας είναι της τάξης των 2 °C. Επίσης η ψυκτική αυτή επίδραση των πάρκων είναι δυνατόν να επιδράσει σε απόσταση μέχρι και 500 m από αυτό. Γίνεται προφανές πόσο σημαντική είναι η παρουσία των πάρκων στην άμβλυνση της Αστικής Θερμικής Νησίδας και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του αστικού πληθυσμού.

### Πάρκα & Μείωση της θερμοκρασίας



Διάγραμμα 9: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα πάρκα.

### Πάρκα και απόσταση της ψυκτικής επίδρασης

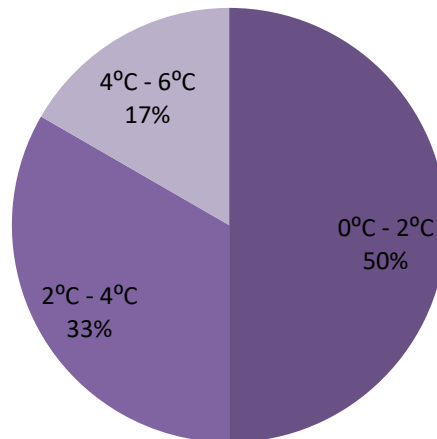


Διάγραμμα 10: Στατιστική ανάλυση της απόστασης της ψυκτικής επίδρασης των πάρκων στο γύρω αστικό περιβάλλον

Τέλος στο Διάγραμμα 11 και στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας από την παρουσία των δένδρων και των πράσινων στεγών στο αστικό περιβάλλον αντίστοιχα. Στην περίπτωση της παρουσίας δένδρων η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να φθάσει τους 6 °C ενώ στην περίπτωση των πράσινων στεγών μπορεί να φθάσει τους 8 °C. Όμως το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων αναφέρει ότι μείωση της θερμοκρασίας είναι της τάξης των 2 °C. Συνεπώς και στις δύο περιπτώσεις η μείωση της θερμοκρασίας είναι σημαντική για το αστικό περιβάλλον.

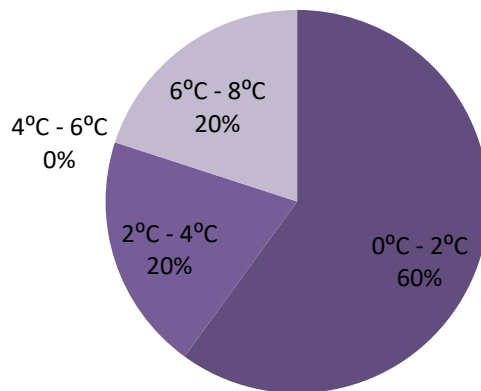


## Δένδρα & Μείωση της θερμοκρασίας



Διάγραμμα 11: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα δένδρα.

## Πράσινες στέγες & Μείωση της θερμοκρασίας



Διάγραμμα 12: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τις πράσινες στέγες.

## **6. Συμπεράσματα και οδηγίες βέλτιστων πρακτικών αξιοποίησης της βλάστησης για τη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών**

Η αστικοποίηση έχει τροποποιήσει τα υλικά, τη δομή, την ενεργειακή ισορροπία της επιφάνειας της Γης και τη σύνθεση της ατμόσφαιρας σε σύγκριση με τις γύρω φυσικές περιοχές. Αυτοί οι τεχνητοί παράγοντες έχουν καθορίσει ένα ξεχωριστό τοπικό κλίμα στις πόλεις, το αστικό κλίμα. Η έντονη μορφή που έχει πάρει το φαινόμενο της αστικοποίησης έχει βλάψει τις πόλεις και τους κατοίκους της, καθώς παρατηρείται υπερβολική αποθήκευση θερμότητας και υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συνεπώς, έχει ενταθεί το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα εντός των πόλεων παρουσιάζεται υψηλότερη από εκείνη των γύρω φυσικών περιοχών. Η δημιουργία του φαινομένου επιδεινώνει τη θερμική επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου και θέτει σε απειλή την άνεση των κατοίκων και αυξάνει ακόμη και τον κίνδυνο για την υγεία. Επιπλέον αυξάνεται το φορτίο ψύξης των κτιρίων και μειώνει την ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων κλιματισμού. Από την έρευνα της διεθνούς βιβλιογραφίας, όπως παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία προκύπτει ότι οι αστικές πράσινες υποδομές (πάρκα, δένδρα, πράσινες στέγες και τοίχοι) είναι πολύτιμα εργαλεία για το μετριασμό της φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας και της κλιματικής αλλαγής γενικότερα. Επομένως, οι αστικές πράσινες υποδομές θα πρέπει να αποτελούν σημαντικό στοιχείο οποιασδήποτε στρατηγικής για την προσαρμογή της κλιματικής αλλαγής στην πόλη, λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν τόσο στις πόλεις όσο και στα τοπικά οικοσυστήματα. Στην πραγματικότητα, η βελτίωση του αστικού κλίματος είναι μια από τις υπηρεσίες οικοσυστήματος που παρέχονται από τη βλάστηση και συμβάλλει στη βιωσιμότητα των πόλεων. Με την αύξηση της βλάστησης συμπεραίνουμε ότι το δυναμικό ψύξης του αστικού πράσινου θα ήταν υψηλότερο, με θετικές επιδράσεις στην ανθρώπινη θερμική άνεση, συμβάλλοντας σε υγιέστερες και πιο ανθεκτικές πόλεις.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μελέτη θα αναφερθούμε στα γενικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν:

- Πάρκα που βρίσκονται εντός του αστικού ιστού παρουσιάζουν θερμοκρασίες χαμηλότερες και επηρεάζουν και τις γύρω δομημένες περιοχές. Ειδικότερα η μείωση της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να φθάσει και τους 10 °C, όμως το

μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων αναφέρει ότι η μείωση της θερμοκρασίας είναι της τάξης των 2 °C. Η χωρική και η χρονική διάσταση της επίδρασης ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και τη διαμόρφωση τόσο της πράσινης περιοχής όσο και του γύρω δομημένου χώρου.

- Οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των πάρκων και των γύρω περιοχών είναι: οι τοπικές κλιματικές συνθήκες (ανεμομετρικό πεδίο, ισοζύγιο ακτινοβολιών, θερμομετρικό καθεστώς και υγρασία του περιβάλλοντος) και η αστική γεωμετρία.
- Η ψυκτική επίδραση των πάρκων στο περιβάλλον εξαρτάται από τα είδη των δένδρων που το αποτελούν και από τα φυσικά χαρακτηριστικά του πάρκου, όπως είναι το μέγεθος και το σχήμα του.
- Η ψυκτική επίδραση των πάρκων είναι δυνατόν να γίνει αισθητή αρκετά μέτρα μακριά από αυτό ανάλογα με τα υλικά και τη διαμόρφωσή τους από το περιβάλλον. Ειδικότερα η ψυκτική επίδραση των πάρκων είναι δυνατόν να επιδράσει σε απόσταση μέχρι και 1500 m από αυτά.
- Σε κτίρια που γειτνιάζουν με πάρκα παρατηρήθηκε μείωση του φορτίου ψύξης τους. Η θετική αυτή επίδραση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα οφέλη του χώρου πρασίνου γιατί καθιστά τη βλάστηση ως ένα μέσο βελτίωσης του περιβάλλοντος με υπερ – τοπική δράση. Μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη κτιρίων γύρω από το πάρκο, μειώνεται η ρύπανση στην περιοχή που παράγεται η ενέργεια.
- Η διαφορετική πυκνότητα βλάστησης προκαλεί και διαφορετική θερμοκρασία αέρα. Ειδικότερα υψηλότερη πυκνότητα βλάστησης παρουσιάζει χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ρύθμισης της εισερχόμενης ακτινοβολίας μέσω της σκίασης αλλά και του συνεπακόλουθου όγκου της βιομάζας που διαπνέει.
- Σημαντικός είναι ο ρόλος της σκιάς των δένδρων στα πάρκα καθώς πάρκα με περισσότερη σκιά προσφέρουν καλύτερη θερμική άνεση. Ειδικά σε κλιματικές ζώνες με αυξημένη ηλιοφάνεια, η παράμετρος που καθορίζει τη θερμική άνεση (αίσθηση) είναι η ακτινοβολία.
- Η παρουσία δένδρων συμβάλλει στην άμβλυνση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (μειώνουν την ηλιακή και θερμική ακτινοβολία) και στη βελτίωση

της ποιότητας ζωής του αστικού πληθυσμού. Τα οφέλη των δένδρων όμως ξεπερνούν το πλαίσιο της βιοκλιματολογίας αφού προσφέρουν υπηρεσίες ευεξίας του πολίτη και αισθητική αναβάθμιση του χώρου.

- Η μικροκλιματική απόδοση των δένδρων εξαρτάται από τον τύπο των δένδρων (φυλλοβόλα ή αειθαλή) και κυρίως από την πυκνότητα των φύλλων τους, χωρίς όμως να παραβλέπεται και η συμβολή των άλλων παραμέτρων, όπως το ύψος του δένδρου και το ύψος του κορμού. Εκτός από τον όγκο της βιομάζας έχει σημασία ο ρυθμός διαπνοής του φυτικού είδους. Συνεπώς, υψηλότερη ψυκτική απόδοση συναντάται σε δένδρα που καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατά τη θερμική περίοδο του έτους. Τέτοια δένδρα είναι συχνά τα φυλλοβόλα.
- Ο βαθμός ψύξης που προσφέρουν τα δένδρα όταν τοποθετούνται εντός αστικών φαραγγιών εξαρτάται από την έκταση της σκιάς, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου (όσο πιο ψηλός είναι ο λόγος H/W τόσο μικρότερο είναι το φαινόμενο ψύξης) και τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα τόσο μέσα όσο και ανάμεσα στα αστικά φαράγγια.
- Η υψηλότερη πυκνότητα των δένδρων συμβάλλει περισσότερο στη βελτίωση της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) και των άλλων βιομετεωρολογικών δεικτών που λαμβάνουν υπόψη το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου.
- Η ψυκτική επίδραση των δένδρων εξαρτάται και από τη θερμοκρασία του αέρα της γύρω περιοχής και ειδικότερα όσο υψηλότερη είναι αυτή η θερμοκρασία τόσο ισχυρότερη είναι η ψυκτική επίδραση. Ειδικότερα η μείωση της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να φθάσει τους 6 °C, με το μεγαλύτερο ποσοστό να αναφέρει μείωση της τάξης των 2 °C Πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν φυτικά είδη που πάνω από ένα όριο θερμοκρασίας αέρα μειώνουν τη διαπνοή μέσω τροποποίησης της φυσιολογίας τους με αποτέλεσμα να αναστέλλεται η ψυκτική της προσφορά.
- Οι πράσινες στέγες είναι δυνατόν να μειώσουν τη μέση θερμοκρασία του αέρα, όμως παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα όταν τοποθετούνται σε κτίρια των οποίων το ύψος είναι μικρότερο των 10 m. Ειδικότερα η μείωση της

θερμοκρασίας είναι δυνατόν να φθάσει τους 8 °C, με το μεγαλύτερο ποσοστό να αναφέρει μείωση της τάξης των 2 °C. Στην περίπτωση τους πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη πως οι άμεσα ωφελούμενοι είναι όσοι φιλοξενούνται σε αυτές και λιγότερο όσοι είναι σε απόσταση από αυτές.

- Οι πράσινες στέγες είναι σε θέση να μειώσουν τη χρήση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση κυρίως των υποκείμενων σε αυτές ορόφων και επίσης προσφέρουν καλύτερη διαχείριση του όγκου των όμβριων υδάτων των καταιγίδων, βελτίωση της ποιότητας του αέρα και αύξηση της αστικής βιοποικιλότητας.
- Η βλάστηση συμβάλλει στη θερμική άνεση, ακόμη και όταν η επίδρασή της στη θερμοκρασία του αέρα είναι αμελητέα, καθώς μειώνει σε κάποιες περιπτώσεις την εκπομπή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας από τις αδιαπέραστες επιφάνειες και περιορίζει την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται.
- Η επίδραση της βλάστησης είναι πιο αποτελεσματική στο μικροκλίμα που παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερες τιμές σχετική υγρασίας. Πρέπει να σημειωθεί πως η βλάστηση μέσω των φυσιολογικών λειτουργιών της εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα σε υδρατμούς κάτι που συχνά επιδεινώνει την θερμική αίσθηση του ανθρώπου.
- Όταν το περίβλημα των κτιρίων καλύπτεται από βλάστηση έχει παρατηρηθεί σημαντικό δυναμικό μείωσης των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος. Ειδικότερα όσο πιο θερμό και ξηρό είναι το κλίμα τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της βλάστησης στη θερμοκρασία αέρος και επιφανειών.
- Οι πράσινες περιοχές που συνδυάζονται με υδάτινα στοιχεία εντείνουν την ψυκτική επίδραση.

