



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ | ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΠΜΣ Εφαρμοσμένες Πολιτικές και
Τεχνικές Προστασίας του Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ

Η περίπτωση της ακαδημίας Πλάτωνος με τη χρήση του
λογισμικού envi-met

Στέργιος Κουτσανίτης

Επιβλέπουσα: Σίνου Μαρία

Αθήνα, Μάιος 2021

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Περιβαλλοντική αναβάθμιση θερμικών συνθηκών σε κλίμακα γειτονιάς: Η περίπτωση της ακαδημίας Πλάτωνος με τη χρήση του λογισμικού ENVI-met.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΙΝΟΥ ΜΑΡΙΑ

Η Τριμελής Επιτροπή

Σίνου Μαρία

Γεώργιος Βαρελίδης

Δημήτριος Αλεξάκης

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Στέργιος Κουτσανίτης του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 141 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Στέργιος Κουτσανίτης



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ | ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΠΜΣ Εφαρμοσμένες Πολιτικές και
Τεχνικές Προστασίας του Περιβάλλοντος

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ

Η περίπτωση της ακαδημίας Πλάτωνος με τη χρήση του
λογισμικού envi-met

Στέργιος Κουτσανίτης

Αθήνα, 2021

Copyright © Κουτσανίτης Στέργιος, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved.

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

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο **«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ. Η περίπτωση της ακαδημίας Πλάτωνος με τη χρήση του λογισμικού *envi-met.*»** εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος (Ε.Π.ΤΕ.Π.Π.) του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, σε συνεργασία με το Τμήμα Διοίκησης, Διαχείρισης και Μάρκετινγκ του Ευρωπαϊκού Πανεπιστημίου Κύπρου. Υπεύθυνη επιβλέπουσα της εργασίας είναι η Μαρία Σίνου.

Με την ολοκλήρωση της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην εκπόνησή της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα της εργασίας Καθ. Σίνου Μαρία για την πολύτιμη βοήθεια, την διαρκή υποστήριξη και την ανεκτίμητη συμβολή της στην ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Β. Ψιλόγλου και τον Φ. Πιέρρο στο Μετεωρολογικό Σταθμό Θησείου, για την συνεργασία τους και την καθοριστική βοήθεια στην συλλογή των δεδομένων που χρειάστηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξη σε κάθε μου εγχείρημα, και στους οποίους αφιερώνω με όλη μου την αγάπη τη συγκεκριμένη μελέτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Ερευνητικά ερωτήματα	4
Περιγραφή Ενοτητών	5
1. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ	7
1.1. Περιβαλλοντικές συνθήκες στο δομημένο περιβάλλον.....	7
1.1.1. Ενεργειακό ισοζύγιο κτιριακού τομέα	8
1.2. Αστικό μικροκλίμα	10
1.2.1. Αστική Μορφολογία	11
1.2.2. Συντελεστής θέασης του ουρανού.....	12
1.2.3. Φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας	13
1.3. Περιβαλλοντικές παράμετροι που καθορίζουν την κλιματική ποιότητα.....	14
1.3.1. Πεδίο Ακτινοβολίας	15
1.3.2. Πεδίο Ανέμου	17
1.3.3. Θερμοκρασία και υγρασία	18
1.4. Κλιματική Ποιότητα στον Αστικό Χώρο	19
1.5. Προσαρμογή Κτιριακού Τομέα στη Κλιματική Αλλαγή.....	23
1.6. Δίκτυο Πρασίνου στο Δομημένο Περιβάλλον	25
1.6.1. Αστικό πράσινο	25
1.6.2. Πράσινες Υποδομές – “Green Infrastrucure”	27
1.7. Τεχνικές Βελτίωσης Μικροκλίματος	28
2. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	31
2.1. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός σε πολεοδομική κλίμακα	33
2.2. Βελτίωση του Αστικού Μικροκλίματος μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	37
2.2.1. Ηλιοπροστασία - Σκίαση ανοιγμάτων.....	39
2.2.2. Επάρκεια θερμικής μάζας - Θερμομόνωση κελύφους.....	40
2.2.3. Φυσικός αερισμός εσωτερικού χώρου	41
2.2.4. Συμβολή του Πρασίνου.....	41
2.2.5. Φυτεμένα δώματα.....	49
2.2.6. Υλικά Επίστρωσης Χώρων.....	51
2.2.7. Υδάτινες επιφάνειες	55
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET	57
3.1. Πρόγραμμα Προσομοίωσης Μικροκλιματικών συνθηκών ENVI-met.....	57
3.2. Αρχιτεκτονική του Μοντέλου Προσομοίωσης	60
3.2.1. Κύριο 3D μοντέλο	62

3.2.2. Πλευρικές οριακές συνθήκες (LBC).....	63
3.3. Ροή εργασίας στο λογισμικό ENVI-met v.4.4.5	65
3.3.1. Μοντέλο εισόδου περιοχής μελέτης	65
3.3.2. Ενημερώσεις ENVI και υποστήριξη διανυσματικών δεδομένων	66
3.3.3. Ετικέτες δεδομένων εισόδου	69
3.3.4. Βάση Δεδομένων λογισμικού ENVI-met	76
3.3.5. Απαιτήσεις δεδομένων καιρού και ρυθμίσεων	77
3.3.6. Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης	78
3.3.7. Αρχεία εξόδου προσομοίωσης	79
4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	80
4.1. Ευρύτερη Περιοχή μελέτης: Ακαδημία Πλάτωνος	80
4.1.1. Χαρακτήρας της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	81
4.1.2. Πολεοδομική Μελέτη.....	83
4.2. Μελέτη Μικροκλιματικής Ανάλυσης σε κλίμακα Γειτονίας	86
4.3. Μεθοδολογία Εφαρμογής Μικροκλιματικής Ανάλυσης στο Λογισμικό ENVI-met V.4.4.5	89
4.3.1. Συλλογή – Επεξεργασία Πρωτογενών Δεδομένων.....	90
4.3.2. Δημιουργία – Σχεδιασμός μοντέλου της περιοχής μελέτης	93
4.3.3. Καθορισμός υλικών δομημένου περιβάλλοντος – Σενάρια	97
4.3.4. Έλεγχος μοντέλου προσομοίωσης.....	98
4.3.5. Δημιουργία προσομοίωσης	100
4.3.6. Οπτικοποίηση και Ανάλυση προσομοίωσης.....	102
5. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET 104	
5.1. Προτάσεις Βελτίωσης των Θερμικών Συνθηκών – Περιγραφή Σεναρίων	104
5.2. Περιγραφή παραμέτρων προς Ανάλυση και πρώτη απεικόνιση.....	106
5.3. Αποτελέσματα Παραμετρικής Ανάλυσης	117
5.3.1. Υψομετρική ανάλυση θερμοκρασίας αέρα στα Σενάρια	118
5.3.2. Δυσδιάστατη απεικόνιση αποτελεσμάτων ανά υψόμετρο	130
5.3.3. Τρισδιάστατη απεικόνιση αποτελεσμάτων.....	137
5.3.4. Συγκριτικά αποτελέσματα βελτίωσης μικροκλίματος	138
5.3.5. Ανάλυση δείκτη θερμικής άνεσης για τα παραμετρικά σενάρια.....	141
5.4. Γενικά συμπεράσματα	147
5.5. Αξιολόγηση Εφαρμογής	151
5.6. Προτάσεις Εξέλιξης	153
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	156

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.2-1: Ποσοστό σκιασμού φυλλοβόλων δέντρων του ελληνικών χώρου ανάλογα με το σχήμα, και τα χαρακτηριστικά της κόμης.....	48
Πίνακας 2.2-2: Ιδιότητες υλικών που χρησιμοποιούνται σε δαπεδοστρώσεις. Οι τιμές με (*) προέρχονται από επιτόπιες μετρήσεις σε υπαίθριους χώρους στη Θεσσαλονίκη (Χατζηδημητρίου et al, 2008).	53
Πίνακας 4.3-1: Παράμετροι καθορισμού γεωμετρίας στο μοντέλο	96
Πίνακας 4.3-3: Καθ' ύψος οργάνωση του πλέγματος του μοντέλου με $dz=2.00m$ και οι θέσεις των υποδοχένων στη περιοχή μελέτης του μοντέλου	99
Πίνακας 4.3-4: Ορισμός αρχικών – βασικών συνθηκών μοντέλου προσομοίωσης.....	101
Πίνακας 5.1-1: Σενάρια Εφαρμογής Μικροκλιματικής μελέτης περίπτωσης.....	105
Πίνακας 5.2-1: Κατόψεις υλικών εδάφους και βλάστησης για τα Μοντέλα στη περιοχή μελέτης (SPACES, ENVI-met)	109
Πίνακας 5.2-2: Υλικά επικάλυψης κάθετων επιφανειών για τα Μοντέλα εφαρμογής (ΒΔ υλικών ENVI-met).....	110
Πίνακας 5.2-3: Υλικά εδαφοκάλυψης Μοντέλων εφαρμογής (ΒΔ υλικών ENVI-met)	111
Πίνακας 5.2-4: Επιλεγμένα Είδη Βλάστησης στο Μοντέλο υφιστάμενης Κατάστασης στη περιοχή μελέτης (Albero, ENVI-met).....	113
Πίνακας 5.2-5: Πρόσθετα εναλλακτικά είδη βλάστησης για τα Σενάρια Βλάστησης (Albero, ENVI-met)	113
Πίνακας 5.2-6: Τρισδιάστατη άποψη των διαφορετικών Σεναρίων εφαρμογής (SPACES)	114
Πίνακας 5.2-7: Τρισδιάστατη άποψη των διαφορετικών Σεναρίων εφαρμογής.....	115
Πίνακας 5.2-8: Τρισδιάστατη άποψη των διαφορετικών Σεναρίων εφαρμογής.....	116
Πίνακας 5.3-1: Συγκεντρωτικός Πίνακας αποτελεσμάτων της μέσης θερμοκρασίας του αέρα στα παραμετρικά σενάρια εφαρμογής για τις 15:00 και 20:00	124
Πίνακας 5.3-2: Διαγράμματα σύγκρισης της μέσης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με το υψόμετρο καταγραφής	127
Πίνακας 5.3-3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μείωσης της θερμοκρασίας ανά οδική αρτηρία (14:00).....	133
Πίνακας 5.3-4: Καθύψος απεικόνιση αποτελεσμάτων κατανομής της θερμοκρασίας για τα διαφορετικά σενάρια εφαρμογής (14:00)	134
Πίνακας 5.3-5: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αέρα επί της οδού Πλάτωνος.....	137
Πίνακας 5.3-6: Καθ' ύψος θερμοκρασιακή σύγκριση παραμετρικών σεναρίων εφαρμογής με τις συνθήκες της υφιστάμενης κατάστασης (Σενάριο 1)	139
Πίνακας 5.3-7: Καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας στα παραμετρικά σενάρια εφαρμογής σε σχέση με το υφιστάμενο για τη διάρκεια της ημέρας	140
Πίνακας 5.3-8: Διαγράμματα απεικόνισης σύγκρισης της ανακλαστικότητας των υλικών σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας στις 14:00 (Σενάρια S1 – S2).....	144
Πίνακας 5.3-9: Διαγράμματα απεικόνισης του δείκτη θερμικής άνεσης για σενάρια εφαρμογής για το ύψος κίνησης του ανθρώπου (1,8μ) στις 14:00 και 17:00.....	145

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1-1: Αριθμός των ημερών που χαρακτηρίζονται ως «τροπικές», δηλαδή έχουν θερμοκρασία ημέρας και νύκτας άνω των 35 και 20 βαθμών Κελσίου αντίστοιχα, για τα διαστήματα 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.(Πηγή: ΕΕΑ, 2012).....	8
Σχήμα 1.2-1: Συντελεστής θέασης του ουρανού, (α) η τομή του ημισφαιρίου (β).....	12
Σχήμα 1.3-1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας.....	16
Σχήμα 1.3-2: Κύριες συνιστώσες ακτινοβολίας στο αστικό περιβάλλον	16
Σχήμα 1.3-3: Κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου για τρεις διαφορετικές περιοχές. Η τραχύτητα (α) της επιφάνειας είναι μεγαλύτερη σε πυκνοδομημένη πόλη με ψηλά κτίρια	17
Σχήμα 1.3-4: Σχηματική αναπαράσταση ροής ανέμου σε αστική περιοχή. Ο άνεμος που έρχεται από τις περιαστικές περιοχές διαφοροποιείται στον αστικό θόλο	18
Σχήμα 1.4-1: Βασικοί Παράγοντες Θερμικής Άνεσης	21
Σχήμα 2.2-1: Σκίαση με δέντρα. Το ύψος του δέντρου και η ερριμένη σκιά του	40
Σχήμα 2.2-2: Σκίαστρα κεκλιμένα, διακοπτόμενα σε νότια όψη	40
Σχήμα 2.2-3: Η θέση των δέντρων ή/και θάμνων καθορίζει την κατεύθυνση του δροσερού ανέμου	41
Σχήμα 2.2-4: Η βλάστηση διευκολύνει τη διείδυση ή εκτροπή του ανέμου από το κτίριο.....	44
Σχήμα 2.2-5: Ελαχιστοποίηση της επίδρασης του χειμερινού ανέμου	44
Σχήμα 2.2-6: Βελτιστοποίηση της επιρροής του καλοκαιρινού αερισμού-δροσισμού	44
Σχήμα 2.2-7: επιμήκης δασική συστάδα δένδρων δημιουργεί μικρή προστατευόμενη περιοχή.....	45
Σχήμα 2.2-8: μια μικρή συστάδα δένδρων προστατεύει μια μεγαλύτερη περιοχή.....	45
Σχήμα 2.2-9: μια συστάδα με κεκλιμένη κώμη είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη συστάδα δένδρων με επίπεδη κώμη.....	45
Σχήμα 2.2-10: Οι συμπαγείς φράκτες δημιουργούν στροβιλισμούς, ενώ συνδυασμός δέντρων και θάμνων αυξάνει την ηρεμία	46
Σχήμα 2.4-8: Τα δέντρα εκτρέπουν τον αέρα	47
Σχήμα 2.4-9: Τα δέντρα τον διευθύνουν προς το κτίριο	47
Σχήμα 2.2-13: Σκίαση νότιας όψης κτιρίου από φυλλοβόλο δέντρο τη θερινή περίοδο, χωρίς να παρεμποδίζεται σημαντικά ο ηλιασμός του τη χειμερινή περίοδο.....	47
Σχήμα 2.2-14: Προτεινόμενα ύψη φύτευσης, αναλόγως με την απόσταση, για νότιο	48
Σχήμα 2.2-15: Μετρήσεις επιφανειακών θερμοκρασιών σε φυτεμένη επιφάνεια με γρασίδι και σε ασφαλτο κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι, στο κέντρο της Αθήνας	52
Σχήμα 2.2-16: Φυσική ψύξη κτιρίου μέσω εξάτμισης νερού την ημέρα και ακτινοβολία ...	56
Σχήμα 3.1-1:Εργαλεία ανάλυσης μικροκλιματικών συνθηκών στο λογισμικό ENVI-met (Πηγή: https://www.ENVI-met.com/features/)	58
Σχήμα 3.3-1: Τα διαθέσιμα κάθετα πλέγματα σε ENVI-met, από αριστερά προς τα δεξιά (Equidistant grid, Telescoping grid with extension factor, Telescoping grid with extension factor ξεκινώντας από z, Telescoping grid χωρίς επέκταση)	70

Σχήμα 3.3-1: Απεικόνιση πραγματικού είδους δέντρου η Μαύρη λεύκα (Populus Nigra, 0000PN) από την εφαρμογή Albergo του ENVI-met	74
Σχήμα 3.3-3: Βάση Δεδομένων του λογισμικού πακέτου ENVI-met	77
Σχήμα 4.1-1: Όρια Ακαδημία Πλάτωνος	81
Σχήμα 4.1-2: Χάρτης υφιστάμενων χρήσεων γης της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης (Πηγή: http://msa.ypeka.gr)	83
Σχήμα 4.1-3: Δίκτυο θεσμοθετημένων κοινόχρηστων και κοινωφελών χώρων (Πηγή: Β' Φάση Μελέτης Πολεοδομικού Ανασχεδιασμού γειτονιάς Ακαδημίας Πλάτωνος, Διεύθυνση Σχεδίου Πόλεως Δ. Αθηναίων, Σεπτέμβριος 2010)	86
Σχήμα 4.2-1: Περιοχή μελέτης εφαρμογής της μικροκλιματικής μελέτης στην Ακαδημία Πλάτωνος (Φωτογραφίες, Παράρτημα V)	87
Σχήμα 4.2-2: Τρισδιάστατη όψη της περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Earth).....	87
Σχήμα 4.2-3: Φαινόμενο Αστικής Χαράδρας στη περιοχή μελέτης (Πηγή: Google Earth). 88	
Σχήμα 4.2-4: Χαρακτηριστικό παράδειγμα πολυκατοικίας με καθ' ύψος υποχώρηση (σκίτσο τομής).....	89
Σχήμα 4.3-1: Διάγραμμα ροής – Μεθοδολογία υλοποίησης μικροκλιματικής μελέτης.....	90
Σχήμα 4.3-2: Χαρακτηριστικοί όγκοι στη περιοχή μελέτης	91
Σχήμα 4.3-3: Ύψος κτιρίων και υφιστάμενη βλάστηση στη περιοχή μελέτης (χωρίς περιστροφή του Βορρά) (Επεξεργασία Qgis)	92
Σχήμα 4.3-4: Εισαγωγή αρχείου .shp για τα κτίρια, βλάστηση και εδαφοκάλυψη στη εφαρμογή MONDE	94
Σχήμα 4.3-5: Επισκόπηση των διανυσματικών αρχείων εισαγωγής κτίρια και βλάστηση. 94	
Σχήμα 4.3-6: Δημιουργία αρχείου .INX	96
Σχήμα 4.3-7: Τρισδιάστατη όψη μοντέλου της περιοχής μελέτη με την προσαρμογή παραθύρων (αρχείο .INX, Εφαρμογή SPACES)	98
Σχήμα 4.3-8: Καθορισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μοντέλου.....	99
Σχήμα 4.3-9: Καθορισμός σημείου αποθήκευσης του μοντέλου προσομοίωσης.....	100
Σχήμα 4.3-10: Διάγραμμα απεικόνισης θερμοκρασίας και υγρασίας της 9η Αυγούστου 2019, με χρονικό βήμα μιας ώρας.....	102
Σχήμα 5.3-1: Σύγκριση αποτελεσμάτων 1 ^{ου} Σεναρίου σε σχέση με τις αρχικές τιμές του μετεωρολογικού σταθμού	118
Σχήμα 5.3-2: Θερμικές Συνθήκες Υπάρχουσας Κατάστασης - Σενάριο 1.....	120
Σχήμα 5.3-3: Καθ' ύψος εξέλιξης της σχετικής υγρασίας στο υφιστάμενο μοντέλο για τις 14:00 το μεσημέρι και 20:00 το βράδυ	121
Σχήμα 5.3-4: Χρήση Ψυχρών Υλικών Κατασκευής – Σενάριο 2	121
Σχήμα 5.3-5: Χρήση διαφορετικών πυκνοτήτων στη Βλάστηση – Σενάριο 3 με υψηλό δείκτη LAD	123
Σχήμα 5.3-6: Χρήση διαφορετικών πυκνοτήτων στη Βλάστηση – Σενάριο 4 με χαμηλό δείκτη LAD	123
Σχήμα 5.3-7: Πρόταση Βελτίωσης Μικροκλίματος (Χρήση ψυχρών υλικών και υψηλή πυκνότητα σε βλάστηση)- Σενάριο 5.....	124
Σχήμα 5.3-8: Αστική μορφολογία δομημένου περιβάλλοντος στη περιοχή μελέτης (ύψη κτιρίων)	130

Σχήμα 5.3-9: Καθ'ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας για τα 1,8μ και 9μ στα παραμετρικά σενάρια εφαρμογής σε σχέση με το υφιστάμενο για τη διάρκεια της ημέρας 140

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.2-1: Παρουσίαση μοντέλου στο ENVI-met.....	60
Εικόνα 3.2-2: Σχηματική αποτύπωση πλευρικών οριακών συνθηκών (LBC).....	64
Εικόνα 3.3-1: Εργαλειοθήκη εφαρμογών του λογισμικού πακέτου ENVI-met v.4.4.5	65
Εικόνα 3.3-1: Επεξεργαστής τρισδιάστατων αντικειμένων <i>3D SPACES (Huttner, 2012)</i> ..	67
Εικόνα 5.3-1: Θέση και απόσταση Μετεωρολογικού Σταθμού στο Θησείο σε σχέση με την περιοχή μελέτης.....	119

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λέξεις Κλειδιά: αστικό μικροκλίμα, θερμική άνεση, γειτονιά

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διερευνά τους τρόπους βελτίωσης ενός αστικού μικροκλίματος στην Αθήνα, και συγκεκριμένα στην περιοχή της Ακαδημίας Πλάτωνος. Η εργασία εστιάζει στην κλίμακα της γειτονιάς, όπου θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό μικροκλιματικής ανάλυσης Envi-met, προκειμένου να αναλυθούν οι τρόποι βελτίωσης συνθηκών του αστικού μικροκλίματος μέσω τεχνικών σχεδιασμού και διαφορετικών παραμετρικών σεναρίων. Θα αποδειχθεί ότι η εφαρμογή ψυχρών υλικών και υψηλής πυκνότητας βλάστησης έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τη θερμοκρασία του αστικού περιβάλλοντος και να βελτιώσουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης, ακόμη και σε πυκνοδομημένες περιοχές με μικρά αστικά κενά.