Τέλος, για να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα από την εγκατάσταση των αστικών πράσινων υποδομών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω πρακτικές:

- Κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά οι συνθήκες του τοπικού κλίματος και οι θερμικές απαιτήσεις των χρηστών.

- Η επιλογή και η διάταξη των δένδρων και των ειδών τους θα πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με τους ειδικούς τοπικούς αστικούς εξωτερικούς χώρους.
- Καθώς εντός των πάρκων η σκίαση αποτελεί τη μακράν πιο αποτελεσματική στρατηγική ψύξης θα πρέπει να προτιμάται μια κάλυψη με τις κόμεις των δένδρων έτσι ώστε να εμποδίζεται η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας και παράλληλα να προσφέρεται ψύξη μέσω του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής.
- Σε περιοχές που χρησιμοποιούνται από τους κατοίκους κατά τη διάρκεια της ημέρας προτείνεται να σχεδιάζονται πάρκα και ανοικτοί χώροι με λιγότερο πλακόστρωτο χώρο και να καλύπτονται με περισσότερα δένδρα, θάμνους και άλλα συστήματα σκίασης.
- Σε ανοιχτά και ρηχά αστικά φαράγγια θα πρέπει να τοποθετούνται δένδρα με χαμηλό κορμό και μεγάλο πλάτος κόμης ενώ το αντίθετο προτείνεται για βαθιά αστικά φαράγγια.
- Όταν πραγματοποιείται τοποθέτηση νέων δένδρων τα είδη θα πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να είναι κατάλληλα για τις αστικές περιοχές και τα οποία να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
- Η τοποθέτηση μια ή δύο σειρών δένδρων στην πλευρά ενός κτιρίου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και συνεπώς σε θερμά κλίματα η χρήση τους αποτελεί πραγματικό πλεονέκτημα.
- Σε περιοχές που υπάρχουν ογκώδη κτίρια και ο χώρος για πράσινο είναι λίγος προτείνεται να τοποθετούνται δένδρα προς την κατεύθυνση του ανέμου για να βελτιώνονται τα οφέλη ψύξης στην περιοχή.
- Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη ψύξης από τα δένδρα η τοποθέτηση τους θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε: να αποφεύγεται η επικάλυψη μεταξύ τους, να παρέχουν περισσότερη σκίαση στα κτίρια και να δημιουργούν αποτελεσματικές συνθήκες αερισμού αποφεύγοντας τον αποκλεισμό των αιολικών διαδρομών μεταξύ των κτιρίων.
- Σε αστικές περιοχές με ζεστό και ξηρό κλίμα θα πρέπει να προτιμάται η χρήση δένδρων και όχι γρασιδιού, καθώς τα δένδρα προσφέρουν ψύξη με λιγότερη κατανάλωση νερού.



- Σε πολύ πυκνές αστικές περιοχές στις οποίες δεν είναι δυνατή η προσθήκη βλάστησης στο έδαφος προτείνεται να κατασκευάζονται πράσινες στέγες, καθώς μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του φορτίου ψύξης των κτιρίων.
- Ο σχεδιασμός ανοικτών χώρων, όπως μια πλατεία θα πρέπει είναι προσαρμοσμένος στο κλίμα αλλά γενικότερα προτείνεται να περιλαμβάνει δένδρα για τη μεγιστοποίηση επιφανειών με σκιά, ενώ ο κύριος αιολικός διάυλος θα πρέπει να διατηρείται χωρίς δένδρα και να φυτεύεται με γρασίδι για να ελαχιστοποιείται η αποθήκευση θερμότητας.
- Σε επιφάνειες που δέχονται μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας προτείνεται η τοποθέτηση βλάστησης με τη μορφή πράσινων τοίχων. Με αυτό τον τρόπο η παρουσία της βλάστησης θα συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας και στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης.
- Σε φαράγγια δρόμων και πεζοδρόμια προτείνεται να δημιουργούνται δενδροστοιχίες για τη σκίαση των επιφανειών.
- Σε σημεία που απαιτείται η δημιουργία πυκνής σκιάς θα πρέπει να προτιμάται η τοποθέτηση πλατύφυλλων δένδρων. Η τοποθέτηση τους όμως πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η παγίδευση θερμότητας κάτω από την κόμη τους τη νύχτα κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Για το λόγο αυτό προτείνεται η τοποθέτηση τους να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην σχηματίζουν συνεχή θόλο, επιτρέποντας τον αερισμό και τη διαφυγή της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος.

## Βιβλιογραφία

- Ahmadi Venhari, A., Tenpierik, M., Taleghani, M., 2019. The role of sky view factor and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. *J. Arid Environ.* 166, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.009>
- Akbari, H., Konopacki, S., 2005. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 33, 721–756. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.001>
- Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H., 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Sol. Energy, Urban Environment* 70, 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Alavipanah, S., Wegmann, M., Qureshi, S., Weng, Q., Koellner, T., 2015. The Role of Vegetation in Mitigating Urban Land Surface Temperatures: A Case Study of Munich, Germany during the Warm Season. *Sustainability* 7, 4689–4706. <https://doi.org/10.3390/su7044689>
- Alexandri, E., Jones, P., 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Build. Environ., Part Special: Building Performance Simulation* 43, 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- American Meteorological Society, 2000. *Glossary of Meteorology*. MA: American Meteorological Society, Boston.
- Armson, D., Stringer, P., Ennos, A.R., 2013. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban For. Urban Green.* 12, 282–286. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.04.001>
- Armson, D., Stringer, P., Ennos, A.R., 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban For. Urban Green.* 11, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>
- ASHRAE, 2009. *ASHRAE Handbook (SI), Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- Barry, R.G., Carleton, A.M., 2001. *Synoptic and Dynamic Climatology*. Routledge, London.
- Barry, R.G., Chorley, R.J., 1998. *Atmosphere, Weather & Climate*, 7th ed. ed. Routledge, London.
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., Havenith, G., 2012. Deriving the operational procedure for the Universal

- Thermal Climate Index (UTCI). Int. J. Biometeorol. 56, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Brown, R.D., Vanos, J., Kenny, N., Lenzholzer, S., 2015. Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. Landsc. Urban Plan. 138, 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.006>
- Buyadi, S.N.A., Mohd, W.M.N.W., Misni, A., 2013. Green Spaces Growth Impact on the Urban Microclimate. Procedia - Soc. Behav. Sci., AicE-Bs 2013 London (Asia Pacific International Conference on Environment-Behaviour Studies), 4-6 September 2013 105, 547–557. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.058>
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., Imura, H., 2010. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. Landsc. Urban Plan. 96, 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.008>
- Chang, C.-R., Li, M.-H., 2014. Effects of urban parks on the local urban thermal environment. Urban For. Urban Green. 13, 672–681. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.001>
- Charalampopoulos, I., Tsiros, I., Chronopoulou-Sereli, A., Matzarakis, A., 2013. Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. Urban Ecosyst. 16, 217–233. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0252-5>
- Chatzidimitriou, A., Yannas, S., 2015. Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials. Energy Build. 108, 156–174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.048>
- Chen - Yi Sun, Kuei - Peng Lee, Tzu - Ping Lin, Soen - Han Lee, 2012. Vegetation as a material of roof and city to cool down the temperature.
- Chen, A., Yao, X.A., Sun, R., Chen, L., 2014. Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. Urban For. Urban Green. 13, 646–654. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.07.006>
- Chen, H., Ooka, R., Huang, H., Tsuchiya, T., 2009. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation. Build. Environ., Special Issue for 2008 International Conference on Building Energy and Environment (COBEE) 44, 2290–2299. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.03.012>
- Chen, L., Wen, Y., Zhang, L., Xiang, W.-N., 2015. Studies of thermal comfort and space use in an urban park square in cool and cold seasons in Shanghai. Build. Environ. 94, 644–653. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.020>
- Cleugh, H., Grimmond, C., 2012. Urban Climates and Global Climate Change. Future Worlds Clim. 47–76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386917-3.00003-8>

- Coutts, A.M., White, E.C., Tapper, N.J., Beringer, J., Livesley, S.J., 2016. Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theor. Appl. Climatol.* 124, 55–68. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1409-y>
- Crompton, J.L., 2005. The impact of parks on property values: empirical evidence from the past two decades in the United States. *Manag. Leis.* 10, 203–218. <https://doi.org/10.1080/13606710500348060>
- Cubash, U., 1997. *Antropogenic Climate Change (Final)*. European Commission Environment and Climate Programme.
- Davis, A., Taylor, C.E., Major, R.E., 2012. Seasonal abundance and habitat use of Australian parrots in an urbanised landscape. *Landsc. Urban Plan.* 106, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.03.005>
- Doick, K.J., Peace, A., Hutchings, T.R., 2014. The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Sci. Total Environ.* 493, 662–671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.048>
- Donovan, G.H., Butry, D.T., 2009. The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. *Energy Build.* 41, 662–668. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.002>
- Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., Cai, Y., 2017. Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban For. Urban Green.* 27, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.008>
- Fanger, P.O., 1970. *Thermal Comfort*. Danish Technical Press, Copenhagen.
- Ferrini, F., Fini, A., 2011. Sustainable management techniques for trees in the urban areas. *J. Biodivers. Ecol. Sci.* 1.
- Feyisa, G.L., Dons, K., Meilby, H., 2014. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landsc. Urban Plan.* 123, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>
- Fiala, D., Lomas, K.J., Stohrer, M., 2001. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int. J. Biometeorol.* 45, 143–159. <https://doi.org/10.1007/s004840100099>
- Fitter, A., Hay, R., 2002. *Environmental Physiology of Plants*, Third. ed. Academic Press, California.
- Ghazi A. et al, 1997. *Recent Results of EC Climate Research*. European Commission Environment and Climate Programme.

- Givoni, B., 1991. Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environ. Part B Urban Atmosphere* 25, 289–299. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U)
- Hall, M., 2010. Materials for energy efficiency and thermal comfort in buildings. Woodhead Publishing Limited.
- Hamada, S., Ohta, T., 2010. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban For. Urban Green.* 9, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.10.002>
- Hardwick, S.R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E.C., Nilus, R., Ewers, R.M., 2015. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agric. For. Meteorol.* 201, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.010>
- Havenith, G., Fiala, D., Błażejczyk, K., Richards, M., Bröde, P., Holmér, I., Rintamäki, H., Benshabat, Y., Jendritzky, G., 2012. The UTCI-clothing model. *Int. J. Biometeorol.* 56, 461–470. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0451-4>
- Hoppe, Mayer, 1987. Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas [WWW Document]. URL [https://www.researchgate.net/publication/261170911\\_Planungsrelevante\\_Bewertung\\_der\\_thermischen\\_Komponente\\_des\\_Stadtklimas](https://www.researchgate.net/publication/261170911_Planungsrelevante_Bewertung_der_thermischen_Komponente_des_Stadtklimas) (accessed 7.28.19).
- Höppe, P., 1999. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* 43, 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Hulme, M., Jenkins, G., 1998. Climate Change Scenarios for the United Kingdom (Scientific Report), UK Climate Impacts Programme. Climatic Research Unit, Norwich.
- Hwang, Y.H., Lum, Q.J.G., Chan, Y.K.D., 2015. Micro-scale thermal performance of tropical urban parks in Singapore. *Build. Environ.* 94, 467–476. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.003>
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Kondo, H., Hanaki, K., 2006. Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning. *Appl. Energy* 83, 649–668. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.06.001>
- Killicoat, P., Puzio, E., Stringer, R., 2002. The economic value of trees in urban areas: estimating the benefits of Adelaide's street trees. Treenet. URL <https://treenet.org/resources/the-economic-value-of-trees-in-urban-areas-estimating-the-benefits-of-adelaides-street-trees/> (accessed 7.8.19).

- Klemm, W., Heusinkveld, B.G., Lenzholzer, S., van Hove, B., 2015. Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landsc. Urban Plan.* 138, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009>
- Konarska, J., Lindberg, F., Larsson, A., Thorsson, S., Holmer, B., 2014. Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees—application for outdoor thermal comfort modelling. *Theor. Appl. Climatol.* 117, 363–376. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1000-3>
- Kwang, J., n.d. Landscape Design - Park. ARCHIWORLD.
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., Chen, Q., 2019a. A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., Chen, Q., 2019b. A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Landsberg, H.E., 1981. The urban climate, International geophysics series. Academic Press, New York.
- Lee, H., Mayer, H., Chen, L., 2016. Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landsc. Urban Plan.* 148, 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>
- Lin, B., Li, X., Zhu, Y., Qin, Y., 2008. Numerical simulation studies of the different vegetation patterns' effects on outdoor pedestrian thermal comfort. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 4th International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2006) 96, 1707–1718. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.006>
- Lin, W., Yu, T., Chang, X., Wu, W., Zhang, Y., 2015. Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test. *Landsc. Urban Plan.* 134, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.012>
- Liou, K.-N., 1980. An Introduction to Atmospheric Radiation. Academic Press, San Diego.
- Lobaccaro, G., Acero, J.A., 2015. Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. *Urban Clim., Cooling Heat Islands* 14, 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.002>
- Lu, J., Li, Q., Zeng, L., Chen, J., Liu, G., Li, Y., Li, W., Huang, K., 2017. A micro-climatic study on cooling effect of an urban park in a hot and humid climate. *Sustain. Cities Soc.* 32, 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.017>



- Mahmoud, A.H.A., 2011. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Build. Environ.* 46, 2641–2656. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.025>
- Maunder, J., 1992. *Dictiony of global climate change*, Second. ed. Chapman & Hall.
- Morakinyo, T.E., Kong, L., Lau, K.K.-L., Yuan, C., Ng, E., 2017. A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. *Build. Environ.* 115, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.005>
- Mullaney, J., Lucke, T., Trueman, S.J., 2015. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landsc. Urban Plan.* 134, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>
- NAST, 2000. *Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change. Overview Report (US Global Change Research Program.)*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C., 2012. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Build. Environ., International Workshop on Ventilation, Comfort, and Health in Transport Vehicles* 47, 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G., 2015. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landsc. Urban Plan.* 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Odli, Z.S.M., Zakarya, I.A., Mohd, F.N., Izhar, T.N.T., Ibrahim, N.M., Mohamad, N., 2016. Green Roof Technology- Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effect. *MATEC Web Conf.* 78, 01100. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167801100>
- Oke, T.R., 2002. *Boundary Layer Climates*, Second. ed. Routledge, United Kingdom.
- Oke, T.R., 1997. *Urban climates and global environmental change*. Rutledge, London.
- Oke, T.R., 1995. *The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects [WWW Document]*. ResearchGate. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2_5)
- Oke, T.R., 1979. *Review of Urban Climatology 1973–1976*, Technical Note 169. ed. World Meteorological Organization, Geneva.
- Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A., 2017. *Urban climates*. Cambridge University Press, Cambridge New York Melbourne Daryaganj.

- Olgyay, V., 1963. Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press, Princeton.
- Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T., 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. Build. Environ. 46, 2186–2194. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.034>
- Oliver, J.E., 2008. Encyclopedia of world climatology. Springer Science & Business Media.
- Oliver, J.E. (Ed.), 2005. Encyclopedia of world climatology, Encyclopedia of earth sciences series. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Onishi, A., Cao, X., Ito, T., Shi, F., Imura, H., 2010. Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. Urban For. Urban Green. 9, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.002>
- Onmura, S., Matsumoto, M., Hokoi, S., 2001. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. Energy Build. 33, 653–666. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00134-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00134-1)
- Parsons, K., 1993. Human Thermal Environments - The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance, Second. ed. Taylor & Francis, London.
- Perini, K., Magliocco, A., 2014. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. Urban For. Urban Green. 13, 495–506. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.003>
- Pinho, O.S., Orgaz, M.D.M., 2000. The urban heat island in a small city in coastal Portugal. Int. J. Biometeorol. 44, 198–203. <https://doi.org/10.1007/s004840000063>
- Pizarro, R.E., Blakely, E., Dee, J., 2006. Urban Planning and Policy Faces Climate Change. Built Environ. 32, 400–412. <https://doi.org/10.2148/benv.32.4.400>
- Potchter, O., Cohen, P., Bitan, A., 2006. Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel. Int. J. Climatol. 26, 1695–1711. <https://doi.org/10.1002/joc.1330>
- Radhi, H., Sharples, S., 2013. Quantifying the domestic electricity consumption for air-conditioning due to urban heat islands in hot arid regions. Appl. Energy 112, 371–380. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.013>
- Rizwan, A.M., Dennis, L.Y.C., Liu, C., 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. J. Environ. Sci. 20, 120–128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)

- Santamouris, et al., 1998. The Athens Urban Climate Experiment. Presented at the Proc. PLEA Conference, James & James (Science) Publishers, London.
- Santamouris, M., 2014. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Sol. Energy 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Sanusi, R., Johnstone, D., May, P., Livesley, S.J., 2017. Microclimate benefits that different street tree species provide to sidewalk pedestrians relate to differences in Plant Area Index. Landsc. Urban Plan. 157, 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.010>
- Scholz, T., Hof, A., Schmitt, T., 2018. Cooling Effects and Regulating Ecosystem Services Provided by Urban Trees—Novel Analysis Approaches Using Urban Tree Cadastre Data. Sustainability 10, 712. <https://doi.org/10.3390/su10030712>
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M.E., 2000. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. Energy Build. 31, 221–235. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3)
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., Erell, E., 2011. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. Int. J. Climatol. 31, 1498–1506. <https://doi.org/10.1002/joc.2177>
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., Erell, E., 2009a. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. Landsc. Urban Plan. 92, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.04.005>
- Shashua-Bar, L., Potchter, O., Bitan, A., Boltansky, D., Yaakov, Y., 2009b. Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. Int. J. Climatol. 30, 44–57. <https://doi.org/10.1002/joc.1869>
- Shashua-Bar, L., Tsiros, I.X., Hoffman, M., 2012. Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. Build. Environ. 57, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.019>
- Shinzato, P., Duarte, D., 2012. Microclimatic Effect of Vegetation for Different Leaf Area Index - LAI 6.
- Singer, S.F., 2000. Climate Policy – from Rio to Kyoto. Stanford University, Hoover Institute.
- Skelhorn, C., Lindley, S., Levermore, G., 2014. The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in

- Manchester, UK. *Landsc. Urban Plan.* 121, 129–140.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>
- Skoulika, F., Santamouris, M., Kolokotsa, D., Boemi, N., 2014. On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. *Landsc. Urban Plan.* 123, 73–86.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.002>
- Smith, K.R., Roebber, P.J., 2011. Green Roof Mitigation Potential for a Proxy Future Climate Scenario in Chicago, Illinois. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 50, 507–522. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2337.1>
- Song, J., Wang, Z.-H., 2015. Impacts of mesic and xeric urban vegetation on outdoor thermal comfort and microclimate in Phoenix, AZ. *Build. Environ.* 94, 558–568. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.016>
- Sonne, K., Vieira, R.K., 2000. Cool Neighborhoods: The Measurement of Small Scale Heat Islands 12.
- Spronken-Smith, R.A., Oke, T.R., 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *Int. J. Remote Sens.* 19, 2085–2104.  
<https://doi.org/10.1080/014311698214884>
- Sun, C.Y., Lee, K.P., Lin, T.P., Lee, S.H., 2012. Vegetation as a Material of Roof and City to Cool down the Temperature [WWW Document]. *Adv. Mater. Res.* <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.461.552>
- Sun, R., Chen, L., 2017. Effects of green space dynamics on urban heat islands: Mitigation and diversification. *Ecosyst. Serv.* 23, 38–46.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.011>
- Sun, S., Xu, X., Lao, Z., Liu, W., Li, Z., Higuera García, E., He, L., Zhu, J., 2017. Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation. *Build. Environ.* 123, 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.010>
- Susca, T., Gaffin, S.R., Dell’Osso, G.R., 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environ. Pollut.*, Selected papers from the conference Urban Environmental Pollution: Overcoming Obstacles to Sustainability and Quality of Life (UEP2010), 20-23 June 2010, Boston, USA 159, 2119–2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- T. R. Oke, 1973. City size and urban heat island.
- Taha, H., Akbari, H., Rosenfeld, A., 1991. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: Micro-meteorological field-measurements. *Theor. Appl. Climatol.* 44, 123–138. <https://doi.org/10.1007/BF00867999>

- Taha, H., Douglas, S., Haney, J., 1997. Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation. *Energy Build.* 25, 169–177. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01006-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01006-7)
- Takebayashi, H., Moriyama, M., 2007. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Build. Environ.* 42, 2971–2979. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.017>
- Taleghani, M., 2018. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81, 2011–2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>
- Taleghani, M., Sailor, D., Ban-Weiss, G.A., 2016. Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. *Environ. Res. Lett.* 11, 024003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024003>
- Taleghani, M., Sailor, D.J., Tenpierik, M., van den Dobbela, A., 2014. Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA. *Build. Environ.* 73, 138–150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.006>
- Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., Freer-Smith, P., 2011. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landsc. Urban Plan.* 103, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.003>
- Tan, Z., Lau, K.K.-L., Ng, E., 2016. Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy Build.*, SI: Countermeasures to Urban Heat Island 114, 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.031>
- Theodosiou, T.G., 2003. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy Build.* 35, 909–917. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00023-9)
- Troy, A., Morgan Grove, J., O’Neil-Dunne, J., 2012. The relationship between tree canopy and crime rates across an urban–rural gradient in the greater Baltimore region. *Landsc. Urban Plan.* 106, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.03.010>
- Vidrih, B., Medved, S., 2013. Multiparametric model of urban park cooling island. *Urban For. Urban Green.* 12, 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.01.002>
- Voogt, J.A., 2004. Urban Heat Islands: Hotter cities.
- Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., Wortche, H., Leemans, R., 2015a. Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by

- numerical modelling. Urban Ecosyst. 18, 1305–1331. <https://doi.org/10.1007/s11252-015-0447-7>
- Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., Wörtche, H., Leemans, R., 2015b. Effects of urban green infrastructure (UGI) on local outdoor microclimate during the growing season. Environ. Monit. Assess. 187, 732. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4943-2>
- Weihs, P., Staiger, H., Tinz, B., Batchvarova, E., Rieder, H., Vuilleumier, L., Maturilli, M., Jendritzky, G., 2012. The uncertainty of UTCI due to uncertainties in the determination of radiation fluxes derived from measured and observed meteorological data. Int. J. Biometeorol. 56, 537–555. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0416-7>
- Wolch, J.R., Byrne, J., Newell, J.P., 2014. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough.’ Landsc. Urban Plan. 125, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017>
- Wolf, K.L., 2005. Trees in the Small City Retail Business District: Comparing Resident and Visitor Perceptions. J. For. 6.
- Wong, N.H., Kwang Tan, A.Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., Chiang, K., Wong, N.C., 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. Build. Environ. 45, 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>
- Wong, N.H., Yu, C., 2005. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. Habitat Int. 29, 547–558. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2004.04.008>
- Yan, H., Wu, F., Dong, L., 2018. Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. Sci. Total Environ. 622–623, 882–891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.327>
- Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., Meng, Q., 2013. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. Build. Environ. 60, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>
- Yannas, S., 2001. Toward more sustainable cities. Sol. Energy, Urban Environment 70, 281–294. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00091-8](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00091-8)
- Yu, C., Hien, W.N., 2006. Thermal benefits of city parks. Energy Build. 38, 105–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>
- Yu, Z., Guo, X., Jørgensen, G., Vejre, H., 2017. How can urban green spaces be planned for climate adaptation in subtropical cities? Ecol. Indic. 82, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.002>



- Zhang, L., Zhan, Q., Lan, Y., 2018. Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone: A case study in Wuhan residential quarters. Build. Environ. 130, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.014>
- Zhang, Z., Ji M., Shu J., Deng Z., Wu Y., 2004. Surface Urban Heat Island in Shanghai, China: examining the relationship between land surface temperature and impervious surface fractions derived from LANDSAT ETM+ IMAGERY. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. Vol. XXXVII, 601–606.
- Zhao, Q., Sailor, D.J., Wentz, E.A., 2018. Impact of tree locations and arrangements on outdoor microclimates and human thermal comfort in an urban residential environment. Urban For. Urban Green. 32, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.022>
- Zölch, T., Rahman, M.A., Pflleiderer, E., Wagner, G., Pauleit, S., 2019. Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort. Build. Environ. 149, 640–654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.051>
- Zoulia, I., Santamouris, M., Dimoudi, A., 2009. Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. Environ. Monit. Assess. 156, 275–292. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0483-3>
- Αξαρχλή, Κ., Γιάννας, Σ., Ευαγγελινός, Ε., Ζαχαρόπουλος, Η., Μάρδα, Ν., 2001. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος Χώρου - Τόμος Α. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Αριανούτσου, Μ., Γεωργίου, Κ., Δημητρακόπουλος, Α., Καρτάλης, Κ., Παναγιωτίδης, Π., Σταματόπουλος, Κ., 1999. Εισαγωγή στο Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον - Τόμος Α'. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.