Με τον όρο «αστικό μικροκλίμα» νοούνται οι συνθήκες του μικροκλίματος, όπως αυτές διαμορφώνονται λόγω της αλληλεπίδρασης τους με τα στοιχεία αστικής μορφολογίας (δομικά στοιχεία, κτίρια, βλάστηση κ.α.). Η διαρκής υποβάθμισή του τα τελευταία χρόνια, με τα πυκνοδομημένα αστικά κέντρα, την άνοδο της θερμοκρασίας και την περιβαλλοντική μόλυνση, έχουν αναδείξει την αναγκαιότητα του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της αειφόρου ανάπτυξης.

Στόχος της εργασίας είναι η μοντελοποίηση του αστικού μικροκλίματος σε κλίμακα γειτονιάς, βάσει της πολυπλοκότητας που διαμορφώνει ο τρισδιάστατος χώρος στη περιοχή της Ακαδημίας Πλάτωνος για την βελτίωση των θερμικών συνθηκών μέσω της συμβολής του αστικού πρασίνου και παθητική ψύξη μέσω τεχνικών ψυχρών υλικών. Η παραμετρική μοντελοποίηση των διαφορετικών μικροκλιματικών σεναρίων βελτίωσης έγινε μέσω προσομοιώσεων στο υπολογιστικό μοντέλο ENVI-met v4.4.5 Summer20 Lite και εστιάζει στην ανάδειξη του βέλτιστου σεναρίου.

Τα αποτελέσματα της μελέτης εστιάζουν στη ανάλυση της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, που επιδρούν στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Η έρευνα οδήγησε σε συμπεράσματα σχετικά με τις παρεμβάσεις βιοκλιματικής ανάπλασης που δύναται να συνεισφέρουν στην περιβαλλοντική αναβάθμιση των πυκνοδομημένων κέντρων των ελληνικών πόλεων και στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης των κατοίκων.

ABSTRACT

Λέξεις Κλειδιά: urban microclimate, thermal comfort, neighborhood

This master's thesis explores ways to improve an urban microclimate in Athens, and specifically in the neighborhood of Academia Platonos. The research focuses on the scale of a neighborhood, where the ENVI-met (v4.4.5 Summer20) software for microclimate analysis will be used, in order to analyze the ways of improving the conditions of an urban microclimate through design techniques and different parametric scenarios. We will prove that the application of passive cooling technologies (such as reflective materials) and urban green (such as vegetation of high density) can reduce the urban environment's temperature and improve the conditions of thermal comfort, even in densely populated areas with small urban voids.

The term of «urban microclimate» consists of local variations in wind, humidity, solar radiation and temperature as a result of urban morphology parameters (build infrastructures, vegetation, surface materials). Given the complexity of the urban environment and the severe urban problems, the need for adaptation and change of that situation becomes increasingly important. The connection between the ecosystem and the cities should subsist as a sustainable way of development.

The aim of this thesis is the modeling of the urban microclimate on a scale of a neighborhood, based on the complexity of the three-dimensional space in the area of Academia Platonos to improve thermal conditions through the contribution of urban green and passive cooling techniques and cold materials. For the parametric modeling of the different scenarios for microclimatic improvement the computer model ENVI-met v4.4.5 Summer20 Lite was used in order to highlight the best scenario.

The results of this study focus on the analysis of air temperature and the average radiation temperature, which affect the thermal comfort conditions. The research led to conclusions regarding the urban design for bioclimatic redevelopment that can contribute to the environmental upgrade of urban cities in Greece and the improvement of thermal comfort conditions.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μεγαλύτερο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού συγκεντρώνεται πλέον στις σύγχρονες πόλεις. Τα πολεοδομικά και περιβαλλοντικά προβλήματα που υπάρχουν σε συνδυασμό με το παγκόσμιο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής δημιουργούν συνθήκες υποβάθμισης του αστικού περιβάλλοντος και κατ' επέκταση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Τα Ηνωμένα Έθνη εκτιμούν ότι μέχρι το 2030 πάνω από το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει στις πόλεις (UNCHS, 2001). Παράλληλα, οι πόλεις καταγράφεται ότι καταναλώνουν τα ¾ της παγκόσμιας ενέργειας προκαλώντας τα ¾ της παγκόσμιας ρύπανσης.

Στον πυκνοδομημένο ιστό των κέντρων των πόλεων, συμπεριλαμβανομένων και των ελληνικών, παρατηρούνται ολοένα και υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με την ύπαιθρο ή τα προάστιά τους. Το γεγονός αυτό, γνωστό και ως φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ), αποτελεί ένα ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα για τις συνθήκες θερμικής άνεσης στο αστικό περιβάλλον, την ποιότητα ζωής των κατοίκων, τη δημόσια υγεία, την ενεργειακή κατανάλωση, και τα αυξημένα επίπεδα ρύπων (Gaitani et al, 2011).

Η αποκατάσταση του μικροκλίματος των πόλεων λόγω των ακραίων θερμοκρασιών που δημιουργούνται αποτελεί εκτεταμένο θέμα μελέτης και σημασίας τα τελευταία χρόνια. Με τον όρο «αστικό μικροκλίμα» νοούνται οι συνθήκες του μικροκλίματος (ηλιακή ακτινοβολία, ροή ανέμου, θερμοκρασία και υγρασία), όπως αυτές διαμορφώνονται λόγω της αλληλεπίδρασης τους με τα στοιχεία αστικής μορφολογίας (δομικά στοιχεία, κτίρια, βλάστηση κ.α.). Το μικροκλίμα κάθε αστική περιοχής εμφανίζει έντονες παραλλαγές καθώς εμφανίζονται συχνά διαφοροποιήσεις στο κλίμα από τόπο σε τόπο σε απόσταση ακόμη και μερικών μέτρων (Santamouris and Asimakopoulos, 1996, Kleerekoper, et al, 2012). Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στο μικροκλίμα είναι η τοπογραφία, το ανάγλυφο του εδάφους, οι επιφάνειες εδαφοκάλυψης και η αστική μορφολογία (Oke, 1976; Spragnolo and Dear, 2003). Σε μικρότερη χωρική κλίμακα (γειτονιάς) η γεωμετρία, η απόσταση και ο προσανατολισμός των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων επιδρούν στο μικροκλίμα στο εσωτερικό της πόλης.

Στοχεύοντας στην κατανόηση της διαμόρφωσης των αστικών μικροκλιμάτων, στη διερεύνηση τεχνικών και στρατηγικών για τη βελτίωσή τους και κατ' επέκταση την αναβάθμιση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος και αντιμετώπισης φαινομένων όπως η ΑΘΝ ή της Αστικής Χαράδρας κρίνεται σημαντικό να γίνονται μελέτες επίδρασης των παραγόντων που επιδρούν στο μικροκλίμα.

Στα πολεοδομικά και περιβαλλοντικά προβλήματα του δομημένου περιβάλλοντος συγκαταλέγονται επίσης η υπερεκμετάλλευση του περιβάλλοντα χώρου με την

υπεροχή του δομημένου περιβάλλοντος έναντι του φυσικού περιβάλλοντος, οι υψηλές πυκνότητες δόμησης σε συνδυασμό με την απουσία βλάστησης, ατμοσφαιρική ρύπανση. Συγκεκριμένα, οι πυκνοδομημένες περιοχές των κέντρων των ελληνικών πόλεων είναι ιδιαίτερα υποβαθμισμένες ως προς την ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος, τόσο του μικροκλίματος όσο και του κτιριακού αποθέματος. Συνεπώς, υπό το πρίσμα ενός φιλικού προς το περιβάλλον κτιριακού σχεδιασμού και αντιμετώπισης των ενεργειακών ζητημάτων που προκύπτουν από το κτιριακό τομέα, τα κτίρια οφείλουν να αποτελούν αντικείμενο εκσυγχρονισμού, όπου ψυχρά υλικά κατασκευής για παθητική ψύξη να αντικαθιστούν τα υφιστάμενα συμβατικά υλικά κατασκευής κάθετων αλλά και οριζόντιων επιφανειών.

Με την όξυνση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, καθίσταται αναγκαία η περιβαλλοντική αναβάθμιση των πόλεων και η υιοθέτηση αρχών και μεθόδων στον αστικό σχεδιασμό που θα αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση των οικολογικών επιπτώσεων, στην αναβάθμιση του αστικού τοπίου και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων (Μακροπούλου, 2009). Οι συνθήκες αυτές δημιουργούν νέα δεδομένα στη ανάπτυξη των πόλεων όπως η υιοθέτηση κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, οικολογικά υλικά δόμησης, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των παλαιών κτιρίων, η βιοκλιματικές μελέτες εφαρμογής για κάθε σχεδιασμό, η βιοκλιματική αναβάθμιση των αστικών υπαίθριων χώρων, η εφαρμογή βιώσιμων αστικών συστημάτων μεταφορών (όπως ποδηλατόδρομοι), η ενίσχυση πράσινων χώρων και δομών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτέλεσε η μελέτη του βιοκλιματικού σχεδιασμού των αστικών κέντρων και συγκεκριμένα μιας πυκνοδομημένης περιοχής στην Ακαδημία Πλάτωνος που χαρακτηρίζεται από απουσία βλάστησης και στενούς δρόμους. Στόχος της μελέτης αποτέλεσε η θερμική βελτίωση του χώρου για συνθήκες ακραίων θερμοκρασιών που υφίστανται το καλοκαίρι εντός πόλεων. Η εκτίμηση των συνθηκών άνεσης των κατοίκων μεταξύ διαφορετικών διαμορφώσεων του χώρου έγινε μέσω προσομοιώσεων του μικροκλίματος με το λογισμικό ENVI-met.

Όπως έχει αναφερθεί, μια σημαντική επίπτωση της αστικής ανάπτυξης στο περιβάλλον είναι η αστική υπερθέρμανση. Συνεπώς, είναι σημαντική η υιοθέτηση πρακτικών αποτελεσματικής αντιμετώπισης της υπερθέρμανσης του αστικού περιβάλλοντος για την αποφυγή φαινομένων όπως της Αστικής Θερμικής νησίδας. Στις μεθόδους αντιμετώπισης θερμικών ζητημάτων στις πόλεις είναι η χρήση ψυχρών υλικών και ενίσχυση του περιβάλλοντα χώρου με βλάστηση ή η χρήση κατάλληλων μέσων για την πτώση της θερμοκρασίας (ηλιοπροστασία, σκίαση, τοίχοι μάζας κτλ.). Για αυτόν τον λόγο, στη περιοχή μελέτης εφαρμόστηκαν και μελετήθηκαν 5 σενάρια, εκ των οποίων τα 4 βασίστηκαν στο σενάριο προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης της περιοχής μελέτης και χρήση των μετεωρολογικών δεδομένων

(θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου) από το Μετεωρολογικό Σταθμό στο Θησείο. Στα παραμετρικά σενάρια εφαρμογής που δημιουργήθηκαν με στόχο τη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών εφαρμόστηκαν μέθοδοι ανάπλασης, όπως αλλαγή των υλικών κατασκευής του δομημένου περιβάλλοντος (παθητική ψύξη μέσω τεχνικών ψυχρών υλικών) ή και ενίσχυση του χώρου με βλάστηση. Αυτό γιατί σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία η υψηλή ανακλαστικότητα και ο υψηλός συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας των ψυχρών υλικών βοηθά, ώστε οι επιφάνειες να απορροφούν λιγότερη θερμότητα και να παραμένουν ψυχρότερες από τις επιφάνειες με συμβατικά υλικά, ενώ η βλάστηση συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα, όσο αφορά τα παραμετρικά σενάρια στη περιοχή μελέτης, το 1^ο Σενάριο συνθέτει τη υφιστάμενη κατάσταση των υλικών και της ποσότητας πρασίνου όπου υπάρχει ήδη στη περιοχή, το 2^ο Σενάριο προκύπτει από την αλλαγή των συμβατικών υλικών του 1^{ου} Σεναρίου με ψυχρά υλικά κατασκευής κάθετων και οριζόντιων επιφανειών, δημιουργία ποδηλατόδρομου επί των κεντρικών αρτηριών και δημιουργία δύο πράσινων κτιρίων. Στη συνέχεια, τα μοντέλα βλάστησης του 3^{ου} και 4^{ου} Σεναρίου υιοθετούν τις θερμικές ιδιότητες των συμβατικών υλικών του 1^{ου} σεναρίου παραμετροποιώντας σε κάθε ένα τη ποσότητα και ποιότητα σε φύτευση (είδη με υψηλή ή αραιή πυκνότητα στη βλάστηση). Τέλος, το 5^ο Σενάριο αποτελεί μια σύνθεση του 2^{ου} και 3^{ου} Σεναρίου και πρόκειται για την ιδανική πρόταση εφαρμογής με στόχο τη μέγιστη βελτίωση των μικροκλιματικών παραμέτρων στη περιοχή μελέτης.

Τα αποτελέσματα της μελέτη εστιάζουν κυρίως στη ανάλυση της θερμοκρασίας του αέρα, ως ένα από του σημαντικότερους κλιματικούς παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής άνεσης καθώς επηρεάζει τις εναλλαγές της υγρασίας και τη μεταφορά θερμότητας από και προς την αστική επιφάνεια. Στη συνέχεια μέσω του λογισμικού ENVI-met υπολογίστηκε και αξιολογήθηκε επίσης η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ως η πιο σημαντική παράμετρος στις μελέτες θερμικής άνεσης, καθώς έχει τον πλέον καθοριστικό ρόλο μεταξύ των παραμέτρων που καθορίζουν το ισοζύγιο ενέργειας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον γύρω του.

Η μεθοδολογία της έρευνας βασίστηκε σε: α) επιλογή της περιοχής μελέτης βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων και παραμέτρων, β) συλλογή ερευνητικού υλικού από αρχεία και παρατήρησης της περιοχής μελέτης, γ) καταγραφή των δεδομένων και σχεδιασμός παραμέτρων που συνιστούν την περιοχή στην Ακαδημία Πλάτωνος (υψομετρική κατανομή κτιριακών όγκων, υλικά, βλάστηση), δ) τρισδιάστατη μοντελοποίηση του αστικού χώρου της περιοχής και δημιουργία των παραμετρικών σεναρίων εφαρμογής στο δομημένο περιβάλλον χρήση του υπολογιστικού μοντέλου ENVI-met, ε) μικροκλιματικές προσομοιώσεις στο ENVI-met, ζ) χωρική και ποσοτική ανάλυση αποτελεσμάτων μέσω διαγραμμάτων σε υπολογιστικά φύλλα

αλλά και δυσδιάστατων και τρισδιάστατων απεικονίσεων. Οι προσομοιώσεις υλοποιήθηκαν προκειμένου να διερευνηθεί το μικροκλίμα και οι δείκτες θερμικής άνεσης στους εξεταζόμενους χώρους, αλλά κυρίως για να εξεταστούν πολλαπλά σενάρια βιοκλιματικής ανάπλασης ώστε να επιλεγεί αυτό το οποίο φέρεται να είναι το αποτελεσματικότερο ως προς τη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η έρευνα οδήγησε σε συμπεράσματα σχετικά με τις παρεμβάσεις βιοκλιματικής ανάπλασης που δύνανται να συνεισφέρουν στην περιβαλλοντική αναβάθμιση των πυκνοδομημένων κέντρων των ελληνικών πόλεων και στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης των κατοίκων.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

Απώτερος σκοπός είναι η διερεύνηση της επίδρασης του περιβαλλοντικού αστικού σχεδιασμού και της βιοκλιματικής ανάπλασης των πυκνοδομημένων κέντρων στις προαναφερόμενες χωρικές κλίμακες σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, τα βασικά ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η παρούσα έρευνα είναι:

- Ποια είναι η θερμική κατάσταση του μικροκλίματος αστικών πυκνοδομημένων περιοχών που χαρακτηρίζονται από απουσία βλάστησης σε ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες και πώς η αστική μορφολογία με τα συμβατικά υλικά κατασκευής συμβάλει στη θερμοκρασιακή υποβάθμιση
- Ποια η επίδραση της χρήσης ψυχρών υλικών υψηλής ανακλαστικότητας έναντι των συμβατικών υλικών, η δημιουργία πράσινων κτιρίων και η αναδιαμόρφωση των υλικών εδαφοκάλυψης με τη δημιουργία ποδηλατοδρόμων στην βελτίωση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο μικροκλίμα
- Πώς η δημιουργία πράσινων κτιρίων (πρόσοψη και στέγη) μπορεί να επιφέρει ευνοϊκότερες συνθήκες στο περιβάλλοντα χώρο
- Πώς η ποιότητα, το είδος, η θέση και η πυκνότητα σε φυλλική επιφάνεια της βλάστησης μπορεί να βελτιώσει της θερμικές συνθήκες
- Πώς ο συνδυασμός των τεχνικών βελτίωσης του μικροκλίματος μπορεί να μειώσει συνολικά την θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και για τα διάφορα υψομετρικά επίπεδα στο μοντέλο
- Πώς η αστική μορφολογία επηρεάζει χωρικά την κατανομή της θερμοκρασίας στα διάφορα παραμετρικά μοντέλα εφαρμογής
- Πώς η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μπορεί να διαμορφώσει τις συνθήκες θερμικής άνεσης
- Ποια η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ υψηλότερων και χαμηλότερων υψομετρικών επιπέδων

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΤΗΤΩΝ

Η ερευνητική μεθοδολογία βάσει της οποίας μελετήθηκε το αντικείμενο της παρούσας μελέτης περιλαμβάνει τόσο το απαραίτητο θεωρητικό μέρος όσο και το πρακτικό μέρος της έρευνας. Έτσι, η παρούσα μελέτη χωρίζεται σε τρία μέρη ανάλυσης. Παρακάτω, λοιπόν αναλύεται το περιεχόμενο για κάθε μέρος της ανάλυσης.

Το πρώτο μέρος είναι θεωρητικό (Κεφάλαιο 1 & 2) και περιλαμβάνει ορισμένες βασικές και θεωρητικές έννοιες για ότι αφορά τη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου στο αστικό μικροκλίμα, με γνώμονα την ύπαρξη του φαινομένου της Κλιματικής Αλλαγής και την ανάγκη προσαρμογής σε αυτό. Συγκεκριμένα, αναλύεται πως τα αστικά προβλήματα (φαινόμενο Αστικοποίησης, Αστικής Θερμικής Νησίδας, Αστική Χαράδρα, έλλειψη πρασίνου) μπορούν να εντείνουν την αύξηση της θερμοκρασίας και των ενεργειακών αναγκών για ψύξη των κτιρίων και πως αυτό μπορεί να περιοριστεί μέσω της ανθρώπινης παρέμβασης και του ορθού βιοκλιματικού σχεδιασμού. Επίσης αναλύεται, πως το αστικό πράσινο, ως τρόπος σχεδιασμού, μπορεί να συμβάλει στην μείωση της θερμοκρασίας για βελτίωση των συνθηκών άνεσης στο αστικό περιβάλλον.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας (Κεφάλαιο 3) ως πρακτικό κομμάτι, γίνεται η ανάλυση του υπολογιστικού μοντέλου προσομοίωσης μικροκλίματος στο λογισμικό ENVI-met. Αναλύονται τα δεδομένα εισόδου στο προγνωστικό, τριών διαστάσεων και υψηλής ανάλυσης μικροκλιματικό μοντέλο για την δημιουργία των αρχείων προσομοίωσης, με στόχο τον υπολογισμό περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως ο άνεμος, οι τοπικές διαταραχές, η θερμοκρασία του ανέμου, η υγρασία, η ροή ακτινοβολίας και η διασπορά των ρύπων.

Στο τρίτο μέρος της εργασίας (Κεφάλαιο 4 & 5), ως πρακτικό κομμάτι, γίνεται η περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης στην Ακαδημία Πλάτωνος αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που συναντώνται στην υπό μελέτη περιοχή. Έτσι αναδεικνύονται τα περιβαλλοντικά και πολεοδομικά προβλήματα αυτής υποδεικνύοντας την αναγκαιότητα ανάπλασης του περιβάλλοντα χώρου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία και τα βήματα υλοποίησης του σχεδιασμού της περιοχής με στόχο την μικροκλιματική μοντελοποίηση στο λογισμικό ENVI-met. Η τρισδιάστατη πληροφορία που δημιουργείται στο περιβάλλον του ENVI-met αφορά την αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων του αστικού σχεδιασμού (κτίρια, δρόμου κ.α.) και του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, κ.α.). Η τρισδιάστατη αυτή πληροφορία δημιουργείται για τα διάφορα παραμετρικά μοντέλα εφαρμογής, όπου γίνεται και η αναλυτική περιγραφή των ιδιοτήτων των υλικών που επιλέχθηκαν για τις κάθετες και οριζόντιες επιφάνειες αλλά και το είδος βλάστησης βάσει της πυκνότητας του φυλλώματος και η θέση που επιλέχθηκε για τους δρόμους του μοντέλου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης με τα συμπεράσματα αυτής αλλά και προτάσεις προς επέκταση και μελλοντική εφαρμογή.

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μελέτης αυτής είναι το λογισμικό προσομοίωσης βιοκλιματικών παραμέτρων, ENVI-met με τις υπό μέρους εφαρμογές αυτού, όπου κάνει χρήση απλών παραδοχών για την αναπαράσταση του αστικού χώρου και των ροών ενέργειας σε αυτό, με στόχο τη προσομοίωση του αστικού μικροκλίματος κάθε περιοχής αλλά και περιβάλλον GIS για τη καλύτερη διαχείριση και αποτύπωση του όγκου της πληροφορίας που αφορά το αστικό μικροκλίμα. Η σύνδεση των δύο λογισμικών δημιουργεί κατάλληλες προϋποθέσεις διαλειτουργικότητας για μελλοντική αξιολόγηση μεγαλύτερων σε έκταση περιοχών μοντελοποίησης.

1. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ

1.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι πόλεις βρίσκονται στο μέτωπο των ταχύτερα εξελισσόμενων περιβαλλοντικών και κλιματικών αλλαγών. Αυτό οφείλεται στις αλλαγές των χρήσεων γης, σε πολεοδομική ανάπτυξη που δεν βασίζεται σε περιβαλλοντικές αρχές, στην αστική επέκταση αλλά και στην αυξημένη ανθρωπογενή δραστηριότητα που ενισχύει, χωρικά και χρονικά, τις πηγές θερμότητας, κ.λπ. (ΥΠΕΝ, 2016) Πάνω από το 70% του πληθυσμού της Ευρώπης ζει στις πόλεις, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί σε περίπου 80% μέχρι το 2030 (ΕΕΑ, 2012). Οι πόλεις αναπτύσσονται συνεχώς ακολουθώντας τις δημογραφικές μεταβολές, τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις οικονομικές αλλαγές. Αυτές οι αλλαγές οδηγούν σε αυξημένους κινδύνους και νέες προκλήσεις αλλά και σε νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, της ανταγωνιστικότητας, της υγείας και της αστικής βιοποικιλότητας. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα επιπλέον παράγοντα πίεσης, ο οποίος εκτιμάται ότι θα οξύνει τα τρέχοντα και μελλοντικά προβλήματα των πόλεων. (Διανέοσις, 2017). Συνεπώς η δυνατότητα των πόλεων να προσαρμοστούν στην κλιματική αλλαγή οφείλει να αποτελεί αντικείμενο μελέτης εν εξελίξει.

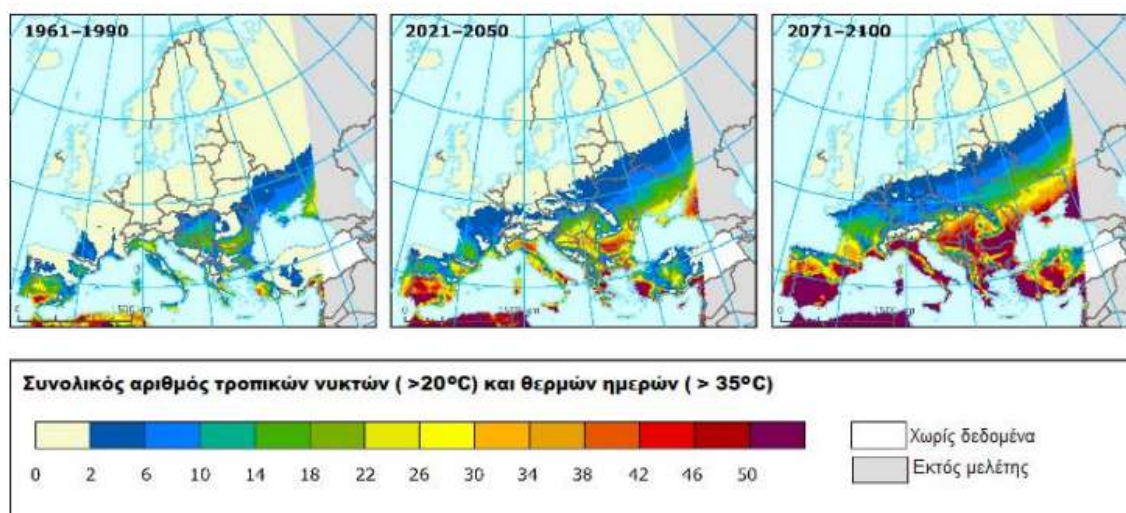
Η σχέση των πόλεων με την κλιματική αλλαγή είναι πολύπλευρη καθώς:

- Οι πόλεις καταναλώνουν περίπου το 60 έως 80% της παραγόμενης ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα και αποτελούν κύριες πηγές εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
- Η κλιματική αλλαγή θέτει κινδύνους στις αστικές υποδομές και στην ποιότητα της ζωής εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ακραίων καιρικών φαινομένων, ξηρασίας εδαφών και καυσώνων.
- Οι κτιριακές υποδομές είναι ευάλωτες σε ακραία καιρικά φαινόμενα που ενδεχομένως οφείλονται στην κλιματική αλλαγή.
- Ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσονται και λειτουργούν οι πόλεις, επηρεάζει τη ζήτηση ενέργειας και κατά συνέπεια τις εκπομπές διοξειδίου άνθρακα.
- Οι ροές ενέργειας στο αστικό περιβάλλον εξαρτώνται από τις χρήσεις/ κάλυψη γης (land use and land cover). Ο ρυθμός θέρμανσης σε περιφερειακή ή τοπική κλίμακα, είναι δυνατόν να επιβραδυνθεί μέσα από την επιλογή χρήσεων/καλύψεων γης.

Οι επιπτώσεις των καυσώνων είναι ιδιαίτερα σημαντικές στις πόλεις εξαιτίας και του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ), το οποίο περιγράφει την αυξημένη θερμοκρασία του αέρα μέσα στην πόλη σε σύγκριση με τη θερμοκρασία στις περιφερειακές περιοχές. Ενώ ειδικότερα, η συνεχής επέκταση των πόλεων και η

ραγδαία αύξηση των ενεργειακών αναγκών ιδιαίτερα κατά την εποχή του καλοκαιριού έχουν συντελέσει στη δημιουργία ενός εξαιρετικά επικίνδυνου ενεργειακού αποτυπώματος το οποίο έχει άμεσες επιπτώσεις στο κλίμα.

Στο **Σχήμα 1.1-1** παρουσιάζεται χρωματικά η αύξηση των ημερών που χαρακτηρίζονται ως «τροπικές», δηλαδή έχουν θερμοκρασία ημέρας και νύκτας άνω των 35 και 20 βαθμών Κελσίου αντίστοιχα (EEA, 2012). Η επιβάρυνση που εκτιμάται για την περιοχή της Ελλάδας, αφορά σε πρώτη φάση (διάστημα 2021-2050) και σε μέτριο βαθμό (πράσινο χρώμα) το σύνολο της χώρας και σε υψηλό βαθμό τα αστικά συγκροτήματα της Αθήνας. Σε δεύτερη φάση (διάστημα 2071-2100), ο αριθμός των «τροπικών» ημερών αυξάνεται δραματικά για το σύνολο σχεδόν της χώρας. Και στις δύο φάσεις, οι επιβαρύνσεις ως προς την ποιότητα ζωής και ως προς την ενεργειακή παραγωγή προβλέπονται σημαντικές, με άμεσες επιπτώσεις στην εθνική οικονομία και στην περιφερειακή και τοπική ανάπτυξη.



Σχήμα 1.1-1: Αριθμός των ημερών που χαρακτηρίζονται ως «τροπικές», δηλαδή έχουν θερμοκρασία ημέρας και νύκτας άνω των 35 και 20 βαθμών Κελσίου αντίστοιχα, για τα διαστήματα 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.(Πηγή: EEA, 2012)

Συνεπώς, από τα παραπάνω φαίνεται ότι σημαντικός αριθμός πόλεων στην Ελλάδα, θα αντιμετωπίσει σημαντικά προβλήματα με το θερμικό τους περιβάλλον, αν δεν βελτιωθεί το ποσοστό πρασίνου, δεν μειωθούν οι ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας ή δεν εφαρμοσθούν μέτρα που θα βελτιώσουν τη θερμική συμπεριφορά του δομημένου περιβάλλοντος.

1.1.1. Ενεργειακό ισοζύγιο κτιριακού τομέα

Η εκτιμώμενη αύξηση των καυσώνων τις επόμενες δεκαετίες, θα επιβαρύνει ακόμη περισσότερο το θερμικό περιβάλλον στις πόλεις και κατά συνέπεια την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και την ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα, καθώς ευθύνεται για το ένα τρίτο περίπου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και για το 36% περίπου της συνολικής

ενεργειακής κατανάλωσης. Στην Ελλάδα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τον κτιριακό τομέα παρουσίαζαν πριν την περίοδο της οικονομικής κρίσης ετήσιο ρυθμό αύξησης γύρω στο 4%, με παράλληλη αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων (Santamouris and Cartalis, 2015).

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (EEA, 2008), τα νοικοκυριά στην Ελλάδα παρουσιάζουν, με κλιματική αναγωγή, τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρώπη για ανάγκες θέρμανσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα είναι προφανές ότι μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση των θερμικών αναγκών των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο, αλλά και σημαντική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για κλιματισμό κατά τη θερινή περίοδο. Παράλληλα, στα μη κλιματιζόμενα κτίρια μπορεί να επιφέρει σοβαρή επιβάρυνση των συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη θερινή περίοδο (Santamouris and Kolokotsa, 2015). Επιπροσθέτως

Ο μετασχηματισμός εξωτερικών χώρων επιφέρει επιπτώσεις στο ενεργειακό ισοζύγιο των γειτονικών κτιρίων. Με χρήση κατάλληλων τεχνικών μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας σε γειτονικά κτίρια άμεσα (προκαλώντας σκίαση σ' αυτά), ή έμμεσα (συμβάλλοντας στη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος) (Καρβούνης, 2011). Οι τιμές θερμοκρασίας σε μία αστική περιοχή έχουν άμεση επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας από τα γειτονικά κτίρια, τόσο κατά τη θερινή όσο και τη χειμερινή περίοδο. Έχει βρεθεί ότι κατά τη θερινή περίοδο, οι υψηλές αστικές θερμοκρασίες αυξάνουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη, και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρυπογόνων ουσιών, ενώ κατά τη χειμερινή περίοδο μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση για θέρμανση και τις αντίστοιχες συνέπειές της.

Παράλληλα, ο άνεμος σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία σε μια αστική περιοχή, επηρεάζουν τη δυνατότητα φυσικού αερισμού των κτιρίων. Συγκεκριμένα, οι δρόμοι που λόγω κτιριακής μορφολογίας βρίσκονται υπό σκίαση προστατεύονται από την ηλιακή ακτινοβολία λόγω της αστικής κατανομής των γειτονικών κτιρίων, ενώ παράλληλα η κατάλληλη κατανομή των κτιρίων μπορεί να συμβάλει στη διευκόλυνση της ροής του ανέμου ανάμεσα από αυτά. Τέλος, η σκίαση ενός μεγάλου ανοιχτού χώρου με τη χρήση δένδρων ή τεχνητών μέσων βοηθά τα γειτονικά κτίρια να μειώσουν την εσωτερική τους θερμοκρασία, κάτι το επιθυμητό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες για τη μείωση σε κατανάλωση ενέργειας από ψύξη.

1.2. ΑΣΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ

Το κλίμα για μια γεωγραφική περιοχή προσδιορίζεται από τις μέσες τιμές των μετεωρολογικών στοιχείων. Για την καταγραφή του κλίματος χρησιμοποιούνται τρεις κλίμακες ανάλογα με τη χρήση. Το **μακροκλίμα** μιας περιοχής αφορά τα γενικότερα κλιματικά χαρακτηριστικά της. Ορίζεται από κλιματικά δεδομένα, όπως είναι η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η ηλιοφάνεια, ο άνεμος, η υγρασία, τα νέφη και οι βροχοπτώσεις (John R. Goulding, et al., 1994). Το **μέσοκλίμα** μιας περιοχής είναι ο μετασχηματισμός του μακροκλίματος, λόγω τοπικών ιδιαιτεροτήτων, όπως είναι το ανάγλυφο του εδάφους, η ύπαρξη μεγάλων επιφανειών νερού και η βλάστηση. Στο εσωτερικό μιας αστικής περιοχής, εντοπίζονται συχνά διαφοροποιήσεις στο κλίμα από τόπο σε τόπο σε απόσταση ακόμη και μερικών χιλιομέτρων, διαμορφώνοντας έτσι ένα μικρής κλίμακας πρότυπο του κλίματος, το λεγόμενο **μικροκλίμα** (Santamouris and Asimakopoulos, 1996). Το **μικροκλίμα** μιας περιοχής είναι η διαφοροποίηση του μακροκλίματος και του μέσοκλίματος, η οποία οφείλεται κυρίως σε ανθρώπινες παρεμβάσεις όπως για παράδειγμα η μορφή του δομημένου περιβάλλοντος και των πράσινων χώρων, η μορφή της υπαίθρου, οι γεωργικές καλλιέργειες κ.α. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στο μικροκλίμα είναι η τοπογραφία, το ανάγλυφο του εδάφους, οι επιφάνειες εδαφοκάλυψης και η αστική μορφολογία (Oke, 1976; Spragnolo and Dear, 2003). Το μοναδικό μικροκλίμα της κάθε πόλης είναι αποτέλεσμα του πολυσύνθετου δομημένου περιβάλλοντος, της ποσότητας του πρασίνου και της ανθρώπινης δραστηριότητας (Oke, 1987; Santamouris, 2001)

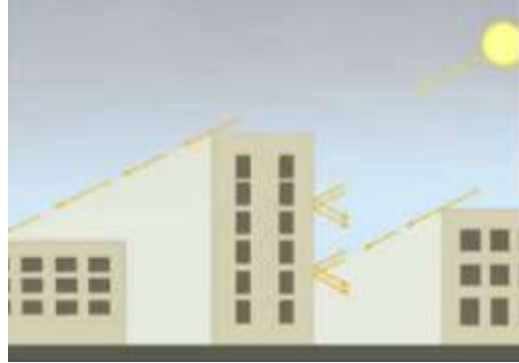
Συνεπώς, στις αστικές περιοχές το έντονο ανάγλυφο, η ποικιλία των πηγών εκπομπής θερμότητας, οι γεωμετρικές παράμετροι των κτιρίων, τα διάφορα είδη υλικών, η μεταβολή της θερμοχωρητικότητας κ.α. επιβάλλουν μια διαφορετική θεώρηση της κλιματολογίας. Η αστική Κλιματολογία (urban climatology) ασχολείται με μικρής κλίμακας φαινόμενα, ενώ το ενεργειακό ισοζύγιο της αστικής περιοχής (σε αντίθεση με αυτό της υπαίθρου) επηρεάζεται από την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων σχετικά με τις απώλειες και τα κέρδη ενέργειας. Οι κύριοι παράγοντες που διαφοροποιούν το αστικό μικροκλίμα με αυτό της υπαίθρου είναι η θερμότητα που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε σχέση με την υγρασία και την κίνηση του ανέμου και η δομή των κτισμάτων. Σε αστικά περιβάλλοντα οι παράμετροι που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις είναι η ροή ακτινοβολίας και η ταχύτητα του ανέμου (Ioannis Charalampopoulos, 2013). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κίνηση του ανέμου στα αστικά κέντρα όπου επηρεάζεται άμεσα από το ιδιαίτερο γεωμετρικό ανάγλυφο που δημιουργείται από το σύμπλεγμα των κτιριακών όγκων και των δρόμων, με τις διάφορες αναλογίες και διαστάσεις που αυτοί αποκτούν.

Ο όρος «**Αστικό Μικροκλίμα**» αναφέρεται δηλαδή **στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες** που επικρατούν σε έναν αστικό χώρο (πλατεία, πάρκο, γειτονιά κ.α.). Οι

τοπικές κλιματολογικές συνθήκες είναι άμεση συνάρτηση της αστικής μορφολογίας και της διαθεσιμότητας στο χώρο ηλιακής ακτινοβολίας, των επιπέδων υγρασίας και των συνθηκών ροής του ανέμου σε επίπεδο δομημένου αστικού περιβάλλοντος. Επίσης σημαντικοί παράγοντες που διαμορφώνουν το αστικό μικροκλίμα είναι τα δομικά υλικά και οι τελικές επιφάνειες των κτιρίων και των οριζόντιων επιφανειών (εδαφοκάλυψη) (Τσολάκη Α., Πετράκη Ε.)

1.2.1. Αστική Μορφολογία

Ο όρος «Αστική Μορφολογία» εκφράζει την τρισδιάστατη μορφή μιας ομάδας κτιρίων και των χώρων που αυτά δημιουργούν. Η αστική μορφολογία, δηλαδή, εκφράζει την τρισδιάστατη γεωμετρία της αστικής επιφάνειας και είναι από τους βασικούς παράγοντες διαμόρφωσης του μικροκλίματος αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις συνθήκες ακτινοβολίας, τη σκίαση



της επιφάνειας και τη ροή του ατμοσφαιρικού αέρα ανάμεσα στα κτίρια. Μεταβολή της αστικής μορφολογίας μπορεί να τροποποιήσει τοπικά τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις τιμές βιοκλιματικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, καθώς και το ισοζύγιο ακτινοβολιών. Ο δομημένος όγκος λειτουργεί ως αδιαπέραστο εμπόδιο στην πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας, που μπορεί να την ανακλάσει, να την απορροφήσει ή να τη επανεκπέμψει.

Τα χαμηλά επίπεδα της ταχύτητας αέρα ερμηνεύονται με βάση 1) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στενών δρόμων και 2) την πυκνή δόμηση της περιοχής, που τελικά λειτουργούν ως αστικός θόλος, με αποτέλεσμα να μη γίνεται καλή κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό της περιοχής.