# Χρήση της βλάστησης ως μέσο μετριασμού των επιπτώσεων της Αστικής Θερμικής Νησίδας και της Κλιματικής Αλλαγής

**Ιωάννα Ευαγγέλου, Ιωάννης Χαραλαμπόπουλος**  
**Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αστική επέκταση και η αύξηση του πληθυσμού συμβάλλουν στην μεταβολή του κλίματος σε όλες τις κλίμακες. Χαρακτηριστικό φαινόμενο της τροποποίησης του κλίματος στην αστική κλίμακα είναι η δημιουργία της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ). Η σχετική βιβλιογραφία έχει παρουσιάσει ότι η φύτευση σε αστικές περιοχές επηρεάζει τις παραμέτρους του μικροκλίματος, όπως τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, το ανεμομετρικό πεδίο και τις βροχοπτώσεις. Συνεπώς το πράσινο θεωρείται μια σημαντική στρατηγική προσέγγισης για την άμβλυνση του φαινομένου της ΑΘΝ και των μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της εργασίας καταδεικνύουν αναλυτικά και ποσοτικά τις δυνατότητες και τα οφέλη της βλάστησης ως εργαλείο μετριασμού των δυσμενών συνθηκών της ΑΘΝ και της αλλαγής του κλίματος.

## ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της μελέτης είναι αποτυπωθεί με λεπτομέρεια ο μηχανισμός δράσης της βλάστησης στις μικρο- έως και τόπο-κλιματικές συνθήκες. Από τη μελέτη διεθνών βιβλιογραφικών πηγών αναλύθηκαν συστηματικά οι επιπτώσεις της φύτευσης σε ποικιλία κλιματικών αστικών διαμορφώσεων. Επίσης, θα δημιουργηθεί συνοπτικός οδηγός με τις βέλτιστες πρακτικές που ως κύριο εργαλείο τους θα είναι η αξιοποίηση της βλάστησης στη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών.

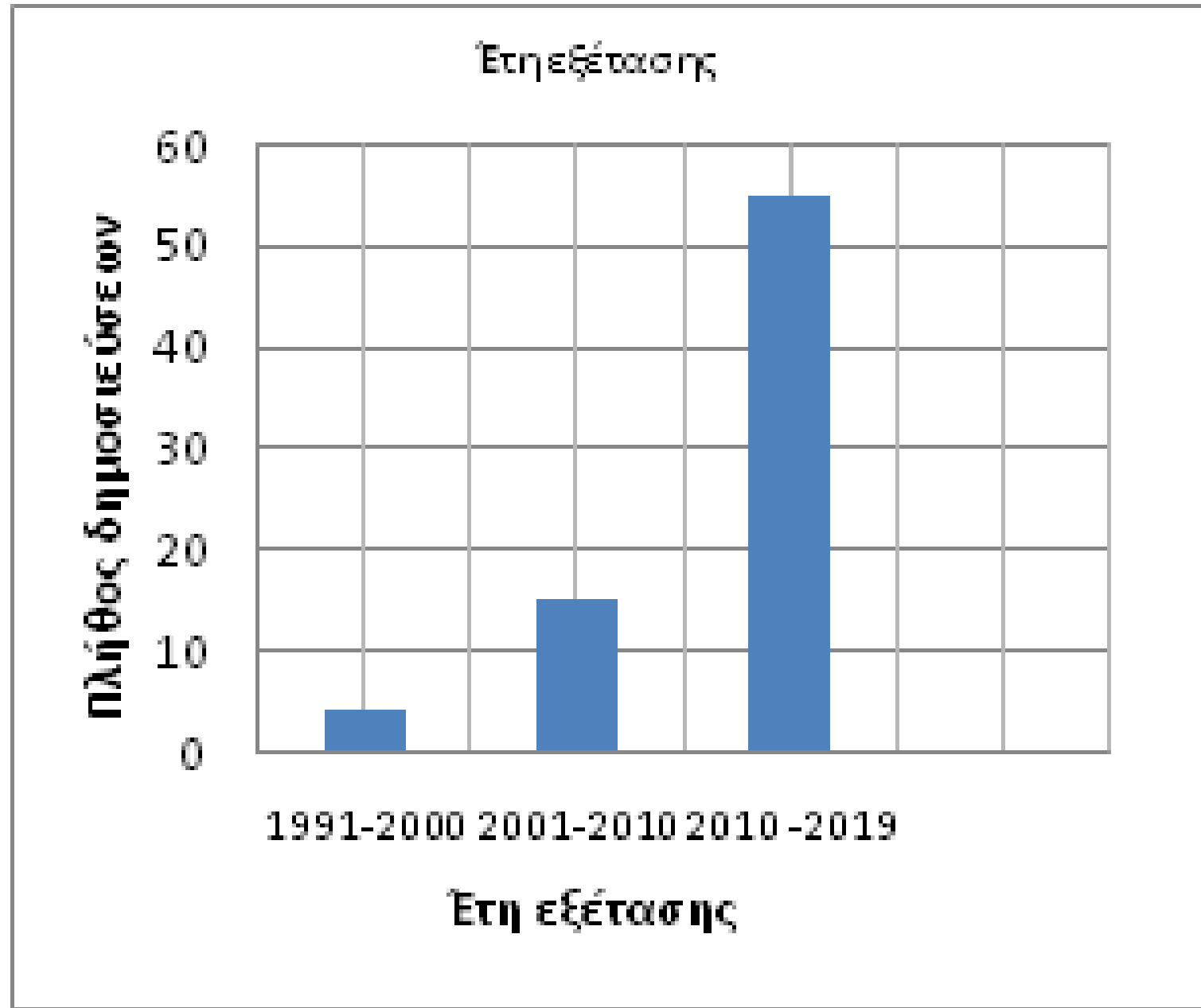
## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η αναζήτηση των σχετικών ερευνητικών δημοσιεύσεων διεξήχθη με τη χρήση βάσεων δεδομένων χρησιμοποιώντας συνδυασμούς σχετικών λέξεων κλειδιών. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν οι βάσεις δεδομένων Web of Science και Google Scholar. Οι λέξεις – κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: αστικοποίηση, Αστική Θερμική Νησίδα, κλιματική αλλαγή, αστικό μικροκλίμα, αστικά πάρκα, αστικά δένδρα, γρασίδι, πράσινες στέγες, πράσινοι τοίχοι, αστικές πράσινες υποδομές και θερμική άνεση.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Α. Έτη εξέτασης

Μετά από επιλογή 300 περίπου δημοσιεύσεων μελετήθηκαν και αναλύθηκαν εκτενώς 148 από τη διεθνή βιβλιογραφία, οι οποίες χρονικά κάλυπταν τη χρονική περίοδο 1991 – 2019.

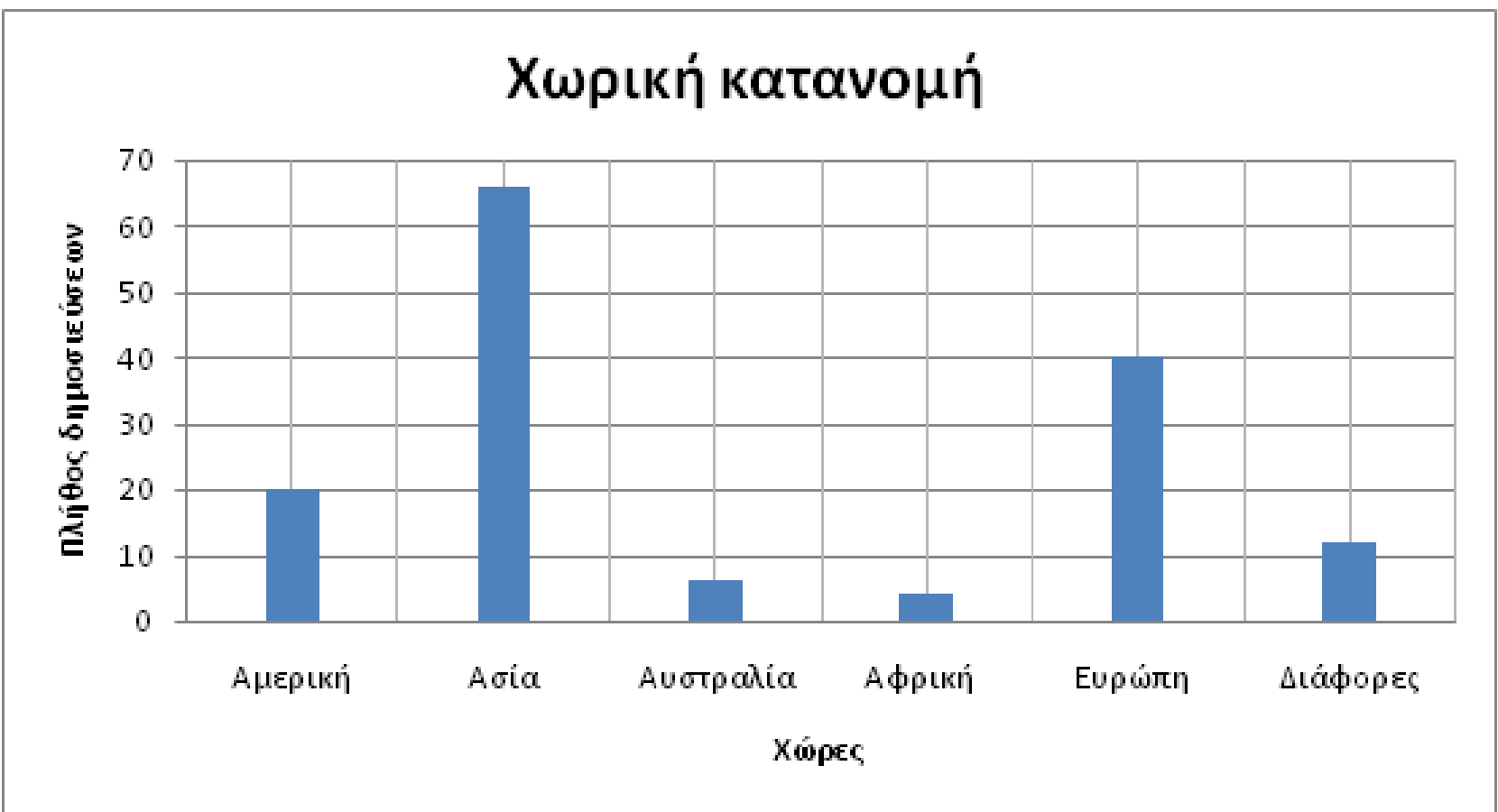


Σχ. 1: Χρονική κατανομή των δημοσιεύσεων

### Β. Χωρική κατανομή

Το μεγαλύτερο μέρος των δημοσιεύσεων αφορούν περιοχές της Ασίας και ακολουθούν αυτές της Ευρώπης και της Αμερικής.

Αυτό δείχνει το αυξημένο ενδιαφέρον για τα θέματα αυτά στις περιοχές του ήδη αναπτυγμένου κόσμου όπου ο πληθυσμός έχει υψηλά εισοδήματα αλλά και στις περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένο δυναμικό ανάπτυξης και αναζητούν αποτελεσματικές και βιώσιμες λύσεις (Ασία).