Η **γεωμετρία του αστικού χώρου**, δηλαδή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που εκφράζουν τη **σχέση δομημένου / ελεύθερου χώρου**, αποτελεί βασικό παράγοντα διαφοροποίησης του αστικού κλίματος από το κλίμα ενός φυσικού χώρου. Καθοριστικός επίσης παράγοντας για την αστική επιφάνεια, εκτός από την τρισδιάστατη γεωμετρία της, αποτελεί και ο τύπος κάλυψής της (κάλυψη γης).

Η γεωμετρία των αστικών δρόμων είναι τέτοια, που συχνά τους αποδίδεται ο όρος «αστικό φαράγγι» (urban canyon), αφού προσεγγίσουν μορφολογικά, το φυσικό φαράγγι, δημιουργώντας έτσι το **«Φαινόμενο της Αστικής Χαράδρας»**.

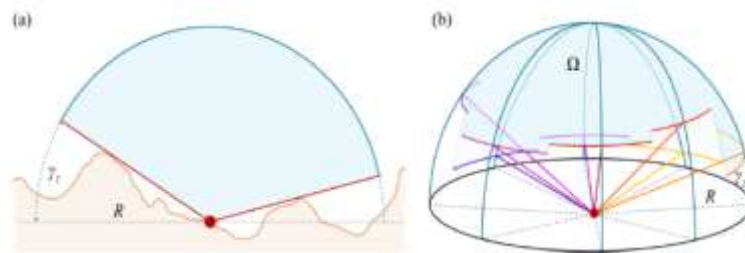


Τα αστικά φαράγγια ασκούν επίδραση στις διάφορες τοπικές συνθήκες όπως:

- Στη θερμοκρασία, η οποία μπορεί να μεγαλώσει 2-4 βαθμούς
- Συμβάλλουν στην εμφάνιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας
- Στην ατμοσφαιρική ποιότητα του χώρου, τοπικά ο στάσιμος αέρας συγκεντρώνει τους ρύπους κοντά στο επίπεδο εδάφους
- Στη ταχύτητα ανέμου ως κίνηση του αέρα στο δρόμο.

1.2.2. Συντελεστής Θέασης του ουρανού

Η αστική μορφολογία λαμβάνεται υπόψη στις βιοκλιματικές μελέτες με χρήση του συντελεστή θέασης του ουρανού (Sky View Factor, SVF). Ο συντελεστής θέασης του ουρανού είναι η τιμή της στερεάς γωνίας της θέασης του ουράνιου θόλου από ένα σημείο του αστικού χώρου. Πρακτικά, ο συντελεστής θέασης του ουρανού ορίζεται ως το κομμάτι του ορατού ουρανού (στερεάς γωνίας Ω), πάνω από ένα σημείο παρατήρησης (κόκκινη τελεία στο **Σχήμα 1.2-1**), σε σχέση με ολόκληρο το ορατό πεδίο (ημισφαίριο ακτίνας R). Μέσω του συντελεστή αυτού η αστική μορφολογία μπορεί να ληφθεί υπόψη σε μαθηματικά μοντέλα κατάλληλα για την ποσοτική εκτίμηση χαρακτηριστικών του αστικού μικροκλίματος



Σχήμα 1.2-1: Συντελεστής θέασης του ουρανού, (α) η τομή του ημισφαιρίου (β)

Συντελεστής θέασης του ουρανού με τιμή 1 σημαίνει ότι υπάρχει ανεμπόδιστη θέαση του ουρανού (π.χ. από ένα ανοιχτό πεδίο) και, συνεπώς, οι θερμοκρασίες θα ακολουθούν στενά τις μετεωρολογικές τιμές. Ενώ, συντελεστής θέασης του ουρανού με τιμή 0 σημαίνει ότι η θέαση του ουρανού εμποδίζεται καθολικά και έτσι οι θερμοκρασίες θα επηρεαστούν σημαντικά από το αστικό περιβάλλον. Αν σε ένα σημείο του αστικού χώρου ο συντελεστής θέασης του ουρανού είναι μικρός, θα εμποδίζεται η ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο συγκεκριμένο σημείο με αποτέλεσμα να εμποδίζεται επίσης και η ροή θερμικής ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς την ατμόσφαιρα. Συνεπώς, στο σημείο αυτό η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία θα είναι μικρή με αποτέλεσμα να έχει μικρή συμβολή στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας της αντίστοιχης επιφάνειας. Για τον ακριβέστερο υπολογισμό του συντελεστή θέασης του ουρανού σε κάθε σημείο της επιφάνειας θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η σχετική θέση και το ύψος των δέντρων καθώς πολλά από τα σημεία της επιφάνειας σκιάζονται που σημαίνει μηδενικός συντελεστής θέασης του ουρανού.

1.2.3. Φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας

Η αυξανόμενη θερμική υποβάθμιση των μεγάλων αστικών κέντρων της χώρας, η αύξηση της θερμοκρασίας του αστικού περιβάλλοντος ως αποτέλεσμα τοπικών και παγκόσμιων μεταβολών, η αποψίλωση του αστικού και περιαστικού πρασίνου, επιβαρύνουν την ποιότητα ζωής και απαιτούν την αυξημένη χρήση κλιματιστικών για τη βελτίωση των θερμικών συνθηκών εντός των κτιρίων. Το αστικό περιβάλλον σήμερα χαρακτηρίζεται συνήθως από πυκνότητες δόμησης, έλλειψη χώρων πρασίνου, αυξημένη παραγωγή ρύπων και θερμότητα από τις ανθρωπογενής δραστηριότητες. Η Αθήνα και οι υπόλοιπες μεγάλες πόλεις της χώρας αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα αστικού κέντρου, με ασφυκτικά δομημένες κεντρικές περιοχές και εκτενείς αστικές επεκτάσεις. Η ένταση των δραστηριοτήτων, η πυκνή και υψηλή δόμηση, οι εκτεταμένες ασφαλτοστρώσεις, η κυκλοφορία των αυτοκινήτων και γενικά ο περιορισμός του φυσικού περιβάλλοντος έχουν επιβαρύνει το αστικό μικροκλίμα. Παράλληλα, τόσο η αύξηση του πληθυσμού των πόλεων αλλά και η αναζήτηση καλύτερης ποιότητας ζωής από τους κατοίκους έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή επέκταση του αστικού ιστού των πόλεων κυρίως σε περιοχές με περισσότερο πράσινο ή εν γένει ελεύθερους χώρους (T. R. Oke, 1995). Όλοι αυτοί οι παράγοντες συντελούν στη δημιουργία δύο σημαντικών φαινομένων του αστικού μικροκλίματος, το φαινόμενο της **Αστικής Θερμικής Νησίδας** και της **αστικής χαράδρας**.

Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) αποτελεί σημαντική παράμετρο του αστικού μικροκλίματος. Η ΑΘΝ αφορά την ύπαρξη υψηλότερων θερμοκρασιών στις πυκνοδομημένες αστικές περιοχές σε σχέση με το υπόλοιπο αστικό χώρο και τα περίχωρα του.

Η ΑΘΝ στην Αθήνα αντιστοιχεί σε διαφορά θερμοκρασίας περίπου 6-10 βαθμούς Κελσίου, μεταξύ του κέντρου της πόλης και των περιαστικών περιοχών.



Η θερμοκρασιακή αυτή αύξηση συντελεί στον διπλασιασμό του ψυκτικού φορτίου των κτιρίων στο κέντρο της πόλης, στον σχεδόν τριπλασιασμό του φορτίου αιχμής για κλιματισμό καθώς και στη μείωση της ελάχιστης απόδοσης των κλιματιστικών συσκευών κατά 20% (Santamouris, 2001).

Η ΑΘΝ οφείλεται στα χαρακτηριστικά των πόλεων (χαμηλό ποσοστό πρασίνου, πυκνή δόμηση, έκλυση θερμότητας από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, κακή ποιότητα υλικών, κ.ά.), είναι ιδιαίτερα εμφανής κατά τη διάρκεια της νύχτας κάτι που αυξάνει τον κίνδυνο για σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων κατά τη διάρκεια των καυσώνων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν το πρωί, δεν ακολουθούνται από χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως αυτές θα διαμορφώνονταν λόγω της δροσιστικής επίδρασης της νύχτας, με αποτέλεσμα να οδηγούν σε εξάντληση τον ανθρώπινο οργανισμό, ιδιαίτερα τις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού (Santamouris 2001, 2007 και Dousset et al. 2011). Επίσης κατά τη διάρκεια των καυσώνων αυξάνεται η ζήτηση ενέργειας για δροσισμό και επιδεινώνεται η ποιότητα του αέρα.

1.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Οι βασικές περιβαλλοντικές παράμετροι που καθορίζουν το κλίμα και την ποιότητα του αέρα (εφεξής κλιματική ποιότητα) είναι το πεδίο της ακτινοβολίας και το πεδίο του ανέμου, όπως αυτά διαμορφώνονται από την τρισδιάστατη γεωμετρία καθώς και από τον τύπο κάλυψης της αστικής επιφάνειας. Τα τοπικά διαμορφωμένα πεδία ακτινοβολίας και ανέμου, διαμορφώνουν με τη σειρά τους τα πεδία της θερμοκρασίας και της υγρασίας, διαμορφώνουν δηλαδή τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Η κλιματική ποιότητα στον εξωτερικό αστικό χώρο καθορίζεται πρωτίστως από τη θερμική άνεση, για την ανάλυση της οποίας είναι απαραίτητο ο μελετητής να λάβει υπόψη του τη χωρική κατανομή της ακτινοβολίας και του διανύσματος του ανέμου σε κάθε σημείο της αστικής επιφάνειας, δηλαδή τα πεδία της ακτινοβολίας και του ανέμου όπως αυτά διαμορφώνονται τοπικά από τα χαρακτηριστικά της αστικής επιφάνειας (Καρβούνης, 2011).

Οι κυριότεροι κλιματικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό των ανοικτών και κλειστών χώρων είναι:

- Η ηλιακή ακτινοβολία (ένταση ακτινοβολίας και διάρκεια ηλιασμού)
- Η θερμοκρασία του αέρα
- Η θερμοκρασία του εδάφους

- Ο άνεμος (ταχύτητα και διεύθυνση)
- Η υγρασία του αέρα (σχετική υγρασία ή πίεση υδρατμών)
- Η βροχή και οι κατακρημνίσεις (ύψος βροχής)

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα πεδία της ακτινοβολίας και του ανέμου στον αστικό χώρο, περιγράφοντας αρχικά τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της τρισδιάστατης αστικής επιφάνειας σε αυτά.

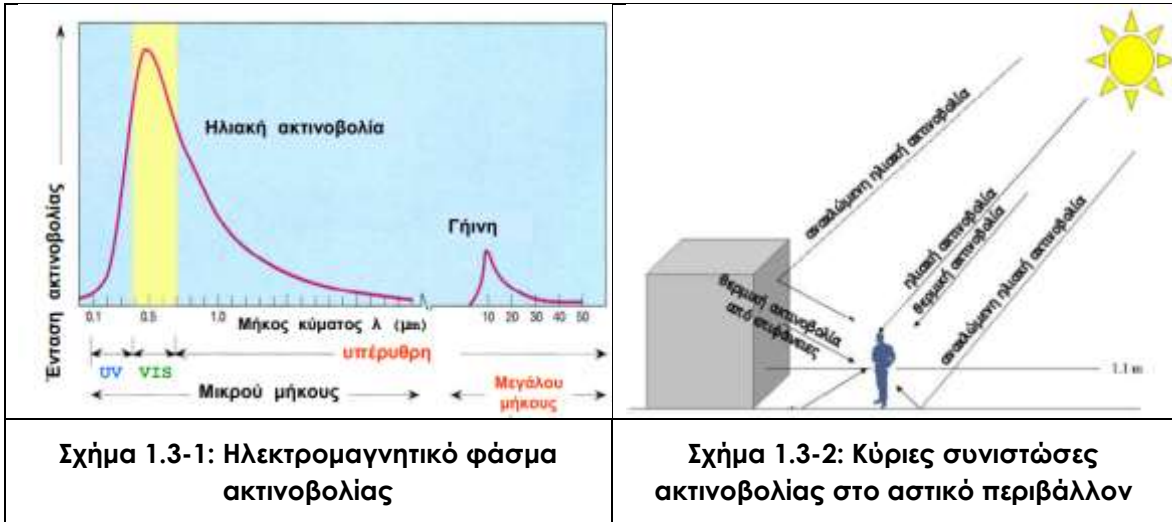
1.3.1. Πεδίο Ακτινοβολίας

Το πεδίο ακτινοβολίας σε μία αστική περιοχή περιλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μπορεί να είναι άμεση, διάχυτη ή να προέρχεται από ανάκλαση στις διάφορες επιφάνειες (εξαρτώμενη από το συντελεστή ανάκλασης ή albedo κάθε επιφάνειας), καθώς και από τη θερμική ακτινοβολία ή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (long-wave radiation), που εκπέμπεται από το έδαφος, τις επιφάνειες (π.χ. κτίρια) και την ατμόσφαιρα (**Σχήμα 1.3-1,2**). Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία καθορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο (ηλιακή γεωμετρία), ενώ η διάχυτη δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και το ποσοστό της εξαρτάται από το ύψος ήλιου, το υψόμετρο του τόπου, την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε αιωρούμενα σωματίδια, το μέγεθος και το είδος των νεφών και την ανακλαστικότητα του εδάφους (λευκαύγεια – albedo).

Η ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται στην περιοχή από 0.2 μέχρι 2.5 μm , όπου το ηλιακό φάσμα κυριαρχεί. Αποτελείται από την υπεριώδη ακτινοβολία (0.2-0.4 μm), την ορατή ακτινοβολία (0.4-0.7 μm) και την ακτινοβολία εγγύς υπερύθρου (0.7-2.5 μm), με συνεισφορές περίπου 5%, 55% και 40% στο σύνολο της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος. Για μήκη κύματος μεγαλύτερα από 5.0 μm , η ακτινοβολία ονομάζεται θερμική και αναφέρεται πλέον στην περιοχή του φάσματος όπου αντί για την ηλιακή, κυριαρχεί η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης ή των υλικών, και η οποία εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Οι μονάδες μέτρησης της ροής της ακτινοβολίας είναι Wm^2 .

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να είναι είτε **άμεση** (κατευθείαν από τον ηλιακό δίσκο), είτε **διάχυτη** (κατόπιν σκέδασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα), είτε **ανακλώμενη** (κατόπιν ανάκλασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από τα διάφορα στοιχεία της αστικής επιφάνειας). Η ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια εξαρτάται από το μέγεθος του ουράνιου θόλου που βλέπει αυτή η επιφάνεια, για παράδειγμα οι οριζόντιες επιφάνειες βλέπουν μεγαλύτερο ποσοστό ουράνιου θόλου από τις κατακόρυφες, ενώ το ποσό που δέχονται οι κατακόρυφες επιφάνειες εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους σε σχέση με τη θέση του ήλιου. Η ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία και την ανακλαστικότητα του εδάφους, γι' αυτό τον λόγο

οι κατακόρυφες επιφάνειες δέχονται το μεγαλύτερο ποσοστό ενώ οι οριζόντιες καθόλου. Η **θερμική ακτινοβολία** που δέχεται το ανθρώπινο σώμα, είναι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται τόσο από τα στοιχεία της αστικής επιφάνειας όσο και από την ατμόσφαιρα.



Σχήμα 1.3-1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας

Σχήμα 1.3-2: Κύριες συνιστώσες ακτινοβολίας στο αστικό περιβάλλον

Ο **συντελεστής θέασης του ουρανού** αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει το ισοζύγιο ακτινοβολίας σε μία αστική περιοχή, καθώς καθορίζει το ποσοστό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και τη χρονική διάρκεια κατά την οποία υπάρχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία στον υπό μελέτη χώρο. Ο **συντελεστής θέασης των διαφόρων επιφανειών** (π.χ. κτίρια, βλάστηση κλπ.), επηρεάζει την ακτινοβολία μέσω ανάκλασης, εκπομπής ή σκίασης. Οι συντελεστές αυτοί ορίζονται με τρόπο ανάλογο με αυτόν του συντελεστή θέασης του ουρανού, και είναι σημαντικοί γιατί καθορίζουν τα ποσοστά, ως προς τη συνολική ακτινοβολία, της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τις διάφορες επιφάνειες προς κάθε σημείο της αστικής επιφάνειας. Οι οπτικές και θερμικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται (ανακλαστικότητα, θερμοχωρητικότητα, συντελεστής εκπομπής) επίσης επηρεάζουν το ισοζύγιο ακτινοβολίας. Η **ανακλαστικότητα** εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια, το οποίο ανακλάται από αυτή. Η **θερμοχωρητικότητα** ορίζεται ως το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία ενός σώματος κατά ένα βαθμό, και πρακτικά εκφράζει την ικανότητα ενός υλικού να αποθηκεύει θερμότητα. Τέλος, ο **συντελεστής εκπομπής** εκφράζει την ικανότητα ενός σώματος να εκπέμπει θερμότητα μέσω ακτινοβολίας. Για τέλεια εκπομπή (μέλαν σώμα), ο συντελεστής εκπομπής ισούται με τη μονάδα, ενώ για πραγματικά σώματα είναι πάντα μικρότερος της μονάδας.

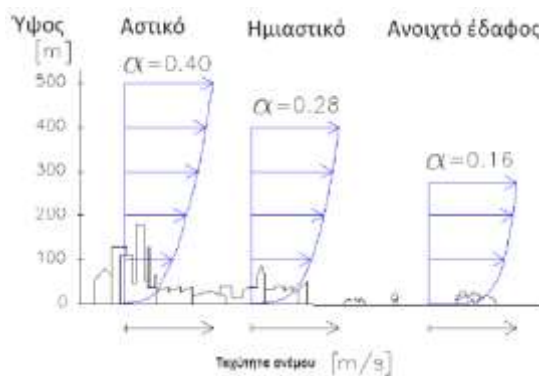
Στις μελέτες που αφορούν βιοκλιματικές παραμέτρους αστικών περιοχών, το πεδίο ακτινοβολίας είναι εξαιρετικής σημασίας και εκφράζεται συνήθως μέσω της έννοιας της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (mean radiant temperature – T_{mrt}). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία μιας υποθετικής σφαιρικής επιφάνειας που περιβάλλει έναν άνθρωπο και η οποία προκαλεί την ίδια ανταλλαγή ενέργειας με το υποκείμενο, όπως το πραγματικό πεδίο

ακτινοβολίας στον περιβάλλοντα χώρο του. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι πολύ σημαντική στις μελέτες θερμικής άνεσης, καθώς έχει τον πλέον καθοριστικό ρόλο μεταξύ των παραμέτρων που καθορίζουν το ισοζύγιο ενέργειας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον γύρω του. Επίσης, έχει την ισχυρότερη επίδραση στα επίπεδα της θερμικής άνεσης.

Υπάρχουν διάφορα υπολογιστικά μοντέλα και λογισμικά για την προσομοίωση της ακτινοβολίας και τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας και γενικότερα της θερμικής άνεσης που προκύπτει από αυτή, όπως για παράδειγμα το λογισμικό ENVI-met που παρουσιάζεται στο **Κεφάλαιο 4**. Οι απαιτήσεις για δεδομένα εισόδου ποικίλουν, ωστόσο αφορούν συνήθως τη γεωγραφική θέση και μορφολογία μιας περιοχής (υπάρχουσας ή υπό σχεδιασμό), και βασικές μετεωρολογικές παραμέτρους (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου), οι οποίες συνήθως είναι διαθέσιμες από μετεωρολογικούς σταθμούς.