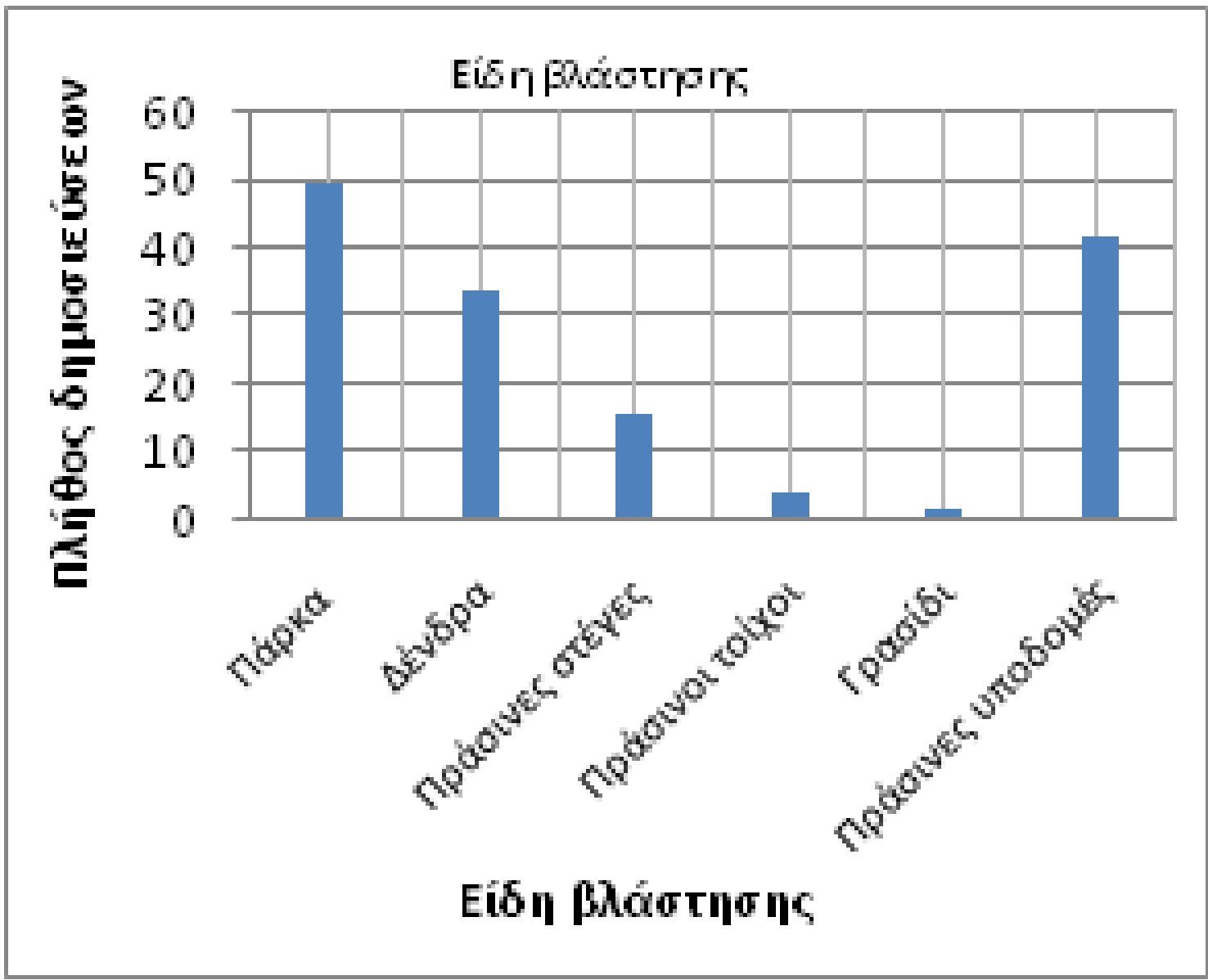
Σχ. 2: Χωρική κατανομή των δημοσιεύσεων

### Γ. Κλιματική κατανομή

Από το δείγμα που εξετάσαμε φαίνεται πως απασχολούν κυρίως οι θερμές περιοχές του πλανήτη είτε είναι υγρές είτε είναι ξηρές, ενώ απουσιάζουν οι περιοχές στις οποίες οι συνθήκες είναι ψυχρές ή πολύ ψυχρές.

### Δ. Είδη βλάστησης

Οι δημοσιεύσεις πραγματεύονταν τα εξής είδη βλάστησης: πάρκα, δένδρα, πράσινες στέγες, πράσινοι τοίχοι, γρασίδι και συνδυασμό πράσινων υποδομών. Μεγάλη σημασία δίνεται στη μελέτη των δημόσιων χώρων πρασίνου και ειδικότερα το μεγαλύτερο ποσοστό αναλύει την επίδραση των πάρκων. Όμως μεγάλη σημασία δίνεται και στο συνδυασμό των πράσινων υποδομών.



Σχ. 3: Στατιστική ανάλυση των ειδών βλάστησης

### Ε. Εξεταζόμενοι παράμετροι

Για τα διάφορα είδη βλάστησης οι ερευνητές μελέτησαν διάφορες παραμέτρους (αστική γεωμετρία, σκίαση, άνεμος, θερμοκρασία αέρα και επιφάνειας, φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία κ.α). Κατά κύριο λόγο όμως επικεντρώθηκαν στη θερμική άνεση και τη θερμοκρασία του αέρα.



Σχ. 4: Εξεταζόμενοι παράμετροι για την περίπτωση των πάρκων

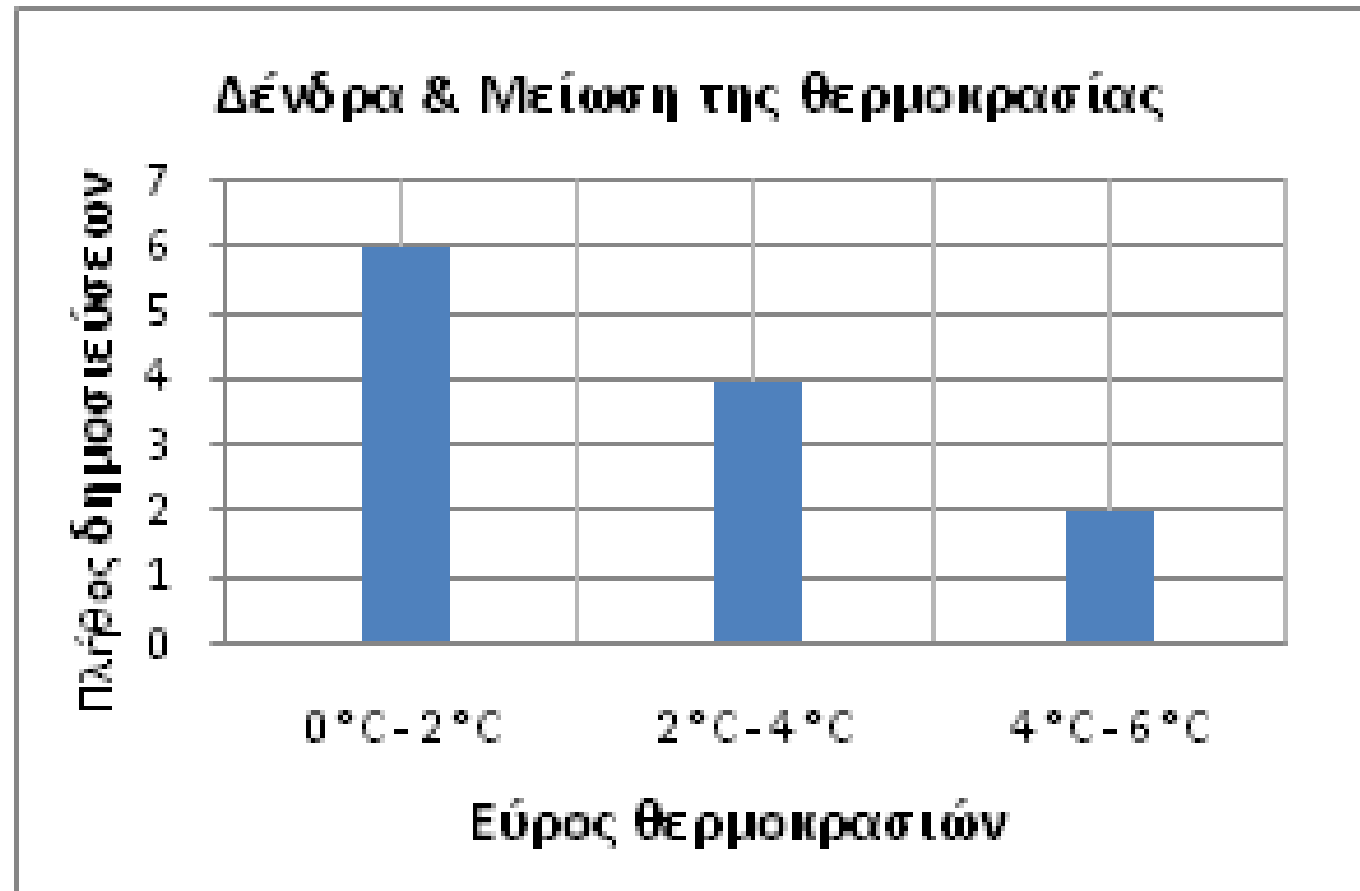
Αυτό δείχνει το μεγάλο ενδιαφέρον για την επίδραση της βλάστησης στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη θερμική άνεση για τους κατοίκους των πόλεων.

### ΣΤ. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων

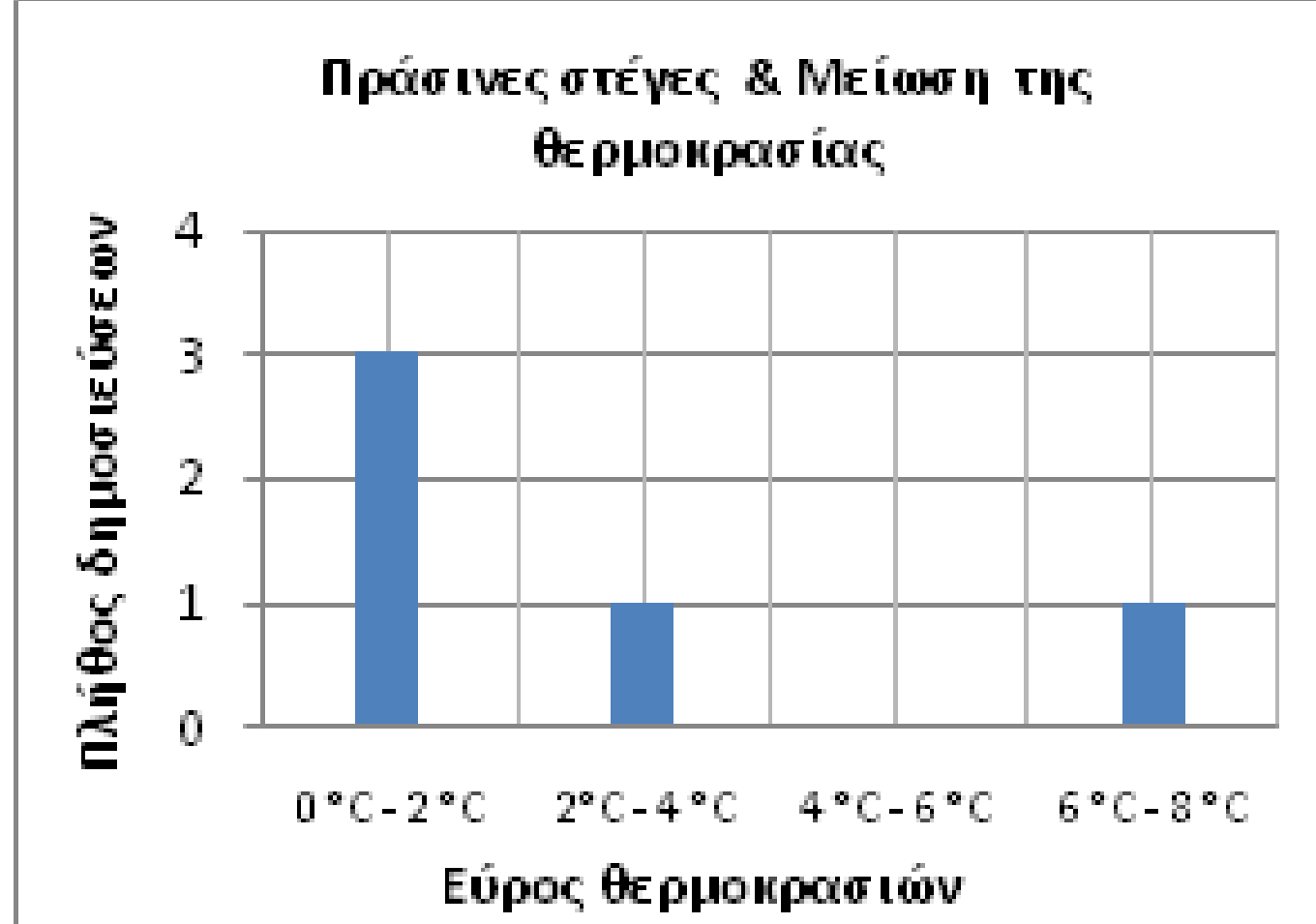
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας για τα περίπτωση των πάρκων, των δένδρων και των πράσινων στεγών.