1.3.2. Πεδίο Ανέμου

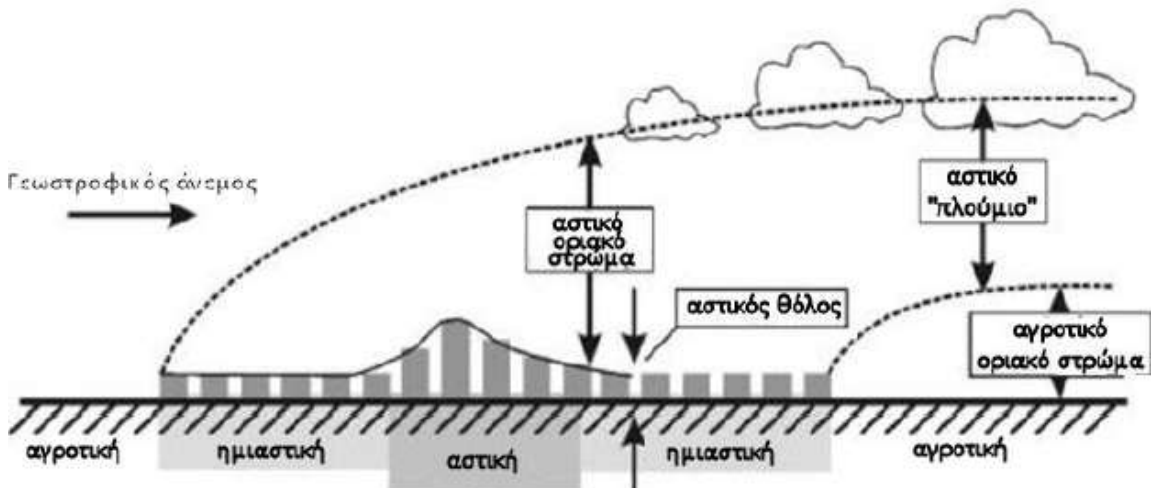
Οι συνθήκες ανέμου επηρεάζονται από μεγάλο αριθμό παγκόσμιων, περιφερειακών και τοπικών παραγόντων. Ο άνεμος προσδιορίζεται από δύο στοιχεία, τη διεύθυνση και την ένταση. Ως διεύθυνση ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος ενώ η ένταση εκφράζεται με την ταχύτητα ή πίεση που ασκεί ο άνεμος επάνω στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων. Σε παγκόσμια κλίμακα ο άνεμος προέρχεται από τον αέρα που κινείται από περιοχές υψηλής πίεσης προς περιοχές χαμηλής πίεσης. Ο άνεμος ποικίλει σημαντικά ως προς τη διεύθυνση και την ένταση και οι διαφοροποιήσεις μπορεί να είναι εποχιακές ή ετήσιες. Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, που προκαλείται από τα παγκόσμια καιρικά συστήματα, επηρεάζονται από την τοπολογία σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Ο ελεύθερος, ανεμπόδιστος άνεμος πάνω από την επιφάνεια της γης ονομάζεται γεωστροφικός άνεμος. Το γεωστροφικό ύψος ποικίλει από περίπου 275 m σε περίπου 500 m, ανάλογα με την τραχύτητα (α) της επιφάνειας της γης, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.3-3**.



Σχήμα 1.3-3: Κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου για τρεις διαφορετικές περιοχές. Η τραχύτητα (α) της επιφάνειας είναι μεγαλύτερη σε πυκνοδομημένη πόλη με ψηλά κτίρια

Για την εκτίμηση του ανέμου σε επίπεδο μικροκλίματος είναι απαραίτητος ο συνδυασμός μετεωρολογικών δεδομένων με πληροφορία για την αστική μορφολογία και τον τύπο κάλυψης της επιφάνειας. Τα μετεωρολογικά δεδομένα μπορεί να είναι μετρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς, διορθωμένες για τις επιδράσεις του περιβάλλοντος χώρου, όπως δρόμοι, δάση και γειτονικά χωριά. Τα μετεωρολογικά δεδομένα περιλαμβάνουν τιμές ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου σε ύψος 10 m.

Η πληροφορία που δίνεται από τον εκάστοτε μετεωρολογικό σταθμό θα πρέπει να μεταφερθεί σε επίπεδο πόλης. Κατά τη ροή του ανέμου από μια περιαστική, σε μια αστική περιοχή, πρέπει να γίνει προσαρμογή του στις συνοριακές συνθήκες της πόλης. Μικρές μεταβολές στην τοπογραφία της περιοχής επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στη ροή του ανέμου. Κατά την κίνηση του ανέμου από μια περιαστική σε μία αστική περιοχή, οι νέες συνοριακές συνθήκες που ορίζουν τα όρια της πόλης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ο λεγόμενος **αστικός θόλος** εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους έως το ύψος των κτιρίων, ενώ το λεγόμενο **αστικό οριακό στρώμα** εκτείνεται πάνω από τις στέγες των κτιρίων, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.3-4**. Η ροή του ανέμου στον αστικό θόλο παρουσιάζει διαφοροποιήσεις από τη ροή στην περιβάλλουσα αγροτική περιοχή, οι οποίες εξαρτώνται από την τοπογραφία, τη γεωμετρία των κτιρίων, τους δρόμους, την κίνηση και άλλα τοπικά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα η παρουσία δέντρων. Στη γενική περίπτωση, η ροή του ανέμου στον αστικό θόλο παρουσιάζει μείωση σε σύγκριση με τη ροή του ανέμου στις γειτονικές περιαστικές περιοχές. Οι εκτιμήσεις της ροής ανέμου στον αστικό θόλο μπορούν να γίνουν επίσης με χρήση αριθμητικών μοντέλων ροών, όπως παρουσιάζονται στο **Κεφάλαιο 3**.



Σχήμα 1.3-4: Σχηματική αναπαράσταση ροής ανέμου σε αστική περιοχή. Ο άνεμος που έρχεται από τις περιαστικές περιοχές διαφοροποιείται στον αστικό θόλο

1.3.3. Θερμοκρασία και υγρασία

Η θερμοκρασία στον αστικό χώρο διαμορφώνεται τόσο μέσω της μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία όσο και μέσω της μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά. Η **θερμοκρασία του αέρα** είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι επηρεάζει τις εναλλαγές της υγρασίας και τη μεταφορά θερμότητας από και προς την αστική επιφάνεια. Συνεπώς το πεδίο της θερμοκρασίας και το πεδίο της υγρασίας καθορίζονται από τα πεδία της ακτινοβολίας και του ανέμου. Τα πεδία της θερμοκρασίας και της υγρασίας λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης. Σε περιπτώσεις με μικρή ταχύτητα ανέμου, για παράδειγμα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει περίπου την ίδια επίδραση στο ισοζύγιο θερμότητας του ανθρώπινου σώματος, όπως και η θερμοκρασία του αέρα. Σε περιπτώσεις δυνατότερων σε ένταση ανέμων, η θερμοκρασία του αέρα είναι πιο σημαντική από τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, επειδή κυριαρχεί στην ανταλλαγή θερμότητας. Η σχετική υγρασία επιδρά επίσης στη θερμική άνεση επηρεάζοντας την υγρασία του δέρματος και την εφίδρωση.

1.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στόχος, λοιπόν, κάθε βιοκλιματικής αναβάθμισης στο αστικό περιβάλλον είναι η βελτίωση της κλιματικής ποιότητας στο χώρο αυτό. Γι' αυτό τον λόγο, κάθε βιοκλιματική μελέτη αναβάθμισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα στοιχεία του εξωτερικού περιβάλλοντος που επηρεάζουν την κλιματική ποιότητα, αλλά και το αποτύπωμα της βιοκλιματικής επέμβασης σε αυτά. Η βιολογική και ψυχολογική ισορροπία του ανθρώπου εξασφαλίζεται από την επιτυχή προσαρμογή του στο φυσικό περιβάλλον. Παράμετροι όπως το κλίμα, το φως, ο θόρυβος, η βλάστηση, οι ζωντανοί οργανισμοί, η μόλυνση της ατμόσφαιρας, κ.τ.λ., συσχετίζονται μεταξύ τους συνθέτουν το φυσικό περιβάλλον και επηρεάζουν την υγεία και την παραγωγικότητα του ατόμου. Συνεπώς, η **κλιματική ποιότητα** στον αστικό χώρο καθορίζεται από την κατάσταση του αστικού ιστού, δηλαδή τις συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης αλλά και της άνεσης λόγω αέρα (*occupant comfort*), της ποιότητας του αέρα και της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Ενώ οι **βασικές περιβαλλοντικές παράμετροι** που καθορίζουν την κλιματική ποιότητα (επομένως και το αστικό μικροκλίμα) είναι η αστική μορφολογία, το πεδίο της ακτινοβολίας και το πεδίο του ανέμου, η θερμοκρασία – υγρασία. Έτσι, κάθε μια από τις παραπάνω περιβαλλοντικές παραμέτρους επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης στο αστικό περιβάλλον και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε βιοκλιματική μελέτη αναβάθμισης. Παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες που διαμορφώνουν την κλιματική ποιότητα στο αστικό περιβάλλον, με έμφαση στη θερμική άνεση ως τον σημαντικότερο παράγοντα καθορισμού της κλιματικής ποιότητας.

Θερμική Άνεση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο είναι η **θερμική άνεση**. Σύμφωνα με την

Αμερικάνικη Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης Ψύξης και Κλιματισμού (πρότυπο ASHRAE¹, *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning*), ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ο άνθρωπος δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες. Με την διατήρηση της θερμικής άνεσης ενός ανθρώπου, διασφαλίζεται ότι δεν θα νιώθει ούτε πολύ ζέστη ούτε πολύ κρύο, δηλαδή οι παράγοντες της θερμοκρασίας, υγρασίας, ανεμοροής και ηλιακής ακτινοβολίας θα βρίσκονται στα επιτρεπτά όρια άνεσης. Τα υλικά του αστικού περιβάλλοντος, περιλαμβανομένων και των υλικών των κτιρίων, των συστημάτων σκίασης και της βλάστησης παίζουν σημαντικό ρόλο τροποποιώντας το μικροκλίμα και τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Η βιοκλιματική πρόταση παρέμβασης είναι σημαντικό να λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους που συνιστούν την θερμική άνεση σε εξωτερικού χώρους. Αυτό γιατί ο βαθμός, η ένταση καθώς και η αποδοτικότητα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων εξαρτώνται άμεσα από το επίπεδο άνεσης ή δυσφορίας που βιώνουν όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες.

Το αίσθημα της θερμικής άνεσης δημιουργείται όταν καταναλώνεται η ελάχιστη ενέργεια από τον οργανισμό για την εξασφάλιση των θερμορυθμιστικών λειτουργιών στα ανθρώπινο σώμα, ώστε να διατηρηθεί το θερμικό ισοζύγιο του ατόμου. Όταν οι κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ευνοϊκές, το θερμορυθμιστικό σύστημα λειτουργεί με το ελάχιστο έργο και το άτομο αισθάνεται «θερμικά άνετα». Σε δυσμενείς όμως συνθήκες, π.χ. αν επικρατεί πολύ «κρύο» ή πολύ «ζέστη», το σώμα χάνει πολύ περισσότερη από όση θα έπρεπε θερμότητα ή αντίστοιχα αδυνατεί να αποβάλει το πλεόνασμα της παραγόμενης θερμότητας και τότε δεν υπάρχει «θερμική άνεση».

Η θερμική άνεση εξαρτάται και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από προσωπικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι εσωτερικές συνθήκες και απαιτήσεις για τη θερμική ισορροπία του ατόμου διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη λειτουργία του κτιρίου, την ηλικία και το φύλο του χρήστη, το βαθμό ένδυσης του και τη δραστηριότητα που εκτελεί.

Η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον γίνεται με πολλούς τρόπους:

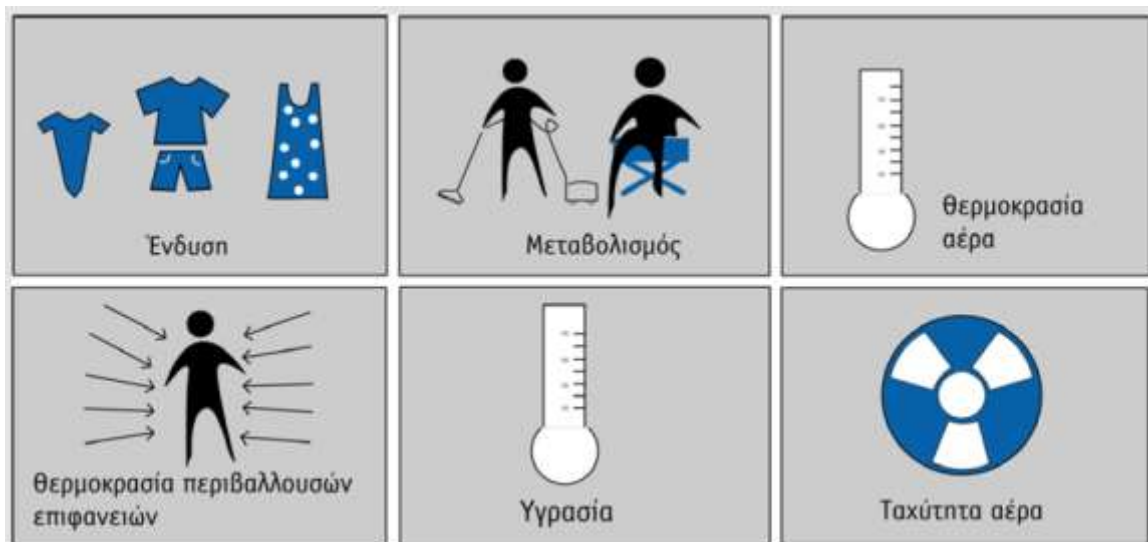
- Με μεταφορά θερμότητας μέσω του αέρα, ο οποίος έρχεται σε επαφή με το άτομο
- Με αγωγή μέσω της επαφής του ανθρώπινου σώματος με επιφάνειες διαφορετικής θερμοκρασίας
- Με ακτινοβολία θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς τις περιβάλλοντες το χώρο επιφάνειες (τοιχούς, δάπεδο, άνοιγμα, κ.τ.λ.), εάν αυτές είναι ψυχρότερες ή – το αντίστροφο – εάν αυτές είναι θερμότερες από την ανθρώπινη επιδερμίδα

¹ <https://www.ashrae.org/>

- Με εξάτμιση μέσω της αναπνοής ή από την επιδερμίδα του σώματος μέσω της άδηλης αναπνοής ή της εφίδρωσης.

Κατά συνέπεια η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών, η κίνηση του αέρα και υγρασία είναι οι περιβαλλοντικές παράμετροι της θερμικής άνεσης που επιταχύνουν ή μειώνουν την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ατόμου και του περιβάλλοντος χώρου.

Η έννοια της θερμικής άνεσης στηρίζεται στην αρχή του ότι, σε σταθερές συνθήκες, η παραγωγή θερμότητας θα πρέπει να ισούται με τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία του σώματος γύρω στους 37 °C, περίπου. Συνεπώς, η θερμική άνεση είναι μια σύνθετη έννοια, καθώς επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Το θερμικό περιβάλλον αρχικά χαρακτηρίζεται από τις **φυσικές παραμέτρους**, της θερμοκρασίας του αέρα, της ταχύτητας του ανέμου, της σχετικής υγρασίας, της μέσης θερμοκρασίας της ακτινοβολίας, οι οποίες καθορίζουν και τον βαθμό αίσθησης θερμικής άνεσης. Οι φυσικές αυτοί παράμετροι διαφοροποιούνται ανάλογα με την χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Ο χώρος επιδρά βάσει της αστικής μορφολογίας του, λαμβάνοντας υπόψη τα υλικά στις επιφάνειες, το ανάγλυφο αλλά και την σκίαση, που συμπεριλαμβάνεται στη χρονική μεταβλητότητα. Οι φυσικές παράμετροι όμως δεν είναι οι μόνες που καθορίζουν την θερμική άνεση. Παράγοντες που έχουν να κάνουν με τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα οργανικοί, που αφορούν το φύλο, την ηλικία και τα φυλετικά χαρακτηριστικά αλλά και προσωπικοί, το επίπεδο δραστηριότητας, ο μεταβολικός τους ρυθμός και ο ρουχισμός είναι επίσης καθοριστικοί για την θερμική άνεση.



Σχήμα 1.4-1: Βασικοί Παράγοντες Θερμικής Άνεσης

Δείκτες Θερμικής Άνεσης

Για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιούνται δείκτες που ενσωματώνουν το σύνολο, ή μέρος, της παραπάνω πληροφορίας. Οι δείκτες αυτοί αν και αρχικά

είχαν στόχο την εκτίμηση της θερμικής άνεσης σε εσωτερικούς χώρους, στην συνέχεια προσαρμόστηκαν για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης σε εξωτερικούς χώρους. Τέτοιος δείκτης είναι ο **δείκτης Αναμενόμενης Μέσης Αποδοχής (Predicted Mean Vote, PMV)** αφορά την συσχέτιση της θερμικής άνεσης και του θερμικού αισθήματος, συνδέοντας τα επίπεδα περιβαλλοντικών παραμέτρων με τα επίπεδα δραστηριότητας και ρουχισμού. Η κλίμακα που έχει συνταχθεί είναι μεταξύ του -3 (αίσθηση κρύου) και του +3 (ζέστη), με το 0 να αποτελεί την ουδέτερη κατάσταση, ενώ θεωρείται αποδεκτό για τον δείκτη το εύρος τιμών από -0.5 έως 0.5. Ο δείκτης, ενώ χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αίσθησης θερμικής άνεσης ενός ατόμου αγνοεί συγκεκριμένες συνθήκες που μπορούν να επιφέρουν δυσφορία, όπως για παράδειγμα πολύ υψηλές θερμοκρασίες εδάφους, σημαντική ασυμμετρία στην ακτινοβολία ή μεγάλες κατακόρυφες μεταβολές της θερμοκρασίας. Άλλοι δείκτες αποτελούν Ο δείκτης **Ισχύος Αποψύξεως (Cooling Power, CP)** που εκφράζει το ρυθμό της απώλειας θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος που διατηρείται στη θερμοκρασία των 36.5 °C (σταθερή θερμοκρασία) όταν η επιφάνεια αυτή εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ενώ προτιμάται σε εφαρμογές μέτρησης της θερμικής άνεσης σε εξωτερικού χώρους. Ο δείκτης **Φυσιολογικής Ισοδύναμης Θερμοκρασίας (Physiological Equivalent Temperature, PET)** δίνει την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου του εξωτερικού περιβάλλοντος όταν το ισοζύγιο θερμότητας είναι πανομοιότυπο με αυτό ενός εσωτερικού χώρου. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, την θερμοκρασία αέρα, την ταχύτητα του ανέμου και την σχετική υγρασία. Χρησιμοποιείται κυρίως για μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους. Τέλος, ο δείκτης **Κανονικής Ενεργού Θερμοκρασίας (Standard Effective Temperature, SET)** συγκρίνει την φυσιολογική κατάσταση ενός ατόμου με ένα περιβάλλον αναφοράς. Μοιάζει στο τρόπο υπολογισμό με τον PMV και χρησιμοποιείται κυρίως για μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους.

Όμοια με την θερμική άνεση, η οπτική, η ακουστική άνεση και η άνεση λόγω ανέμου αποτελούν παραμέτρους καθορισμού της κλιματικής ποιότητας που είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη σε περιπτώσεις βιοκλιματικής πρότασης παρέμβασης.

Οπτική άνεση

Συγκεκριμένα, η οπτική άνεση σχετίζεται με την διείσδυση και κατανομή του φωτός σε έναν αστικό χώρο, εξασφαλίζοντας στους ανθρώπους τα επίπεδα επαρκούς φωτισμού. Η επάρκεια φωτός προσδίδει ένα καλοσχεδιασμένο αστικό χώρο που αναδεικνύει το δομημένο περιβάλλον, την βλάστηση, περιορίζοντας τα φαινόμενα οπτικής δυσφορίας, όπως η θάμβωση. Η θάμβωση αφορά την οπτική όχληση που προκαλείται όταν στο οπτικό πεδίο επικρατούν υψηλές τιμές ή μεγάλες αντιθέσεις φωτεινότητας. Η οπτική άνεση διασφαλίζεται μέσω ελέγχου εκπομπής ή ανάκλασης του φωτός στα διάφορα υλικά των κάθετων (π.χ. προσόψεις κτιρίων) και οριζόντιων επιφανειών (π.χ. πεζοδρόμια). Συνεπώς, πρέπει να ελέγχονται τα όρια των συντελεστών ανάκλασης κάθε υλικού (π.χ. ασφαλτος, τσιμέντο, γυαλί, μέταλλο ή

χρωματικής διαφοράς) σε σχέση με κάποιο άλλο, για την σωστή κατανομή φωτός στο αστικό περιβάλλον.

Ακουστική άνεση

Η ακουστική άνεση σημαίνει ότι στο χώρο υπάρχει κατάλληλο επίπεδο θορύβου επιφέροντας ποιοτικότερες συνθήκες ζωής. Οι ηχητικές πηγές διαφέρουν, καθώς υπάρχουν οι επιθυμητές φυσικές πηγές (π.χ. αστικά πάρκα) και οι μη επιθυμητές πηγές, δηλαδή ο θόρυβος από βιομηχανία και κυκλοφορία αυτοκινήτων, ενώ χρήζουν αντιμετώπισης μέσω του σχεδιασμού βελτίωσης της κλιματικής ποιότητας.

Τα επίπεδα ροής της ταχύτητας του ανέμου διαμορφώνουν συνθήκες άνεσης στην κίνηση των ατόμων. Παράγοντες όπως η περιοχή, η περίοδος και η κλίμακα Beaufort πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό, έτσι ώστε να διασφαλίζονται τόσο η άνεση λόγω ανέμου, όσο και η θερμική άνεση της κίνησης των πεζών. Ο *Bottema* ορίζει την άνεση λόγω ανέμου ως το στάδιο εκείνο κατά το οποίο οι μηχανικές επιδράσεις του ανέμου είναι τόσο έντονες και συμβαίνουν με τέτοια συχνότητα, ώστε οι άνθρωποι να μην ενοχλούνται από αυτές και να μην έχουν την ανάγκη να τις αποφύγουν.

Ποιότητα του αέρα

Τέλος, η ποιότητα του αέρα στο αστικό περιβάλλον αποτελεί επιπλέον έναν παράγοντα που πρέπει να εξασφαλίζεται κατά τον σχεδιασμό, καθώς η υπέρμετρη δραστηριότητα του ανθρώπου έχει οδηγήσει στην αύξηση των επιβλαβών για τον ανθρώπινο οργανισμό, ατμοσφαιρικών ρύπων. Ανάμεσα τους είναι τα οξείδια του θείου, του αζώτου, ο μόλυβδος, το μονοξείδιο του άνθρακα, το όζον καθώς και οι σωματιδιακοί ρύποι. Πηγές εκπομπής ρύπων αποτελούν κυρίως τα οχήματα αλλά και τα κτίρια, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για κατανάλωση ενέργειας τόσο για θερμότητα όσο και για ψύξη. Συνεπώς, οποιαδήποτε πρόταση παρέμβασης στον χώρο οφείλει να περιορίζει την εκπομπή αυτών, μη υπερβαίνοντας τα όρια τους, με στόχο την διασφάλιση καλύτερης ποιότητας αέρας και μείωση επιβλαβών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Ενώ, τρόποι για την βελτίωση της ποιότητας αέρα είναι ο περιορισμός οχημάτων μέσω εναλλακτικών μέσων μεταφοράς, η χρήση βλάστησης και η χρήση φωτοκαταλυτικών υλικών.

1.5. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Σύμφωνα με την Έκθεση για την Εθνική Στρατηγική για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΥΠΕΝ, 2016) αναφέρονται παρακάτω οι προτεινόμενες δράσεις για προσαρμογή του κτιριακού τομέα στη κλιματική αλλαγή για την αναβάθμιση της κτιριακής υποδομής και του περιβάλλοντα χώρου και κατ' επέκταση τη βελτίωση του μικροκλίματος του δομημένου περιβάλλοντος και την αποφυγή φαινομένων όπως η Αστική Θερμική Νησίδα.

Δράση 1. Προσαρμογή του αστικού σχεδιασμού στην κλιματική αλλαγή και βελτίωση των θερμικών περιβάλλοντος στις πόλεις με την αλλαγή του μικροκλίματος του δομημένου περιβάλλοντος (αστικά κέντρα).

- Μέτρο 1. Προσδιορισμός ολιστικής μεθοδολογίας για την εκτίμηση της τρωτότητας των κτηριακών υποδομών στο χερσαίο και παράκτιο περιβάλλον.
- Μέτρο 2. Κατάλληλος αρχιτεκτονικός και πολεοδομικός επανασχεδιασμός των χώρων με κατάλληλη διάταξη και αξιοποίηση των ελεύθερων χώρων (με χρήση σκίασης, αερισμού, κ.λπ.)
- Μέτρο 3. Εξέταση αναγκαιότητας επικαιροποίησης του Κτιριοδομικού Κανονισμού και του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) λαμβάνοντας υπόψη το μικροκλίμα των πόλεων και τις κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται ή εκτιμάται ότι θα προκύψουν.
- Μέτρο 4. Αύξηση του αστικού πρασίνου. Η σχέση δομημένου χώρου και πρασίνου θα πρέπει να αλλάξει για να εξισορροπήσει τις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές. Αυτό θα συμπεριλάβει την αξιοποίηση αναξιοποίητων περιοχών, την ανακατανομή και αποκατάσταση του πρασίνου στο δομημένο περιβάλλον. Τέλος, όπως προαναφέρθηκε, η ενσωμάτωση του πράσινου σε υπάρχουσες κατασκευές (οροφές, κάθετες επιφάνειες κ.λπ.) θα πρέπει να αποτελέσει προτεραιότητα.
- Μέτρο 5. Χρήση καινοτόμων και ενεργειακά φιλικών υλικών, τόσο για την ανακαίνιση παλαιών κτιρίων όσο και για την δόμηση νέων (μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης) καθώς και αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας και άλλων τεχνικών εξοικονόμησης που θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη σύγχρονη νομοθεσία.

Δράση 2. Μείωση των θερμικών και ενεργειακών αναγκών των κτιρίων προς την κατεύθυνση του μηδενικού ενεργειακού αποτυπώματος.

- Μέτρο 1. Συνδυασμένη χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, αποδοτικά συστήματα φωτισμού και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Μέτρο 2. Αποδοτική αξιοποίηση του διαθέσιμου ανθρώπινου και υλικού δυναμικού.
- Μέτρο 3. Εκπαίδευση χρηστών κτιρίων και βελτιωμένη απόδοση μέσω συμπεριφοριστικών αλλαγών.

Τέλος, για την περιοχή της Αθήνας και το Νομό Αττικής στο νέο Ρυθμιστικό σχέδιο (Νόμος 4277/2014, ΦΕΚ 156 Α') περιγράφονται, μεταξύ άλλων, στόχοι και κατευθύνσεις σχετικά με το αστικό περιβάλλον και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

1.6. ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.6.1. Αστικό πράσινο

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες πόλεις είναι η έλλειψη χώρων πρασίνου. Η κατάληψη του αστικού χώρου από το τσιμέντο έχει σημαντικές ενεργειακές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφού τα κτίρια ευθύνονται, σε μεγάλο ποσοστό, για την ενεργειακή κατανάλωση, αλλά και για την εκπομπή ρύπων και αερίων. Στην Ελλάδα, ειδικότερα, τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και για το 45% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Παράλληλα, η έλλειψη πράσινων επιφανειών επηρεάζει τη δημόσια υγεία, αλλά και επιβαρύνει τη συλλογική ψυχολογία των κατοίκων της πόλης εντείνοντας ένα αίσθημα δυσφορίας.

Η Αθήνα και η Αττική γενικότερα έχουν μεσογειακό² κλίμα και σε ό,τι αφορά τη σύνθεση της φυσικής βλάστησής τους, ανήκουν στη ζώνη των μεσογειακών φυτικών οικοσυστημάτων. Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες με συνολικό ύψος βροχής που, στην περίπτωση της Αττικής, δεν ξεπερνά τα 400-500mm, με κατανομή κυρίως κατά την περίοδο Απριλίου-Νοεμβρίου με



με παρατεταμένη και ξηροθερμική καλοκαιρινή περίοδο. Τα μεσογειακά φυτικά οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από την παρουσία κυρίως θάμνων αλλά και δένδρων. Οι θάμνοι είναι αείφυλλοι και σκληρόφυλλοι, με βαθιές ρίζες για να αντλούν το απαραίτητο για την επιβίωσή τους νερό και μικρά δερματώδη φύλλα για να περιορίζουν την απώλεια νερού το καλοκαίρι που η ξηρασία είναι έντονη, ενώ χαρακτηριστικοί μεσογειακοί θάμνοι είναι το πουρνάρι, η κουμαριά, ο σχίνος. Τα δένδρα που συναντώνται είναι κυρίως κωνοφόρα. Ωστόσο, συναντώνται συχνά και ξενικά είδη που έχουν προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος και αποτελούν πλέον ένα σημαντικό ποσοστό της βλάστησης.

Τα σημαντικότερα μεσογειακά είδη δένδρων που συναντώνται στους χώρους πρασίνου της Αθήνας είναι η Χαλέπιος Πεύκη που είναι εξαιρετικά ξηροφυτικό και θερμόβιο είδος και συναντάται στα δάση που υπάρχουν γύρω από την Αθήνα αλλά και μέσα στα μεγάλα πάρκα της, η Ελιά και Αγριελιά, όπου συναντάται σε πολλούς χώρους πρασίνου, και στους αρχαιολογικούς χώρους της Αθήνας, η Νερατζιά και

² <https://www.monumenta.org/article.php?IssueID=2&lang=gr&CategoryID=3&ArticleID=88>

η πυκνή σε φύλλωμα και μέτρια ανάπτυξη Μουριά, είναι δένδρα που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο στις δενδροστοιχίες, όχι μόνο της Αθήνας αλλά και πολλών άλλων ελληνικών πόλεων, η Χαρουπιά που έχει πυκνή κόμη με χαρακτηριστικά φύλλα σε σκούρο πράσινο χρώμα, τα φυλλοβόλα είδη, Κουτσουπιά, Αργυρόφυλλη Λεύκα και Λεύκα είδος που χρησιμοποιείται ευρέως στα πάρκα και τις δενδροστοιχίες της Αθήνας, ωστόσο καταναλώνει αρκετό νερό και μπορεί να ξερριζωθεί από τον αέρα και να δημιουργήσει προβλήματα και τέλος η Αριά αειφύλλο είδος βελανιδιάς που το συνηθισμένο του μέγεθος δεν ξεπερνάει τα 2 με 3 μέτρα.

Αντίστοιχα, στα σημαντικότερα ξενικά είδη δένδρων που συναντώνται στους χώρους πρασίνου της Αθήνας είναι ο Φοίνικας, τροπικό ή υποτροπικό είδος με αργή ανάπτυξη που έχει προσαρμοστεί στην Ελλάδα, στο νότιο κυρίως τμήμα της και σε περιοχές που έχουν ήπιες κλιματικές συνθήκες, η Ουασινγκτόνια είδος φοίνικα με παλαμοειδές σχήμα φύλλων που μπορεί να φτάσει σε πολύ μεγάλο ύψος, ο Ευκάλυπτος που έχει προσαρμοστεί στα μέρη με ήπιο κλίμα ενώ μπορεί να δημιουργεί προβλήματα, γιατί το ξύλο του είναι ελαφρύ και τα κλαδιά του μπορεί να σπάσουν εύκολα από τον αέρα, η Ροβίνια που αποτελεί φυλλοβόλο είδος ακακίας με μεγάλη ανάπτυξη, ευρύτατα διαδεδομένο στο αστικό πράσινο της Αθήνας, ενώ όταν χρησιμοποιείται σε δενδροστοιχίες προσφέρει αρκετή σκιά το καλοκαίρι με το φύλλωμά της και επιτρέπει τον ηλιασμό το χειμώνα, όταν τα κλαδιά της μένουν γυμνά, η Σοφόρα που αποτελεί φυλλοβόλο ακακίας με μεγάλη ανάπτυξη είδος που μοιάζει πολύ με τη ροβίνια, ενώ όταν χρησιμοποιείται σε δενδροστοιχίες προσφέρει αρκετή σκιά το καλοκαίρι με το φύλλωμά της και επιτρέπει τον ηλιασμό το χειμώνα, όταν τα κλαδιά της μένουν γυμνά, η Γιακαράντα ημισειθαλές δένδρο και ευαίσθητο στο κρύο και ο Βραχυχίτωνας, αειθαλές δέντρο μέτριας ανάπτυξης που είναι ανθεκτικό στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην ξηρασία.

Στη διεθνής βιβλιογραφία προκύπτει ευρύ ενδιαφέρον ανάλυσης στο πως η βλάστηση ανάλογα, τη πυκνότητα (Unal, Uslu, Cilek, & Altunkasa, 2018), τη διάταξη και την τοποθέτηση (Lee, Mayer, & Kuttler, 2020; Milosevic, Bajanski, & Savic, 2017), το τύπο (Su, Zhang, Yang, & Ye, 2014) και την κατεύθυνση – προσανατολισμό (Sodoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018) της σειράς τοποθέτησης αυτής στο αστικό περιβάλλον μπορεί να συνεισφέρει στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Οι Babak A., et al (2020) απέδειξαν ότι η ορθογώνια φύτευση αειθαλών δέντρων σε εξωτερικές σειρές και φυλλοβόλα δέντρα σε εσωτερικές σειρές και κατεύθυνση κάθετη προς τον επικρατούντα άνεμο συνεισφέρει στη βελτίωση της εξωτερικής θερμικής άνεσης με μείωση 1,3 του δείκτη θερμική άνεσης (PMV)), ενώ τριγωνικά μοτίβα κάθετα προς την κατεύθυνση του ανέμου με αειθαλή δέντρα επιφέρουν την ασθενέστερη απόδοση στη βελτίωση της θερμικής άνεσης (μείωση 0,2 PMV). Ομοίως, οι Rui L. et al, 2018 συγκρίνοντας διαφορετικά είδη φύτευσης (δένδρα, γρασίδι, θάμνοι) αποδεικνύουν ότι η επιλογή δένδρων συμβάλει περισσότερο στη βελτίωση της θερμικής άνεσης εκφρασμένη μέσω της μέσης θερμοκρασίας

ακτινοβολίας και του δείκτη θερμικής άνεσης PMV. Ωστόσο, η συγκέντρωση πολλών δένδρων μπορεί να παρεμποδίσουν τη κυκλοφορία του ανέμου στο χώρο με αποτέλεσμα μια ελαφρά αύξηση στην συγκέντρωση των ρύπων. Γι' αυτό το λόγο κρίνεται σκόπιμη η σωστή τοποθέτηση της βλάστησης. Μελέτη των Asef S.M. et al, 2020 συγκρίνει τρία διαφορετικά είδη σε βλάστηση (Φίκο, Δηλώνιξ η βασιλική και Μουριά) σε σχέση με την πυκνότητα φυλλώματος που έχουν βάση των δεικτών πυκνότητας σε φύλλωμα (Leaf area Index, LAI και Leaf Area Density, LAD) αποδεικνύοντας ότι όσο αυξάνει η πυκνότητα του φυλλώματος στο δένδρο, δημιουργείται και ένα πιο πυκνό δίκτυο βλάστησης (θόλος δένδρων), επηρεάζοντας περισσότερο το μικροκλίμα της περιοχής μειώνοντας τη θερμοκρασία του αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και το δείκτη θερμικής άνεσης.

Σε μελέτη για την εφαρμογή πράσινων κήπων για τον περιορισμό της κατανάλωσης σε ενέργεια και του φαινομένου της ΑΘΝ στα Χανία της Κρήτης, οι Tsiliki et al 2015 σύγκριναν παραμετρικά σενάρια, συγκεκριμένα εφαρμογή απουσίας βλάστησης, της υφιστάμενης κατάστασης σε βλάστηση και δύο εναλλακτικά σενάρια βλάστησης που αφορούν είτε εφαρμογή ειδών κηπουρικής ή καλλιέργεια αρωματικών και φαρμακευτικών ειδών. Τα σενάρια των αστικών κήπων μείωσαν τη θερμοκρασία της επιφάνειας κατά 10°C από το σενάριο με απουσία βλάστησης και 5°C από την υφιστάμενη κατάσταση σε ημέρες με υψηλή θερμοκρασία, ωστόσο, οι διαφορές μεταξύ αυτών των δύο σεναρίων βλάστησης δεν είχε μεγάλη διαφοροποίηση.

1.6.2. Πράσινες Υποδομές – “Green Infrastructure”

Ένα μέτρο που αξίζει να επισημανθεί και διερευνηθεί η εφαρμογή του περαιτέρω στη βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών του αστικού περιβάλλοντος είναι και αυτό των «πράσινων στεγών ή πράσινων δωματίων». Το 2011 το ΥΠΕΚΑ εξέδωσε υπουργική απόφαση ³σχετικά με τους «Όρους, προϋποθέσεις και διαδικασία κατασκευής φυτεμένων επιφανειών σε δώματα, στέγες και υπαίθριους χώρους κτιρίων». Η Απόφαση αναφέρει περί της τήρησης Ειδικού Μητρώο Φυτεμένων Επιφανειών, δηλαδή τη δημιουργία μιας τράπεζας δεδομένων που θα ενημερώνεται διαρκώς με τις γνωστοποιήσεις κατασκευής φυτεμένων επιφανειών που θα υποβάλλονται στα κατά τόπους υπηρεσίες δόμησης.

Η αύξηση της ποσόστωσης των πράσινων επιφανειών συμβάλει στην αισθητική, μορφολογική και ποιοτική αναβάθμιση των πόλεων, αλλά και στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής μας. Οι φυτεμένες επιφάνειες βελτιώνουν το μικροκλίμα των αστικών περιοχών, μειώνουν τη σκόνη και το νέφος, ενισχύουν και προστατεύουν τη μόνωση των κτιρίων, αυξάνουν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και δημιουργούν φυσικό περιβάλλον για την αστική χλωρίδα και πανίδα, τους

³<http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2011/12/Y.A.-fytemenes-epifaneies.pdf>

λεγόμενους «πράσινους διαδρόμους». Επίσης, συμβάλλουν στην ισοκατανομή των χώρων πρασίνου και εξισορροπούν τις ανισότητες στις επιβαρυμένες αστικές περιοχές. Ειδικά για τις υποβαθμισμένες αστικές περιοχές όπου παρατηρείται υπερδόμηση, η δημιουργία πράσινων επιφανειών μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στη διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων, καθώς το νερό της βροχής πέφτοντας στο τσιμέντο δεν βρίσκει γη για να απορροφηθεί. (Lee, D.H. et al, 2013)

Σε μελέτη των Kim J.K., 2020 ο στόχος της μελέτης είναι να βρει τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους διάταξης της βλάστησης στις σκεπές για μείωση της θερμοκρασίας συγκρίνοντας μεταξύ πλήρους κάλυψης, γραμμικής (διαμήκη), γραμμική (εγκάρσια), σκακιέρα και απουσία βλάστησης στον τελευταίο όροφο. Η πλήρης κάλυψης και η γραμμική (διαμήκη) διάταξη κήπων πέτυχαν τη μέγιστη μείωση θερμοκρασίας, κατά $-0,3\text{ C}$, ενώ η χαμηλότερη μέγιστη μείωση κατά $-0,2\text{ C}$ επιτεύχθηκε με το μοτίβο σκακιέρας. Σε μεγαλύτερες περιοχές εφαρμογής, οι πράσινες στέγες βελτιώνει θερμοκρασιακά το μικροκλίμα περισσότερο τις πρωινές ώρες έναντι τις απογευματινές, ενώ το αντίκτυπο των πράσινων στεγών στη θερμοκρασιακή βελτίωση δεν μπορεί να μελετηθεί αποτελεσματικά σε περιοχές εφαρμογής μικρότερης κλίμακας ανάλυσης (γειτονιά – κτίριο). Στη μελέτη των Huang, J.M. et al, 2020, προτείνεται ότι εάν η πράσινη περιοχή στις στέγες αυξηθεί κατά τουλάχιστον 60%, το θερμικό περιβάλλον μπορεί να βελτιωθεί, ενώ όταν η αναλογία σε βλάστηση ήταν σταθερή στο 60%, υπήρχε μείωση θερμοκρασίας τουλάχιστον $-0,44\text{ C}$ με $-2,0\text{ C}$, ανάλογα τη περατότητα που υπήρχε στις πλάκες εγκατάστασης.