Σχ. 5: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα πάρκα

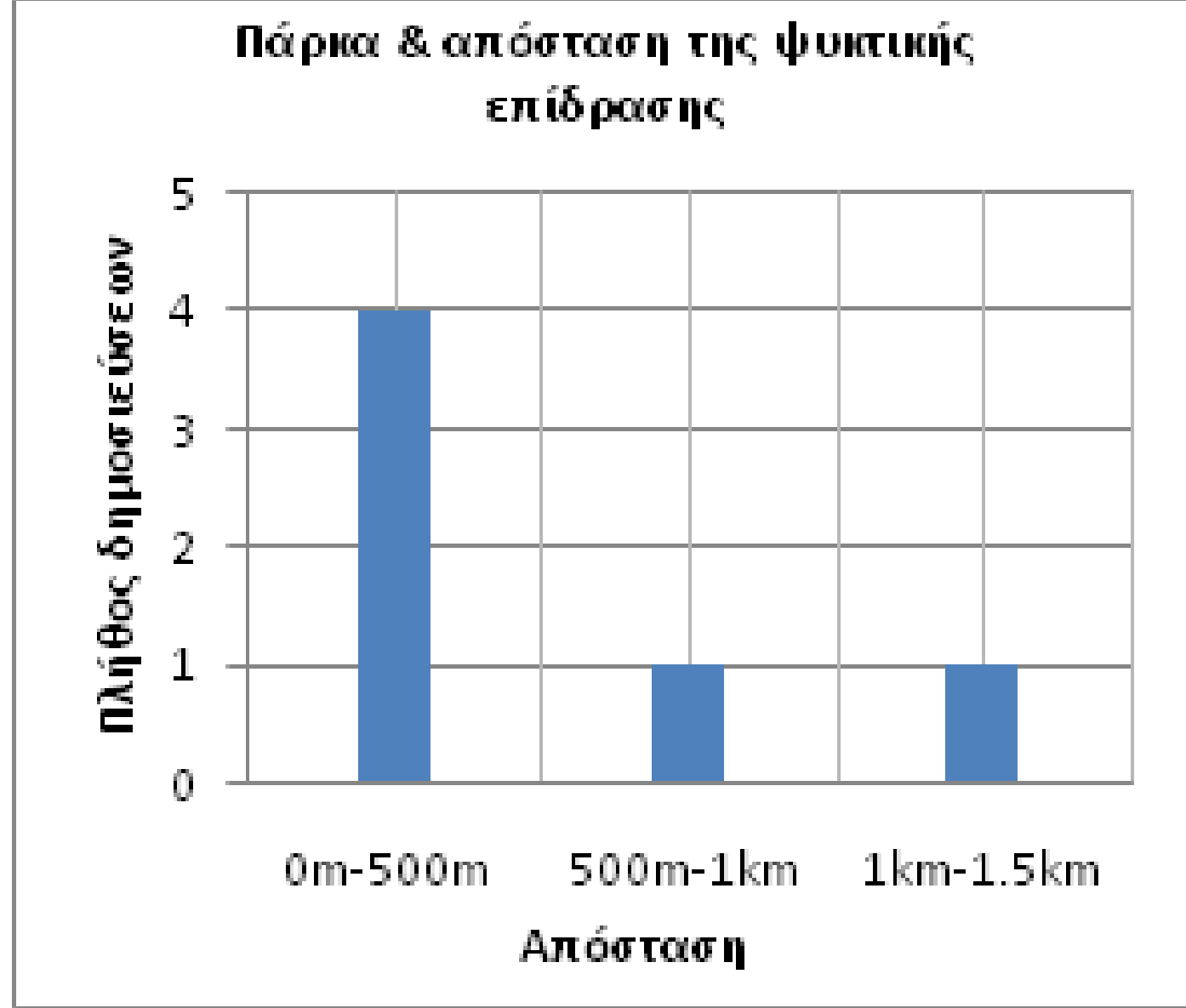


Σχ. 6: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα δένδρα



Σχ. 7: Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τις πράσινες στέγες

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της απόστασης της ψυκτικής επίδρασης των πάρκων στο γύρω αστικό περιβάλλον



Σχ. 8: Στατιστική ανάλυση της ψυκτικής επίδρασης των πάρκων στο γύρω αστικό περιβάλλον

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι οι αστικές πράσινες υποδομές είναι πολύτιμα εργαλεία για το μετριασμό της ΑΘΝ και της κλιματικής αλλαγής. Συνεπώς, θα πρέπει να αποτελούν σημαντικό στοιχείο οποιασδήποτε στρατηγικής για την προσαρμογή της κλιματικής αλλαγής στην πόλη, λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν τόσο στις πόλεις όσο και στα τοπικά οικοσυστήματα. Με την αύξηση της βλάστησης συμπεραίνουμε ότι το δυναμικό ψύξης του αστικού πράσινου θα ήταν υψηλότερο, με θετικές επιδράσεις στην ανθρώπινη θερμική άνεση, συμβάλλοντας σε υγιέστερες και πιο ανθεκτικές πόλεις.



## ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Ιωάννα Ευαγγέλου<sup>1</sup>, Ιωάννης Χαραλαμπίδης<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,  
Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

<sup>2</sup>Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό,  
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

email: [std104064@ac.eap.gr](mailto:std104064@ac.eap.gr), [charalampopoulos.ioannis@ac.eap.gr](mailto:charalampopoulos.ioannis@ac.eap.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αστική επέκταση και η αύξηση του πληθυσμού συμβάλλουν στην μεταβολή του κλίματος σε όλες τις κλίμακες. Χαρακτηριστικό φαινόμενο της τροποποίησης του κλίματος στην αστική κλίμακα είναι η δημιουργία της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ). Η σχετική βιβλιογραφία έχει παρουσιάσει ότι η φύτευση σε αστικές περιοχές επηρεάζει τις παραμέτρους του μικροκλίματος, όπως τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, το ανεμομετρικό πεδίο και τις βροχοπτώσεις. Συνεπώς το πράσινο θεωρείται μια σημαντική στρατηγική προσέγγισης για την άμβλυνση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας και των μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Σκοπός της μελέτης είναι να αποτυπωθεί σε λεπτομέρεια ο μηχανισμός επίδρασης της βλάστησης στις μικρο- έως και τόπο- κλιματικές συνθήκες. Μέσα από τη μελέτη μεγάλου αριθμού διεθνών βιβλιογραφικών πηγών θα αναλυθούν συστηματικά οι επιπτώσεις της φύτευσης σε ποικιλία κλιματικών και αστικών διαμορφώσεων. Επίσης, θα δημιουργηθεί συνοπτικός οδηγός με τις βέλτιστες πρακτικές που ως κύριο εργαλείο τους θα είναι η αξιοποίηση της βλάστησης στη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών. Εν κατακλείδι, στόχος της μελέτης είναι να παράσχει στους σχεδιαστές των αστικών χώρων τα κατάλληλα εφόδια για την ορθή χρήση της βλάστησης, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις επικρατούσες συνθήκες της κάθε περιοχής.

**Λέξεις κλειδιά:** Αστικοποίηση, Αστική Θερμική Νησίδα, Κλιματική Αλλαγή, Αστικό Μικροκλίμα, Αστικές Πράσινες Υποδομές

### ABSTRACT

Urban expansion and population growth contribute to climate change on all scales. A typical phenomenon of climate change on the urban scale is the creation of the Urban Thermal Island (UHI). The relevant literature has shown that planting in urban areas affects the microclimate parameters, such as temperature, relative humidity, anemometric field and rainfall. Greening is therefore considered an important approach strategy for mitigating the urban heat island phenomenon and mitigating the effects of climate change. The purpose of the study is to capture in detail the mechanism of effect of vegetation in micro- and local climatic conditions. Through the study of a large number of international bibliographic sources, the impact of planting on a variety of climatic and urban configurations will be systematically analyzed. Also, a brief guide will be created with best practices, which will be the main tool for the use of vegetation in the improvement of bioclimatic conditions. In conclusion, the aim of the study is to provide designers of urban open spaces with the appropriate resources for the proper use of vegetation, always taking into account the prevailing conditions of each area.

**Keywords:** Urbanisation, Urban Heat Island, Climatic Change, Urban Microclimate, Urban Green Infrastructure.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία αστικοποίηση έχει προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα στον αστικό χώρο, κυρίως εξαιτίας της αύξησης του δομημένου περιβάλλοντος και συνεπώς έχει καταστεί επιτακτική η ανάγκη αναζήτησης τρόπων αντιμετώπισής τους (Cleugh&Grimmond, 2012). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής συνιστώσας σε όλα τα επίπεδα σχεδιασμού (χωροταξικό, πολεοδομικό, αρχιτεκτονικό).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή, η τρύπα του όζοντος και άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα συνδέονται άμεσα με τα ρυπογόνα προβλήματα των αστικών περιοχών. Επιπρόσθετα, οι τρόποι, οι μέθοδοι και οι εφαρμογές δόμησης που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, έχουν προκαλέσει αλλαγές στο περιβάλλον των πόλεων. Οι αλλαγές αυτές σχετίζονται με την κίνηση του αέρα εντός του αστικού χώρου, την πιο συχνή δημιουργία ακραίων καιρικών φαινομένων, την υπερθέρμανση των πυκνά δομημένων περιοχών, τις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ γειτονικών περιοχών και τη δημιουργία φαινομένων, όπως της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Ειδικότερα, το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του αστικού μικροκλίματος και συνεπώς στην ποιότητα ζωής των κατοίκων των πόλεων. Οι πιο άμεσα αντιληπτές συνέπειες του φαινομένου είναι η μείωση της ποιότητας του αέρα και η επιβάρυνση της δημόσιας υγείας. Επιπλέον, η μείωση των επιφανειών πρασίνου έχουν τη δική τους συμμετοχή στην όξυνση των παραπάνω προβλημάτων και γενικότερα της κλιματικής αλλαγής.

Επομένως, μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στον αστικό σχεδιασμό είναι η προώθηση στρατηγικών για την προσαρμογή του αστικού μικροκλίματος. Οι επιπτώσεις στην αλλαγή του κλίματος απαιτούν την επανεξέταση του αστικού

σχεδιασμού, και ιδιαίτερα του σχεδιασμού των πράσινων αστικών χώρων και στοιχείων, όπως τα αστικά πάρκα, τα δάση, οι κήποι και τα αστικά δένδρα. Αυτοί οι χώροι και τα στοιχεία αναφέρονται γενικά ως αστικές πράσινες υποδομές και παρέχουν οφέλη μέσω των υπηρεσιών οικοσυστήματος. Η ρύθμιση του μικροκλίματος είναι μια από αυτές τις υπηρεσίες. Οι αστικές πράσινες υποδομές, αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο για την ικανότητα τους να μειώνουν τα επίπεδα θερμότητας στις πόλεις και να βελτιώνουν την υγεία, την ευημερία και την θερμική άνεση των κατοίκων των πόλεων. Επιπλέον αποτελούν έναν από τους απλούστερους και αποτελεσματικότερους τρόπους για τη μείωση της ζήτησης ενέργειας. Για το λόγο αυτό οι ευεργετικές λειτουργίες της βλάστησης εξετάζονται διεξοδικά και τεκμηριώνονται τόσο από βιολογική άποψη όσο και από φυσική. Σημαντικό χαρακτηριστικό της βλάστησης, από την σκοπιά της μικροκλιματικής αλλαγής, είναι η ικανότητα της να ψύχει ή να θερμαίνει το παρακείμενο περιβάλλον μέσω των λειτουργιών της σκίασης και της εξατμισοδιαπνοής. Επιπλέον ο τύπος της βλάστησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα ευεργετικής επίδρασης στις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Οι θετικές επιδράσεις των αστικών πράσινων υποδομών στις θερμικές συνθήκες περιγράφονται σε διάφορες αστικές κλίμακες και για διαφορετικούς τύπους δομών αστικής βλάστησης. Εκτός από την ενίσχυση των φυσικών θερμικών συνθηκών, οι αστικές πράσινες υποδομές έχουν αποδειχθεί ότι βελτιώνουν και τη θερμική αντίληψη των ανθρώπων (Charalampopoulos & Chronopoulou-Sereli, 2005).

Ωστόσο οι αστικές πράσινες υποδομές θα πρέπει να αποτελούν ένα δίκτυο χώρων πρασίνου μέσα στην πόλη και όχι μεμονωμένες και σημειακές ευκαιρίες για ξεκούραση. Με αυτό τον σχεδιασμό οι

χώροι πράσινου θα αποτελούν οργανικά στοιχεία της πόλης δημιουργώντας ένα συνεχές πλέγμα, έναν ιστό, που περιλαμβάνει χώρους κίνησης και ξεκούρασης.

Η χρήση της βλάστησης ως συνιστώσα του αστικού σχεδιασμού δεν αποτελεί την λύση όλων των προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος αστικός χώρος. Όμως, είναι δυνατόν οι ανοιχτοί πράσινοι δημόσιοι χώροι να συμβάλλουν θετικά σε μια ισορροπημένη αμφίδρομη σχέση ανθρώπου, περιβάλλοντος και κλίματος.

## 2. ΣΚΟΠΟΣ

Η αστικοποίηση έχει προκαλέσει πολλές ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές αλλαγές. Κατά την εξέλιξη της αστικοποίησης η μορφή του τοπίου αλλάζει, οι φυσικές εκτάσεις αντικαθίστανται από τον αστικό ιστό, στον οποίο παρουσιάζονται θερμοκρασίες υψηλότερες σε σύγκριση με τις γύρω από αυτόν φυσικές περιοχές, φαινόμενο γνωστό ως Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ). Το φαινόμενο της ΑΘΝ επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του αστικού μικροκλίματος και συνεπώς στην ποιότητα ζωής των κατοίκων των αστικών περιοχών (Rizwan, Dennis, & Liu, 2008). Η κλιματική αλλαγή επιβαρύνει ακόμη περισσότερο τις αστικές περιοχές, εντείνοντας τα δυσμενή φαινόμενα. Εδώ και δεκαετίες, οι σχετικές μελέτες δείχνουν πως ένα από τα βασικά εργαλεία ανάσχεσης των αρνητικών επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος σε πλανητικό επίπεδο, αλλά και της τροποποίησης του κλίματος στην αστική κλίμακα είναι η βλάστηση. Φαίνεται πως είναι το αποτελεσματικότερο μέσο βελτίωσης των βιοκλιματικών και άλλων συνθηκών στις αστικές περιοχές του πλανήτη.

Σκοπός, λοιπόν, της μελέτης είναι να αποτυπωθεί με λεπτομέρεια ο μηχανισμός δράσης της βλάστησης στις μικρο – έως και τόπο – κλιματικές συνθήκες. Από τη μελέτη

δημοσιεύσεων σε έγκυρα περιοδικά με κριτές αναλύθηκαν συστηματικά οι επιπτώσεις της φύτευσης σε ποικιλία κλιματικών και αστικών διαμορφώσεων. Επίσης, δημιουργήθηκε συνοπτικός οδηγός με τις βέλτιστες πρακτικές που ως κύριο εργαλείο τους θα είναι η αξιοποίηση της βλάστησης στη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών.

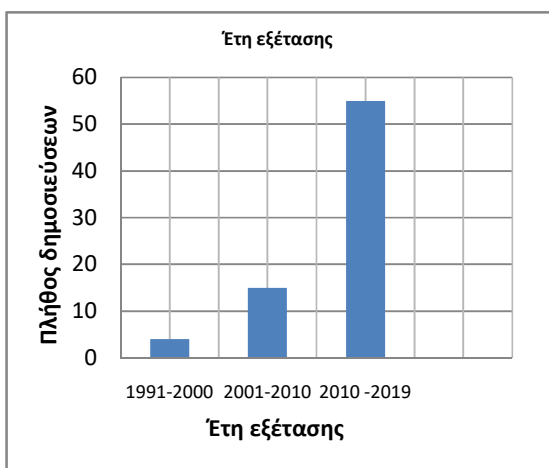
## 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η αναζήτηση των σχετικών ερευνητικών δημοσιεύσεων διεξήχθη με τη χρήση βάσεων δεδομένων χρησιμοποιώντας συνδυασμούς σχετικών λέξεων – κλειδίων. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν οι βάσεις δεδομένων Web of Science και Google Scholar. Οι λέξεις – κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: αστικοποίηση, Αστική Θερμική Νησίδα, κλιματική αλλαγή, αστικό μικροκλίμα, αστικά πάρκα, αστικά δένδρα, γρασίδι, πράσινες στέγες, πράσινοι τοίχοι, αστικές πράσινες υποδομές και θερμική άνεση. Μελετήθηκαν περίπου 300 άρθρα που πληρούσαν τα παραπάνω κριτήρια και επιλέχθηκαν για να παρουσιαστούν αναλυτικά στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας 148 από αυτά. Η ανάλυση και η παρουσίαση τους έχει γίνει με βάση τυποποιημένη κατηγοριοποίηση. Ακολούθησε ανάλυση επιμέρους χαρακτηριστικών των δημοσιεύσεων (metanalysis) ώστε να εξαχθούν ποσοτικά χαρακτηριστικά (στατιστικά). Τέλος έγινε καταγραφή συμπερασμάτων με τη μορφή συνοπτικών προτάσεων / οδηγιών ώστε να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για πολεοδόμους, μηχανικούς, γεωπόνους και άλλους επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στο πεδίο του αστικού περιβάλλοντος.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην παρούσα εργασία μετά από επιλογή από 300 περίπου δημοσιεύσεις

μελετήθηκαν και αναλύθηκαν εκτενώς 148 δημοσιεύσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία (περιοδικά με κριτές), τα οποία χρονικά καλύπτουν τη χρονική περίοδο από το 1991 έως και το 2019. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε δημοσιεύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο (74 %) την τελευταία δεκαετία (2011 έως 2019)



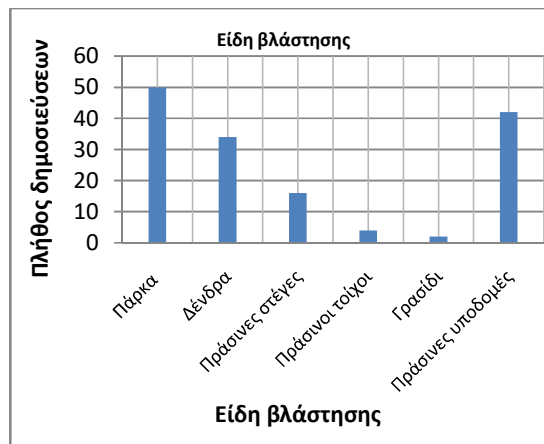
**Διάγραμμα 1:** Χρονική κατανομή των δημοσιεύσεων

Το μεγαλύτερο μέρος των δημοσιεύσεων αφορούν περιοχές της Ασίας και ακολουθούν αυτές της Ευρώπης και της Αμερικής. Αυτό δείχνει το αυξημένο ενδιαφέρον για τα θέματα αυτά στις περιοχές του ήδη αναπτυγμένου κόσμου όπου ο πληθυσμός έχει υψηλά εισοδήματα αλλά και στις περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένο δυναμικό ανάπτυξης και αναζητούν αποτελεσματικές και βιώσιμες λύσεις (Ασία).

Επίσης οι δημοσιεύσεις που εξετάστηκαν αναλυτικά φαίνεται πως απασχολούν κυρίως οι θερμές περιοχές του πλανήτη είτε είναι υγρές είτε είναι ξηρές, ενώ απουσιάζουν οι περιοχές που οι συνθήκες είναι ψυχρές ή πολύ ψυχρές.

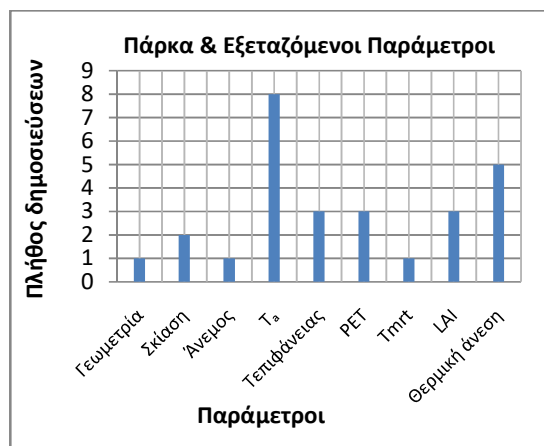
Οι δημοσιεύσεις πραγματεύονταν διαφορετικά είδη βλάστησης. Το Διάγραμμα 2 παρουσιάζει τα διαφορετικά είδη βλάστησης που μελετήθηκαν. Διαπιστώνουμε ότι μεγάλη σημασία δίνεται

στη μελέτη των δημόσιων χώρων πρασίνου και ειδικότερα το μεγαλύτερο ποσοστό να αναλύει την επίδραση των πάρκων. Όμως μεγάλη σημασία δίνεται και στο συνδυασμό των πράσινων υποδομών.



**Διάγραμμα 2:** Στατιστική ανάλυση των ειδών βλάστησης των δημοσιεύσεων που μελετήθηκαν

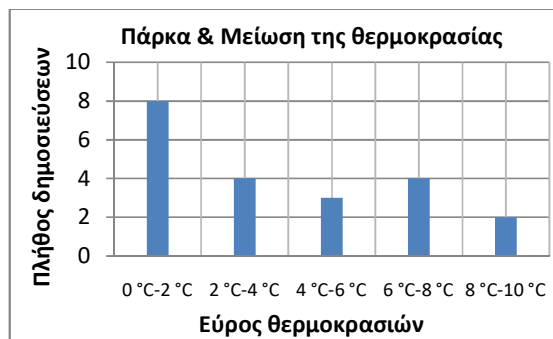
Για τα είδη βλάστησης οι ερευνητές μελέτησαν διάφορες παραμέτρους (Διάγραμμα 3). Κατά κύριο λόγο, όμως επικεντρώθηκαν στη θερμική άνεση και τη θερμοκρασία του αέρα. Αυτό δείχνει το μεγάλο ενδιαφέρον για την επίδραση της βλάστησης στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη θερμική άνεση για τους κατοίκους των πόλεων.



**Διάγραμμα 3:** Στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τα πάρκα



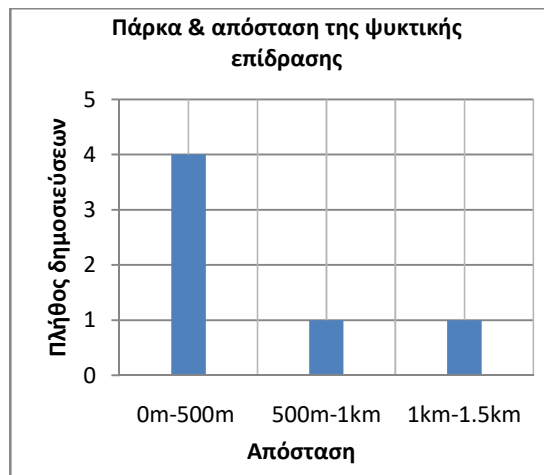
Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα που προέκυψε από τις δημοσιεύσεις που μελετήθηκαν, η οποία προέρχεται από την παρουσία των πάρκων στο αστικό περιβάλλον. Ενώ στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της απόστασης της ψυκτικής επίδρασης των πάρκων στο γύρω αστικό περιβάλλον. Διαπιστώνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων συμφωνεί με το γεγονός ότι τα πάρκα συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας. Η μείωση αυτή είναι δυνατόν να φθάσει και τους 10 °C, όμως το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων αναφέρει ότι η μείωση της θερμοκρασίας είναι της τάξης των 2 °C. Επίσης η ψυκτική αυτή επίδραση των πάρκων είναι δυνατόν να επιδράσει σε απόσταση μέχρι και 500 m από αυτό. Γίνεται προφανές πόσο σημαντική είναι η παρουσία των πάρκων στην άμβλυνση της Αστικής Θερμικής Νησίδας και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του αστικού πληθυσμού.



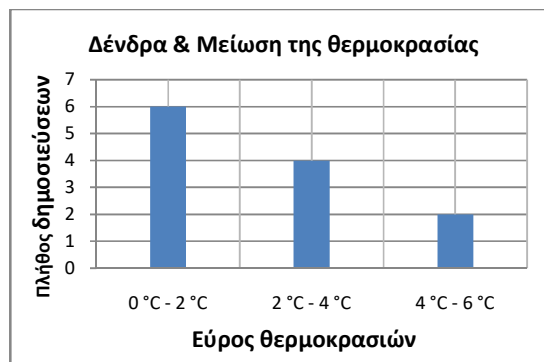
**Διάγραμμα 4:** Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα πάρκα.

Τέλος στο Διάγραμμα 6 και στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας από την παρουσία των δένδρων και των πράσινων στεγών αντίστοιχα. Στην περίπτωση της παρουσίας δένδρων η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να φθάσει τους 6 °C ενώ στην περίπτωση των πράσινων στεγών μπορεί να φθάσει τους 8 °C. Όμως το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων αναφέρει ότι μείωση της θερμοκρασίας είναι της τάξης των 2 °C.

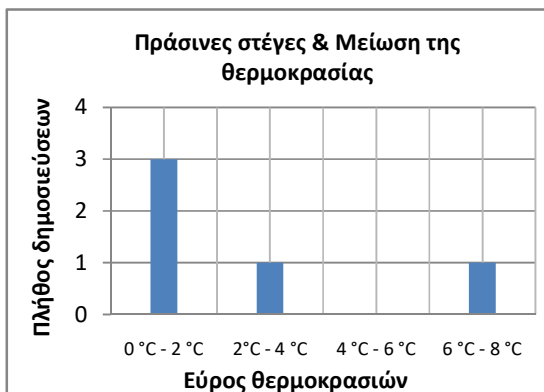
Συνεπώς και στις δύο περιπτώσεις η μείωση της θερμοκρασίας είναι σημαντική για το αστικό περιβάλλον.