1.7. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ

Η αυξημένη θερμοκρασία αέρα στις πόλεις, η ύπαρξη του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) αστικού νησιού (UHI), οι κίνδυνοι θνησιμότητας από αυξημένες θερμοκρασίες και κακή ποιότητα αέρα, μειώνουν τις συνθήκες άνεσης των κατοίκων και αυξάνει τη μέση και μέγιστη ενεργειακή ζήτηση κτιρίων. Προς την αντιμετώπιση αυτού του ανεπιθύμητου φαινομένου, χρειάζεται να εφαρμόζεται μια σειρά στρατηγικών και πολιτικών και προσαρμοσμένο στις πόλεις. Οι πυκνοδομημένες πόλεις αναπτύσσονται ολοένα είτε στο κάθετο είτε στο οριζόντιο άξονα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται μεγαλύτερη θερμότητα από την ανθρωπογενή δραστηριότητα, περιορισμός του αερισμού λόγω της έντονης αστικής μορφολογίας και κατ' επέκταση μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της εφαρμογής τεχνικών υλικών, και τελικά τη δυσκολία επανεκκομπής της μεγάλου μήκους ακτινοβολίας (θερμική) λόγω της έντονης αστικής μορφολογίας (Ashtiani A. et al, 2014; Mirzaei PA et al, 2010)

Ο Mirzaei, PA (2015) μελέτησε και συγκέντρωσε προτάσεις μοντελοποίησης που αναφέρονται σε διαφορετικές κλίμακες σχεδιασμού (κτίριο, γειτονιά και πόλη) για τη αντιμετώπιση του φαινομένου της ΑΘΝ και έπειτα τις ομαδοποίησε σε έξι (6) θεματικές

κατηγορίες ερευνητικού ενδιαφέροντος συμπεριλαμβανομένου του 1. αστικού αερισμού και της επιφανειακής τροποποίησης υλικών, 2. υγεία και άνεση, 3. χωρική-χρονική παραλλαγή του φαινομένου της ΑΘΝ, 4. αξιολόγηση και βελτίωση των μοντέλων εφαρμογής, 5. μελλοντική πρόβλεψη θερμοκρασίας και 6. εξοικονόμηση ενέργειας κτιρίου.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά την κλίμακα σχεδιασμού σε επίπεδο γειτονίας εστιάζουν στη αλληλεπίδραση των κτιρίων με το περιβάλλον του για την ανάπτυξης μοντέλων μικροκλίματος, χρησιμοποιώντας τεχνική υπολογιστικής ρευστικής δυναμικής (CFD) για την μελέτη της ροής αέρα γύρω και μέσα στα κτίρια. Σε τέτοια μοντέλα συμπεριλαμβάνονται επίσης η ηλιακή ακτινοβολία και η επιφανειακή μεταφορά από τις επιφάνειες των κτιρίων. Ένας άλλος τύπος μικροκλιματικού μοντέλου είναι το μοντέλο αστικού θόλου που χρησιμοποιείται ευρέως για τη διερεύνηση του ενεργειακού προϋπολογισμού εντός του αστικού περιβάλλοντος. Γενικά, το αντίκτυπο διαφορετικών παραμέτρων όπως ο προσανατολισμός του κτιρίου, ο λόγος των διαστάσεων δρόμου (αστικό φαράγγι), τα επιφανειακά υλικά, η βλάστηση και η φύτευση δέντρων, η θερμική άνεση και ο αστικός αερισμός διερευνώνται μέσω τέτοιων μοντέλων CFD. Η αδυναμία των μοντέλων CFD μικροκλίματος εστιάζουν στην έκταση που αφορούν τέτοια μοντέλα (μερικές εκατοντάδες μέτρα) λόγω υπολογιστικού κόστους. Τέλος τα μοντέλα αστικού θόλου εμφανίζουν αδυναμίες στην παρουσίαση λεπτομερειών ροής αέρα γύρω από τα κτίρια, όπως φαίνεται σε μελέτες υπολογισμού της θερμικής άνεσης.

Όλες οι τεχνικές βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος εντάσσονται σε ένα συνολικό βιοκλιματικό αστικό σχεδιασμό που περιλαμβάνει την κλίμακα του κτιρίου, του οικοδομικού τετραγώνου ή και τη ίδια της πόλης. Ο κύριος στόχος του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού είναι να διασφαλίζει τη κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο τόσο την χειμερινή όσο και την θερινή περίοδο, δημιουργώντας έτσι συνθήκες άνεσης για τα άτομα που δραστηριοποιούνται σε αυτόν. Η στρατηγική βελτίωσης του μικροκλίματος περιλαμβάνει δράσεις όπως:

1. Αξιοποίηση της αρχιτεκτονικής δομής του κτιρίου, τον προσανατολισμό του και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου γίνεται και η ανάλογη αξιοποίηση ή μη της ροής του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας.
2. Χρήση ψυχρών υλικών δόμησης στο εξωτερικό των κτιρίων, υψηλής ανακλαστικότητας και μεγάλου συντελεστή εκπομπής. Η αύξηση της ανακλαστικότητας σε αστική κλίμακα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα σε αρκετά εκτεταμένες αστικές περιοχές ως και 2 βαθμούς κελσίου.
3. Ενίσχυση πρασίνου για τους υπαίθριους χώρους και πλατείες
4. Δημιουργία δικτύου πράσινων οάσεων το οποίο θα συνδέει τις υφιστάμενες και τις προτεινόμενες πλατείες με τους αρχαιολογικούς χώρους
5. Πράσινες στέγες στη ευρύτερη περιοχή (Wong JKW et al, 2013)
6. Μπλε και πράσινες τεχνολογίες σχεδιασμού

7. Χρήση φωτοβολταϊκών και μελέτη επίδρασης στη θερμοκρασία του αέρα (Taha H., 2013)
8. Μείωση της ανθρωπογενούς θερμότητας.
9. Χρήση ψυχρών πηγών για την απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας.
10. Κατάλληλη διάταξη και χρήση των ελεύθερων χώρων με χρήση σκίασης, αερισμού κλπ.

Με το κατάλληλο σχεδιασμό του δομημένου περιβάλλοντος δημιουργούνται ευνοϊκές μικροκλιματικές συνθήκες και κατ' επέκταση μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας τόσο για ψύξη το καλοκαίρι, όσο και για θέρμανσή το χειμώνα. Συνεπώς, βάσει των παραπάνω δράσεων και τη περίοδο εφαρμογής, το χειμώνα μπορεί να υλοποιηθεί θέρμανση των χώρων μέσω ηλιακής ακτινοβολίας και μείωση των θερμικών απωλειών, ενώ το καλοκαίρι με την κατάλληλη ηλιοπροστασία (βλάστηση κα) υλοποιείται μείωση των αναγκών σε ψύξη και απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας. Ο κτιριακός σχεδιασμός μπορεί επίσης να προστατεύσει το κτίριο από δυνατούς ανέμους αλλά και να εκμεταλλευτεί αυτούς για φυσικό αερισμό και δροσισμό. Η εξασφάλιση ενός βιώσιμου ενεργειακά κτιρίου μπορεί να βελτιώσει και τις θερμικές συνθήκες του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο, αλλά και να ρυθμίσει τις εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες ενός χώρου για επίτευξη θερμικής – οπτικής και ακουστικής άνεσης των ατόμων. Οι παραπάνω παράμετροι και τρόποι υλοποίησης περιγράφονται αναλυτικά στο επόμενο **Κεφάλαιο 2**.

2. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται ανάλυση σχετικά με το πώς ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί στην προσαρμογή των κτιρίων στο περιβάλλον και στο τοπικό κλίμα, διασφαλίζοντας παράλληλα συνθήκες θερμικής άνεσης τόσο στο εσωτερικό τους όσο και στο περιβάλλοντα χώρο. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η μικροκλιματική ανάλυση του περιβάλλοντα χώρου, ωστόσο η βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στις πόλεις μέσω του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού πρέπει να θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι του πολεοδομικού σχεδιασμού. Γι' αυτό τον λόγο κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στις αρχές του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού καθώς ο σχεδιασμός των κτιρίων αποτελεί σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το μικροκλίμα μιας περιοχής, καθώς αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή μεταφοράς θερμότητας στο περιβάλλον. Ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Υπαίθριων Αστικών χώρων στοχεύει στη μείωση στη μείωση ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων για θέρμανση και ψύξη, δημιουργία ζωνών με ευνοϊκό μικροκλίμα, δημιουργία άνετων εξωτερικών χώρων, εναρμόνιση του δομημένου χώρου με το φυσικό τοπίο και τη δημιουργία αειφόρων και βιώσιμων πόλεων (Κίκηρα, 2006)

Η βιοκλιματική αντίληψη για το σχεδιασμό κτιρίων και οικιστικών συνόλων εντάσσεται στην στρατηγική της βιωσιμότητας, μιας ήπιας, συμβιωτικής διαχείρισης του περιβάλλοντος, φυσικού και δομημένου. Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του ευνοϊκού κλίματος και των φυσικών πόρων που διαθέτει η Ελλάδα είναι σκόπιμο να αξιοποιούνται και για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού τομέα αλλά και του περιβάλλοντα χώρου. Οι πόλεις και τα κτίρια οφείλουν να καταστούν βιώσιμα ως προς την ενεργειακή τους συμπεριφορά, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τεχνικές βελτίωσης του μικροκλίματος αλλά και της ενίσχυσης των πράσινων χώρων, τόσο για εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και για περιορισμό της ρύπανσης της ατμόσφαιρας προς όφελος της υγιεινής διαβίωσης των κατοίκων.

Η υιοθέτηση του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων εξυπηρετεί τέσσερις (4) **βασικούς στόχους**:

1. Την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και την υποκατάστασής τους από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), άρα και την εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας.
2. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση των κτιρίων ή/και των δροσερών ανέμων για τον δροσισμό τους αποτελούν οικονομική πρόκληση εξοικονόμησης.
3. Την προστασία του περιβάλλοντος, λόγω του περιορισμού χρήσης συμβατικών καυσίμων και ηλεκτρισμού και τη συνακόλουθη μείωση των εκλυόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

4. Τη βελτίωση του έσω-κλίματος των κτιρίων με τη διασφάλιση συνθηκών βιολογικής άνεσης -θερμικής και οπτικής, ποιότητας αέρα- και τη δημιουργία υγιεινών συνθηκών βίωσης.

Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού κτιρίων λαμβάνεται υπόψη ένα σύνολο παραμέτρων, θεσμικών, κτιριολογικών και σχεδιαστικών, τα οποία καθορίζουν τη μορφή του κτιρίου. Η βιοκλιματική αντίληψη ενσωματώνει τον περιβαλλοντικό και ενεργειακό σχεδιασμό του δομημένου χώρου, τόσο για τη χειμερινή, όσο και για τη θερινή περίοδο. Η θερμική λειτουργία των κτιρίων, την οποία εξυπηρετεί ο σχεδιασμός και η κατασκευή, είναι μια δυναμική κατάσταση που εξαρτάται **άμεσα από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους** (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, σχετική υγρασία, άνεμο, βλάστηση, κ.τ.λ.). Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αναφέρεται στο σχεδιασμό κτιρίων με βάση το κλίμα της περιοχής, στοχεύοντας την επίτευξη συνθηκών άνεσης, αξιοποιώντας τα φυσικά χαρακτηριστικά του κλίματος έναντι των τεχνητών μέσων για θέρμανση, δροσισμό, αερισμό, φωτισμό. Στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η δημιουργία συνθηκών άνεσης εσωτερικά των κτιρίων αλλά και στο περιβάλλοντα χώρο, προσφέροντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με θετικές επιπτώσεις τόσο στην οικονομία, όσο και στο περιβάλλον. Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική φιλική προς το περιβάλλον και τους χρήστες, η οποία οφείλει να επιφέρει τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση στο φυσικό χώρο, με το μικρότερο δυνατό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Από τις παραμέτρους του περιβάλλοντος που επηρεάζουν καθοριστικά το βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων είναι και το φυσικό περιβάλλον, δηλαδή το ανάγλυφο του εδάφους, η βλάστηση, το τοπίο – θέα, η γεινίαση με νερό. Στο βιοκλιματικό σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη ο σωστός προσανατολισμός, το μέγεθος και η μορφή του κτιρίου, ο γενικότερος πολεοδομικός σχεδιασμός (γεινίαση με άλλα κτίρια ή εμπόδια για την ηλιακή ακτινοβολία και τον αέρα) και γενικότερα στοιχεία της αστικής μορφολογίας, ο προσδιορισμός των προσήλιων και υπήνεμων περιοχών, σε σχέση με τους ψυχρούς χειμερινούς ανέμους, η ύπαρξη δέντρων, η χωροθέτηση των κατάλληλων ανοιγμάτων και υαλοπινάκων, η θερμομόνωση, κ.τ.λ. Οι παράμετροι αυτοί αξιοποιούνται από τα μοντέλα μικροκλιματικής προσομοίωσης, όπως αναλύεται στο επόμενο **Κεφάλαιο 3**.

Στοχεύοντας στη μείωση και εκμηδενισμό της παρεχόμενης από το συμβατικό σύστημα θέρμανσης και η ελαχιστοποίηση της παρουσίας τεχνητού φωτισμού, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κατά τη **χειμερινή περίοδο** αποσκοπεί:

- στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου και των θερμικών απωλειών από την είσοδο του ψυχρού εξωτερικού αέρα, επιτρέποντας μόνο τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αερισμό,
- στην αύξηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία, και
- στη διάθεση επαρκούς ποσοτικά και ποιοτικά φυσικού φωτισμού.

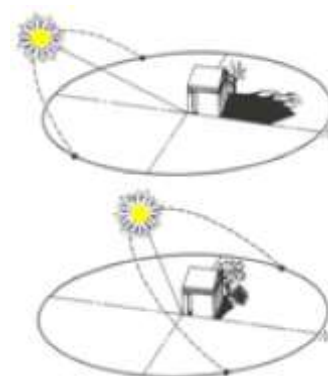
Αντίστοιχα, την **θερινή περίοδο**, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, στοχεύοντας στη ελαχιστοποίηση ή αποτροπή της χρήσης μηχανολογικού εξοπλισμού για ψύξη αποσκοπεί:

- στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης από την ηλιακή ακτινοβολία
- στην αποφυγή της οπτικής θάμβωσης και
- στη βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού δροσισμού.

2.1. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Ως Βιοκλιματικός Σχεδιασμός περιγράφεται ο σχεδιασμός, ο οποίος λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό κλίμα, επιδιώκει την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών εσωτερικής και εξωτερικής άνεσης, με την αξιοποίηση των διαθέσιμων φυσικών πηγών με στόχο την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, αλλά και τη ελαχιστοποίηση μεταφοράς περίσσιας θερμότητας στο περιβάλλον. Ο σχεδιασμός του κτιρίου οφείλει να συνάδει με τις βιοκλιματικές αρχές λειτουργίας που θέτουν **το κτίριο ως φυσικό ηλιακό συλλέκτης τον χειμώνα** και αποδέκτης και αποθήκη της φυσικής ψύξης το καλοκαίρι βάσει της χωροθέτησης αυτού, το σχήμα, το προσανατολισμό του ίδιου και των ανοιγμάτων του.

Όσον αφορά το προσανατολισμό του κτιρίου, ο νότιος προσανατολισμός των ανοιγμάτων αυτού ερμηνεύεται ως ευνοϊκότερος ενεργειακά κατά τη **χειμερινή περίοδο**, καθώς η προσπίπτουσα ενεργειακή ακτινοβολία είναι σχεδόν τριπλάσια σε σχέση με την προσπίπτουσα στο ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό. Αντίστοιχα, κατά τη **θερινή περίοδο** η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται στο μισό για τη νότια προσανατολισμένη επιφάνεια σχέση με τη ανατολική ή δυτική. Επιπλέον, οι νότια προσανατολισμένες κατακόρυφες επιφάνειες δέχονται το χειμώνα την ηλιακή ακτινοβολία όλες τις ώρες της ημέρας με μικρές γωνίες πρόσπτωσης, ενώ το καλοκαίρι δέχονται την ακτινοβολία λίγες ώρες και με μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης. Το χειμώνα, ο ανατολικός ή ο δυτικός προσανατολισμός δέχεται ακτινοβολία λίγες ώρες το πρωί ή το απόγευμα αντίστοιχα, όταν δηλαδή οι ηλιακές ακτίνες έχουν μειωμένη ένταση λόγω της μεγάλης τους διαδρομής μέσα από την ατμόσφαιρα, ενώ το καλοκαίρι δέχονται περισσότερες ώρες την ακτινοβολία, εφόσον ο ήλιος ανατέλλει ΒΑ και δύει ΒΔ.



Για την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου και κατ' επέκταση τη μικροκλιματική βελτίωση ιδιαίτερη σημασία έχει η χρήση των τεχνικών του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Παρακάτω διατυπώνονται οι βασικές αρχές σχεδιασμού και οργάνωσης των κτιρίων, σε σχέση πάντα με το κλίμα. Παρακάτω αναλύονται οι βασικές τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων (ΚΑΠΕ,2002).

1. Θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους

Η «θερμική προστασία» του κελύφους εξασφαλίζεται με τη ενσωμάτωση θερμομονωτικών στοιχείων στο κέλυφος, την συνέχεια της θερμομόνωσης για την αποφυγή θερμογεφυρών, τη χρήση επιχρισμάτων και χρωματισμών ψυχρών βαφών μεγάλης ανακλαστικότητας για τις προσήλιες τους θερινούς μήνες εξωτερικές επιφάνειες τοίχων και ταρατσών, τη χρήση διπλών / τριπλών υαλοπινάκων και αεροστεγών κουφωμάτων για τον περιορισμό των σημαντικότερων απωλειών των ανοιγμάτων. Επιπλέον, η αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολία προϋποθέτει ύπαρξη θερμικής μάζας στο εσωτερικό του κτιρίου για να αποθηκευτεί η θερμότητα που αποκτήθηκε. Το πιο πρόσφορο μέσο για την αποθήκευση της θερμότητας αποτελούν τα υλικά με υψηλή θερμοχωρητικότητα, όπως ορισμένα οικοδομικά υλικά (πέτρα, σκυρόδεμα, πλίνθοι, κεραμικά πλαίδια, μάρμαρο) ή νέας τεχνολογίας υλικά, όπως τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM – Phase Change Materials).

2. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης και δροσισμού

ι. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων έχουν αναπτυχθεί τρεις (3) κατηγορίες τεχνικών συστημάτων, ανάλογα με το αν παρεμβάλλονται ή όχι μηχανολογικά συστήματα: τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα παθητικά ηλιακά συστήματα, ενώ μία τρίτη κατηγορία είναι τα υβριδικά συστήματα. Τα «παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης» αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών αναγκών (θέρμανση ή ψύξη) των χώρων ενός κτιρίου και δεν κάνουν χρήση μηχανικών μέσων για τη μεταφορά της θερμότητας προς το χώρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι εκείνα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση ή ψύξη και δεν κάνουν χρήση μηχανικών μέσων για τη μεταφορά της θερμότητας προς το χώρο (συστήματα όπως ειδικά υαλοστάσια, τοίχοι θερμικής αποθήκευσης, θερμοκήπια, αεροσυλλέκτες κτλ). Βασίζονται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας, εκμεταλλεύονται τις φυσικές ιδιότητες των υλικών του κτιρίου και χρησιμοποιούν, για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και την αποθήκευση της θερμότητας, **τα δομικά στοιχεία του κελύφους** (τοίχους, δάπεδα, οροφές, δώμα).