**Διάγραμμα 5:** Στατιστική ανάλυση της απόστασης της ψυκτικής επίδρασης των πάρκων στο γύρω αστικό περιβάλλον.



**Διάγραμμα 6:** Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τα δένδρα.



**Διάγραμμα 7:** Στατιστική ανάλυση της μείωσης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τις πράσινες στέγες.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΟΔΗΓΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ

### 5.1 Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μελέτη θα αναφερθούμε στα γενικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν:

- Πάρκα που βρίσκονται εντός του αστικού ιστού παρουσιάζουν θερμοκρασίες χαμηλότερες και επηρεάζουν και τις γύρω δομημένες περιοχές. Ειδικότερα η μείωση της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να φθάσει και τους 10 °C, όμως το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσιεύσεων αναφέρει ότι μείωση της θερμοκρασίας είναι της τάξης των 2 °C. Η χωρική και η χρονική διάσταση της επίδρασης ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και τη διαμόρφωση τόσο της πράσινης περιοχής όσο και του γύρω δομημένου χώρου.
- Οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των πάρκων και των γύρω περιοχών είναι: οι τοπικές κλιματικές συνθήκες (ανεμομετρικό πεδίο, ισοζύγιο ακτινοβολιών, θερμομετρικό καθεστώς και υγρασία του περιβάλλοντος) και η αστική γεωμετρία.
- Η ψυκτική επίδραση των πάρκων στο περιβάλλον εξαρτάται από τα είδη των δένδρων που το αποτελούν και από τα φυσικά χαρακτηριστικά του πάρκου, όπως είναι το μέγεθος και το σχήμα του.
- Η ψυκτική επίδραση των πάρκων είναι δυνατόν να γίνει αισθητή αρκετά μέτρα μακριά από αυτό ανάλογα με τα υλικά και τη διαμόρφωση τους από το περιβάλλον. Ειδικότερα η ψυκτική επίδραση των πάρκων είναι δυνατόν να επιδράσει σε απόσταση μέχρι και 1500 m από αυτά.
- Σε κτίρια που γειτνιάζουν με πάρκα παρατηρήθηκε μείωση του φορτίου ψύξης τους. Η θετική αυτή επίδραση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα οφέλη του χώρου πρασίνου γιατί καθιστά τη βλάστηση ως ένα μέσο βελτίωσης του περιβάλλοντος με υπερ-τοπική δράση. Μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας

για ψύξη κτιρίων γύρω από το πάρκο, μειώνεται η ρύπανση στην περιοχή όπου παράγεται η ενέργεια.

- Η διαφορετική πυκνότητα βλάστησης προκαλεί και διαφορετική θερμοκρασία αέρα. Ειδικότερα υψηλότερη πυκνότητα βλάστησης παρουσιάζει χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ρύθμισης της εισερχόμενης ακτινοβολίας μέσω της σκίασης αλλά και του συνεπακόλουθου όγκου της βιομάζας που διαπνέει.
- Σημαντικός είναι ο ρόλος της σκιάς των δένδρων στα πάρκα καθώς με περισσότερη σκιά προσφέρουν καλύτερη θερμική άνεση. Ειδικά σε κλιματικές ζώνες με αυξημένη ηλιοφάνεια, η παράμετρος που καθορίζει τη θερμική άνεση (αίσθηση) είναι η ακτινοβολία.
- Η παρουσία δένδρων συμβάλλει στην άμβλυνση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (μειώνουν την ηλιακή και θερμική ακτινοβολία) και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του αστικού πληθυσμού. Τα οφέλη των δένδρων όμως ξεπερνούν το πλαίσιο της βιοκλιματολογίας αφού προσφέρουν υπηρεσίες στην ευεξία του πολίτη και στην αισθητική αναβάθμιση του χώρου.
- Η μικροκλιματική απόδοση των δένδρων εξαρτάται από τον τύπο των δένδρων (φυλλοβόλα ή αειθαλή) και κυρίως από την πυκνότητα των φύλλων τους, χωρίς όμως να παραβλέπεται και η συμβολή των άλλων παραμέτρων, όπως το ύψος του δένδρου και το ύψος του κορμού. Εκτός από τον όγκο της βιομάζας έχει σημασία ο ρυθμός διαπνοής του φυτικού είδους. Συνεπώς υψηλότερη ψυκτική απόδοση συναντάται σε δένδρα που καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατά τη θερμική περίοδο του έτους. Τέτοια δένδρα είναι συχνά τα φυλλοβόλα.
- Ο βαθμός ψύξης που προσφέρουν τα δένδρα όταν τοποθετούνται εντός αστικών φαραγγιών εξαρτάται από την

έκταση της σκιάς, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου (όσο πιο ψηλός είναι ο λόγος H/W τόσο μικρότερο είναι το φαινόμενο ψύξης) και τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα τόσο μέσα όσο και ανάμεσα στα αστικά φαράγγια.

- Η υψηλότερη πυκνότητα των δένδρων συμβάλλει περισσότερο στη βελτίωση της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) και των άλλων βιομετεωρολογικών δεικτών που λαμβάνουν υπόψη το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου.
- Η ψυκτική επίδραση των δένδρων εξαρτάται και από τη θερμοκρασία του αέρα της γύρω περιοχής και ειδικότερα όσο υψηλότερη είναι αυτή η θερμοκρασία τόσο ισχυρότερη είναι η ψυκτική επίδραση. Ειδικότερα η μείωση της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να φθάσει τους 6 °C, με το μεγαλύτερο ποσοστό να αναφέρει μείωση της τάξης των 2 °C. Πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν φυτικά είδη που πάνω από ένα όριο θερμοκρασίας αέρα μειώνουν τη διαπνοή μέσω τροποποίησης της φυσιολογίας τους με αποτέλεσμα να αναστέλλεται η ψυκτική τους προσφορά.
- Οι πράσινες στέγες είναι δυνατόν να μειώσουν τη μέση θερμοκρασία του αέρα, όμως παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα όταν τοποθετούνται σε κτίρια των οποίων το ύψος είναι μικρότερο των 10 m. Ειδικότερα η μείωση της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να φθάσει τους 8 °C, με το μεγαλύτερο ποσοστό να αναφέρει μείωση της τάξης των 2 °C. Στην περίπτωση τους πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη πως οι άμεσα ωφελούμενοι είναι όσοι φιλοξενούνται σε αυτές και λιγότερο όσοι είναι σε απόσταση από αυτές.
- Οι πράσινες στέγες είναι σε θέση να μειώσουν τη χρήση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση κυρίως των υποκειμένων

σε αυτές ορόφων και επίσης προσφέρουν καλύτερη διαχείριση του όγκου των όμβριων υδάτων των καταιγίδων, βελτίωση της ποιότητας του αέρα και αύξηση της αστικής βιοποικιλότητας.

- Η βλάστηση συμβάλλει στη θερμική άνεση, ακόμη και όταν η επίδρασή της στη θερμοκρασία του αέρα είναι αμελητέα, καθώς μειώνει σε κάποιες περιπτώσεις την εκπομπή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας από τις αδιαπέραστες επιφάνειες και περιορίζει την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται.
- Η επίδραση της βλάστησης είναι πιο αποτελεσματική στο μικροκλίμα που παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερες τιμές σχετική υγρασίας. Πρέπει να σημειωθεί πως η βλάστηση μέσω των φυσιολογικών λειτουργιών της εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα με υδρατμούς κάτι που συχνά επιδεινώνει την θερμική αίσθηση του ανθρώπου.
- Όταν το περίβλημα των κτιρίων καλύπτεται από βλάστηση έχει παρατηρηθεί σημαντικό δυναμικό μείωσης των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος. Ειδικότερα όσο πιο θερμό και ξηρό είναι το κλίμα τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της βλάστησης στη θερμοκρασία αέρος και επιφανειών.
- Οι πράσινες περιοχές που συνδυάζονται με υδάτινα στοιχεία εντείνουν την ψυκτική επίδραση.

## 5.2 Οδηγός βέλτιστων πρακτικών αξιοποίησης της βλάστησης για τη βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών

Τέλος, για να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα από την εγκατάσταση των αστικών πράσινων υποδομών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω πρακτικές:

- Κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά οι συνθήκες του

τοπικού κλίματος και οι θερμικές απαιτήσεις των χρηστών.

- Η επιλογή και η διάταξη των δένδρων και των ειδών τους θα πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με τους ειδικούς τοπικούς αστικούς εξωτερικούς χώρους.
- Καθώς εντός των πάρκων η σκίαση αποτελεί τη μακράν πιο αποτελεσματική στρατηγική ψύξης θα πρέπει να προτιμάται μια κάλυψη με τις κόμες των δένδρων έτσι ώστε να εμποδίζεται η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας και παράλληλα να προσφέρεται ψύξη μέσω του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής.
- Σε περιοχές που χρησιμοποιούνται από τους κατοίκους κατά τη διάρκεια της ημέρας προτείνεται να σχεδιάζονται πάρκα και ανοικτοί χώροι με λιγότερο πλακόστρωτο χώρο και να καλύπτονται με περισσότερα δένδρα, θάμνους και άλλα συστήματα σκίασης.
- Σε ανοιχτά και ρηχά αστικά φαράγγια θα πρέπει να τοποθετούνται δένδρα με χαμηλό κορμό και μεγάλο πλάτος κόμης ενώ το αντίθετο προτείνεται για βαθιά αστικά φαράγγια.
- Όταν πραγματοποιείται τοποθέτηση νέων δένδρων τα είδη θα πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να είναι κατάλληλα για τις αστικές περιοχές και τα οποία να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
- Η τοποθέτηση μια ή δύο σειρών δένδρων στην πλευρά ενός κτιρίου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και συνεπώς σε θερμά κλίματα η χρήση τους αποτελεί πραγματικό πλεονέκτημα.
- Σε περιοχές που υπάρχουν ογκώδη κτίρια και ο χώρος για πράσινο είναι λίγος προτείνεται να τοποθετούνται δένδρα προς την κατεύθυνση του ανέμου για να βελτιώνονται τα οφέλη ψύξης στην περιοχή.
- Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη ψύξης από τα δένδρα η τοποθέτηση τους θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε: να αποφεύγεται η επικάλυψη μεταξύ τους, να παρέχουν περισσότερη σκίαση στα κτίρια και να δημιουργούν αποτελεσματικές συνθήκες αερισμού αποφεύγοντας τον αποκλεισμό των αιολικών διαδρομών μεταξύ των κτιρίων.
- Σε αστικές περιοχές με ζεστό και ξηρό κλίμα θα πρέπει να προτιμάται η χρήση δένδρων και όχι γρασιδιού, καθώς τα

δένδρα προσφέρουν ψύξη με λιγότερη κατανάλωση νερού.

- Σε πολύ πυκνές αστικές περιοχές στις οποίες δεν είναι δυνατή η προσθήκη βλάστησης στο έδαφος προτείνεται να κατασκευάζονται πράσινες στέγες, καθώς μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του φορτίου ψύξης των κτιρίων.
- Ο σχεδιασμός ανοικτών χώρων, όπως μια πλατεία θα πρέπει είναι προσαρμοσμένος στο κλίμα αλλά γενικότερα προτείνεται να περιλαμβάνει δένδρα για τη μεγιστοποίηση επιφανειών με σκιά, ενώ ο κύριος αιολικός διάυλος θα πρέπει να διατηρείται χωρίς δένδρα και να φυτεύεται με γρασίδι για να ελαχιστοποιείται η αποθήκευση θερμότητας.
- Σε επιφάνειες που δέχονται μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας προτείνεται η τοποθέτηση βλάστησης με τη μορφή πράσινων τοίχων. Με αυτό τον τρόπο η παρουσία της βλάστησης θα συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας και στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης.
- Σε φαράγγια δρόμων και πεζοδρόμια προτείνεται να δημιουργούνται δενδροστοιχίες για τη σκίαση των επιφανειών.
- Σε σημεία που απαιτείται η δημιουργία πυκνής σκιάς θα πρέπει να προτιμάται η τοποθέτηση πλατύφυλλων δένδρων. Η τοποθέτηση τους όμως πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η παγίδευση θερμότητας κάτω την κόμη τους τη νύχτα κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Για το λόγο αυτό προτείνεται η τοποθέτηση τους να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην σχηματίζουν συνεχή θόλο, επιτρέποντας τον αερισμό και τη διαφυγή της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος.

## BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

Charalampopoulos, I., & Chronopoulou-Sereli, A. (2005). The influence of urban green areas on discomfort and relative strain index spatial pattern. The case of "Elaionas" region in Athens, Greece. *Annalen Der Meteorologie*, 41.

Cleugh, H., & Grimmond, S. (2012). Urban Climates and Global Climate Change. In *The Future of the World's Climate* (pp. 47–76).

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386917-3.00003-8>

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