Η εφαρμογή των παθητικών ηλιακών συστημάτων προϋποθέτει ένα κτίριο σχεδιασμένο σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων βασίζεται στο «**φαινόμενο του θερμοκηπίου**» για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε θερμότητα, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής για τη μεταφορά της θερμότητας από το χώρο της συλλογής στην αποθήκη θερμότητας ή και στο χώρο που θα θερμανθεί. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αναφέρεται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από τον υαλοπίνακα σε θερμική ακτινοβολία και στη δέσμευσή της ως θερμότητα στον εσωτερικό χώρο, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση του θερμικού ισοζυγίου του

χώρου. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα παθητικά ηλιακά συστήματα, διακρίνονται σε **υλικά συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας** και σε **υλικά αποθήκευσης της θερμότητας**. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των κτιρίων είναι η δέσμευσή της μέσα από τα γυάλινα ανοίγματα του κτιρίου. Τα υλικά συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαφανή υλικά (διαπερατά από την ηλιακή ακτινοβολία), όπως για παράδειγμα οι υαλοπίνακες, τα σκληρά πλαστικά και η διαφανής θερμομόνωση. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας είναι υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Συνήθως είναι οικοδομικά υλικά του κελύφους ή των εσωτερικών διαχωριστικών τοιχοποιιών, καθώς και υλικά επενδύσεων τοιχοποιιών και δαπέδων (σκυρόδεμα, πέτρα, ωμόπλινθοι, οπτόπλινθοι, νερό).

Για το σκοπό αυτό, το πλέον σημαντικό στοιχείο είναι ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων. Για παράδειγμα, τα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό είναι αυτά που δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα και συνιστώνται για χώρους με μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση. Εκτός, όμως, από αυτό το σύστημα άμεσου κέρδους, υπάρχουν και συστήματα έμμεσου κέρδους, όπως οι ηλιακοί τοίχοι, οι ηλιακοί χώροι (θερμοκήπια) και τα ηλιακά αίθρια. Για την αποτελεσματική λειτουργία του κτιρίου, ως **φυσικού ηλιακού συλλέκτη**, είναι ανάγκη η θερμότητα, που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, να παγιδεύεται στο εσωτερικό του. Για αυτόν λόγο συνιστάται αφενός η προστασία του κτιρίου από ψυχρούς χειμερινούς ανέμους και αφετέρου η **θερμομόνωση** του κελύφους του για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών από το κέλυφος προς το εξωτερικό περιβάλλον και τη βελτίωση του μικροκλίματος από ακραίες θερμοκρασιακά συνθήκες.

ii. Παθητικά συστήματα δροσισμού

Ο φυσικός ή παθητικός δροσισμός βασίζεται στην εκμετάλλευση ή και στον έλεγχο των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο κτίριο και το περιβάλλον και έχουν σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους ή τη βελτίωση των λοιπών περιβαλλοντικών παραμέτρων, δημιουργώντας το αίσθημα θερμικής άνεσης. Γι' αυτό το λόγο, το κτίριο κατά τον βιοκλιματικό σχεδιασμό οφείλει να λειτουργεί και ως **αποδέκτης και αποθήκη της φυσικής ψύξης**. Το καλοκαίρι η έντονη ηλιακή ακτινοβολία και οι υψηλές θερμοκρασίες επιβαρύνουν το κτίριο, με αποτέλεσμα να προκαλείται κίνδυνος υπερθέρμανσης στους εσωτερικούς χώρους. Συνεπώς για να επιτευχθεί η θερμική άνεση απαιτείται μια πλήρης αντιστροφή της χειμερινής θερμικής λειτουργίας του κελύφους του κτιρίου ώστε οι επιφάνειες και ο εσωτερικός χώρος να παραμένουν δροσερές και επομένως η θερμική μάζα που θα μεταφερθεί στο περιβάλλον να μην αυξάνει το θερμικό φορτίο

Για την επίτευξη του φυσικού δροσισμού απαιτείται τόσο η προστασία του κτιρίου από τον ήλιο, ιδιαίτερα των ανοιγμάτων του, όσο και η μεταφορά της περίσσειας θερμότητας προς το ύπαιθρο. Συνεπώς, με τα «παθητικά συστήματα δροσισμού»

επιδιώκεται η μείωση των θερμικών φορτίων του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες και επιτυγχάνεται με κατάλληλη σκίαση των ανοιγμάτων, ανάλογα με τον προσανατολισμό τους. Μεγάλη συμβολή στο δροσισμό του κτιρίου έχει και ο φυσικός αερισμός του, που εξαρτάται επίσης από τη θέση των ανοιγμάτων και ο οποίος μπορεί να ενισχύεται με τη χρήση μηχανικών μέσων όπως οι ανεμιστήρες οροφής (υβριδικά συστήματα) και να επιφέρει το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα με πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας. Η ελεύθερη ψύξη (free cooling) ή αλλιώς ο νυκτερινός δροσισμός, συνίσταται στην ανανέωση του αέρα με φυσικό ή τεχνητό τρόπο τις νυχτερινές ή πρωινές ώρες, κατά τις οποίες η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου, είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενη τεχνική εξοικονόμησης.

Οι σχεδιαστικοί χειρισμοί, τόσο σε επίπεδο αστικού και κτιριακού σχεδιασμού όσο και σε επίπεδο επιλογής συστημάτων ελέγχου της υπερθέρμανσης του κτιρίου αφορούν σε:

- Κατάλληλη διαμόρφωση του άμεσου περιβάλλοντα χώρου, με στόχο τη βελτίωση του μικροκλίματος, την προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία και τη χειραγώγηση του ανέμου.
- Μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη θερινή περίοδο με τη πρόβλεψη της κατάλληλης ηλιοπροστασίας για την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών από την ηλιακή ακτινοβολία.
- Κατάλληλα ανοιγόμενα τμήματα με στόχο την αύξηση του φυσικού αερισμού-δροσισμού, με την σωστή τοποθέτηση και διαμόρφωση των ανοιγμάτων.
- Πρόβλεψη ειδικών διατάξεων για την απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας του κτιρίου με φυσικό τρόπο σε περιβαλλοντικούς απαγωγείς θερμότητας

3. Συστήματα φυσικού φωτισμού

Η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί επιπλέον με μελέτη του φωτισμού του καθώς η «ηλιακή ακτινοβολία» μπορεί να εξυπηρετήσει με φυσικό τρόπο τις ανάγκες για φωτισμό. Η επάρκεια του φυσικού φωτισμού και η κατανομή του εξαρτώνται από τη γεωμετρία των ανοιγμάτων και του φωτιζόμενου χώρου, αλλά και από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών, όπως το χρώμα τους και των υαλοπινάκων (ανακλαστικότητα, φωτεινή διαπερατότητα). Ο προσανατολισμός και το σχήμα του κτιρίου, η οργάνωση των χώρων, η γεωμετρία των εξωτερικών εμποδίων και οι ιδιότητες των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών, σε σχέση με την ανακλαστικότητά τους, αποτελούν απαραίτητα στοιχεία για ικανοποιητικό φυσικό φωτισμό του κτιρίου, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται στο αρχικό στάδιο του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Συνεπώς, η αξιοποίηση του διαθέσιμου φυσικού φωτός επηρεάζει την κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου άμεσα και έμμεσα, άμεσα, όταν το φυσικό φως αντικαθιστά τον τεχνητό φωτισμό, μειώνοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και έμμεσα, όταν με την αύξηση του μεγέθους των ανοιγμάτων αυξάνεται και η θερμική ροή από και προς το κτίριο

(μεγαλύτερες θερμικές απώλειες το χειμώνα και περισσότερα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι). Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός καθορίζει την ποσότητα του φυσικού φωτός που εισέρχεται στο κτίριο και την κατανομή του. Στα μονώροφα κτίρια, τα πεζοδρόμια, οι δρόμοι, οι πλακόστρωτες αυλές, ακτινοβολούν σημαντική ποσότητα φωτός προς το κτίριο. Με τη μείωση της ανακλαστικότητας του περιβάλλοντα χώρου, ελαττώνεται σημαντικά και η ποσότητα του φυσικού φωτός που εισέρχεται στο χώρο. Αντιθέτως, η παρουσία βλάστησης μπορεί να έχει επιπτώσεις την εισερχόμενη ποσότητα φυσικού φωτός. Αντίθετα μια πέργκολα, με αναρριχώμενα φυτά έξω από ένα άνοιγμα, συμπεριφέρεται καλύτερα, γιατί αποκόπτει μόνον την άμεση ακτινοβολία χωρίς να επηρεάζει την ανακλώμενη, και συνεπώς ρυθμίζει θετικά την ποσότητα και την ποιότητα του φυσικού φωτισμού που δέχεται ο εσωτερικός χώρος. Πέραν της απαιτούμενης ποσότητας, πρέπει να εξασφαλίζεται επίσης κατάλληλη κατανομή του φωτισμού στο χώρο, ούτως ώστε να αποφεύγεται η θάμβωση και η υπερθέρμανση του και να διασφαλίζεται η οπτική άνεση.

Κατ' επέκταση η επιλογή παραμέτρων φυσικού περιβάλλοντος όπως βλάστηση για τον ανάλογα με την εποχή ηλιασμό ή ηλιοπορασασία και έκθεση στο άνεμο ή ανεμοπροστασία του πολεοδομικού συνόλου ή παρουσία νερού αλλά και τα υλικά κατασκευής του κτιρίου (συμπεριλαμβανομένου της υφής και του χρωματισμού) μπορούν να συμβάλλουν με καθοριστικό τρόπο στις παραπάνω βιοκλιματικές αρχές λειτουργίας του σχεδιασμού για τη διαμόρφωση του μικροκλίματος. Στην παρακάτω ενότητα συγκεντρώνονται οι τεχνικές που μπορούν χρησιμοποιηθούν κατά τον πολεοδομικό σχεδιασμό υπαίθριων χώρων για την βελτίωση του αστικού μικροκλίματος

2.2. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στοχεύοντας στη βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στο περιβάλλοντα χώρο αξιοποιείται ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός μέσω βελτιωτικών τεχνικών είτε στο κτίριο είτε στο χώρο. Η χρησιμοποίηση των κατάλληλων βελτιωτικών τεχνικών όπως κατάλληλα υλικά κάθετων και οριζόντιων επιφανειών (ψυχρών υλικών, υδατοδιαπερατών υλικών, με θερμομόνωση κλπ), ή υδάτινων επιφανειών ή και βλάστηση -δέντρων, θάμνων, φυτών- στη διαμόρφωση των υπαίθριων χώρων καθώς και στις επιφάνειες των κτιρίων (δώματα και εξωτερικές τοιχοποιίες) συμβάλλει αφενός στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης του άμεσου περιβάλλοντος και αφετέρου στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος, που συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων και στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων. Οι βελτιωτικές τεχνικές που διαμορφώνουν το μικροκλίμα της περιοχής σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της αστικής μορφολογίας αλλά και ορθή οργάνωση του χώρου με βάση το τοπικό κλίμα, στοχεύουν:

- Στην προστασία των κτιρίων από τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα και κατά συνέπεια στον περιορισμό των απωλειών θερμότητας.

- Στη προστασία από ακουστικές οχλήσεις
- Στην προστασία από τον απρόσκοπτο ηλιασμό του υπαίθριου χώρου και των κτιρίων το χειμώνα για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση.
- Στη μείωση της θερμοκρασίας του υπαίθριου χώρου το καλοκαίρι, και κατ' επέκταση στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για το δροσισμό των κτιρίων.
- Στο σκiasμό, την ηλιοπροστασία ή ηλιασμό των κτιρίων το καλοκαίρι.

Σε μελέτη που έγινε από Tsoka S. et al, 2018 στόχο είχε να αναλύσει μεταξύ ενός πλήθους μελετών που έχουν εφαρμοστεί στο μικροκλιματικό μοντέλο Envi-met τις διάφορες τεχνικές σχεδιασμού για τη βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στο περιβάλλοντα χώρο. Τα συμπεράσματα που αντλούνται αφορούν τόσο την θερμοκρασία του αέρα όσο και την θερμοκρασία του εδάφους και μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας σε σχέση με τις τεχνικές βελτίωσης που περιλαμβάνουν προσθήκη βλάστησης (στο δρόμο, κήπους, στέγες), χρήση ψυχρών υλικών εδαφοκάλυψης μεγάλης ανακλαστικότητας και συνδυασμό των δύο παραπάνω τεχνικών σχεδιασμού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η προσθήκη βλάστησης αποτελεί το διαδεδομένο τρόπο μετριασμού της υπερθέρμανσης σε αστικό περιβάλλον. Σε 19 μελέτες φαίνεται ότι η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται στο ύψος κίνησης των ανθρώπων κατά -1°C όταν προστίθενται δένδρα και φράκτες πρασίνου στους δρόμους, ενώ σε 16 μελέτες η θερμοκρασιακή βελτίωση από την εφαρμογή πράσινης στέγης είναι $-0,3^{\circ}\text{C}$ και η επίδραση αυτή γίνεται σχεδόν αμελητέα όταν εφαρμόζεται σε υψηλά κτήρια. Ο συνδυασμός παρόδιας βλάστησης και πράσινων σκεπών πρέπει να εφαρμόζεται μαζί ως τεχνική μετριασμού των ακραίων θερμοκρασιών. Ωστόσο ο ρόλος στην εφαρμογή πράσινων στεγών είναι διφορούμενος λόγω του ότι οι εφαρμογές που μελετήθηκαν έγιναν σε επίπεδο γειτονιάς και όχι πόλης, με αποτέλεσμα την ασάφεια προσδιορισμού της θερμικής βελτίωσης σε μικρής κλίμακας περιοχές. Επιπλέον, η πυκνότητας από το φύλλωμα της βλάστησης προσδίδει μεγαλύτερη σκίαση και έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας και οδηγεί στη μέγιστη μείωση κατά -19°C της θερμοκρασίας εδάφους και -37°C της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας.

Όσον αφορά τα ψυχρά υλικά εφαρμογής στη μελέτη των Tsoka S. et al, 2018, αποδεικνύεται ότι η εφαρμογή ψυχρών υλικών στις σκεπές μόνο δεν επιφέρει θερμοκρασιακή μείωση στο περιβάλλοντα χώρο. Ωστόσο η εφαρμογή ψυχρών υλικών εδαφοκάλυψης σε 36 μελέτες υποδεικνύει ότι μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία κατά $-0,5^{\circ}\text{C}$, ενώ ο συνδυασμός ψυχρών υλικών σε σκεπές και έδαφος κατά $-1,45^{\circ}\text{C}$. Η μέγιστη μείωση προκύπτει με το συνδυασμό ψυχρών υλικών τόσο στις οριζόντιες (σκεπές και έδαφος) όσο και στις κάθετες επιφάνειες των κτιρίων, όπου μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία κατά $-1,25^{\circ}\text{C}$.

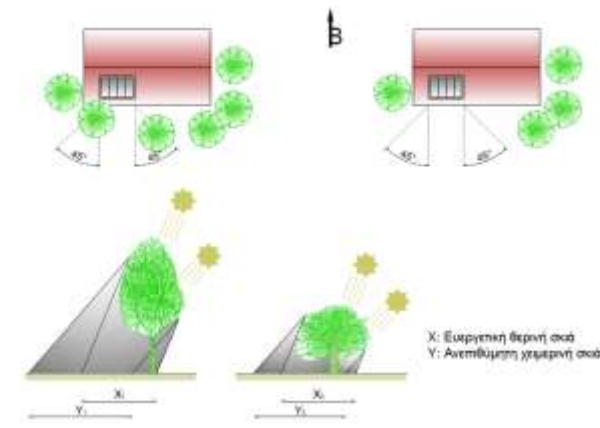
Ωστόσο, στην περίπτωση δροσερών οδοστρωμάτων και δροσερών κατακόρυφων επιφανειών κτηρίου υλοποιείται μείωση της θερμοκρασίας του αέρα λόγω της χαμηλότερης επανεκπομπής της θερμότητας στον αέρα, ενώ παράλληλα αντισταθμίζεται η υψηλή ανακλώμενη ακτινοβολία από τις επιφάνειες, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και συνεπώς συνθήκες ακτινοβολίας που δέχεται ο άνθρωπος από το περιβάλλοντα χώρο. Ο συνδυασμός δέντρων δρόμου με πεζοδρόμια υψηλής ανακλαστικότητας έχει προταθεί ως η πιο αποτελεσματική μέθοδος, ώστε να υλοποιηθεί η βελτίωση της θερμικής άνεσης των πεζών. Σύμφωνα με τα αναφερόμενα αποτελέσματα 9 αντίστοιχων μελετών, ο μέσος όρος της μέγιστης μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα λόγω εφαρμογής βλάστησης στους δρόμους και ψυχρών επιφανειών είναι κοντά στους 2°C ενώ οι μέγιστες μειώσεις της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας λόγω του ελέγχου της ακτινοβολίας από τα φυλλώματα των δέντρων μπορούν ακόμη και να ξεπεράσουν τους 15°C.

Οι τεχνικές και σχεδιαστικές ρυθμίσεις είτε στο κέλυφος του κτιρίου είτε στο περιβάλλοντα χώρο, οι οποίες συμβάλλουν στη διαμόρφωση ευνοϊκών συνθηκών άνεσης, είναι οι ακόλουθες:

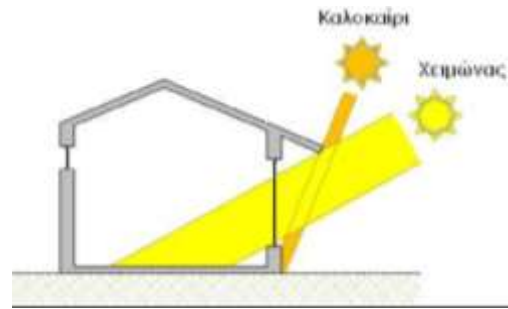
2.2.1. Ηλιοπροστασία - Σκίαση ανοιγμάτων

Το καλοκαίρι οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλές και η ηλιακή ακτινοβολία έντονη, με αποτέλεσμα το κτίριο να απορροφά θερμότητα, όντας εκτεθειμένο στον ήλιο, με κίνδυνο υπερθέρμανσης αυτού και έπειτα του περιβάλλοντα χώρου. Η σκίαση του κτιρίου αποτελεί βελτιωτικό εργαλείο των συνθηκών διαβίωσης, καθώς παρεμποδίζει το άμεσο ηλιακό φως να προσπίπτει σε μια επιφάνεια. Τα συστήματα σκίασης πρέπει να παρέχουν αποτελεσματική προστασία από τον ήλιο το καλοκαίρι, χωρίς όμως να παρεμποδίζουν τον ηλιασμό του κτιρίου το χειμώνα ή να περιορίζουν τον φυσικό του φωτισμό. Η σκίαση επιτυγχάνεται με τη γεωμετρία των φυσικών και τεχνητών στοιχείων του χώρου, δηλαδή με:

- Χρήση δέντρων με τη τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων και βλάστησης σε κατάλληλες θέσεις, διακόπτοντας έτσι τον ηλιασμό το καλοκαίρι και συμβάλλοντας στη μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας (**Σχήμα 2.2-1**) (βλ. **Ενότητα 2.2.4**)
- Χρήση συστημάτων φύτευσης πάνω από το έδαφος (π.χ. πέργκολες)
- Γεωμετρία των γειτονικών στοιχείων του αστικού ιστού (γύρω κτίρια κλπ)-αστική μορφολογία
- Αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις όπως στοές, στέγαστρα, τοιχία κλπ
- Ειδικά συστήματα σκίασης συμπαγή ή περσιδωτά ή διάτρητα, σταθερά ή κινητά, τα οποία μπορεί να έχουν και άλλες χρήσεις (π.χ. φωτοβολταϊκά στέγαστρα ή στοιχεία αστικού εξοπλισμού, όπως στάσεις λεωφορείων, στεγασμένες θέσεις στάθμευσης).



Σχήμα 2.2-1: Σκίαση με δέντρα. Το ύψος του δέντρου και η ερριμένη σκιά του



Σχήμα 2.2-2: Σκιάστρα κεκλιμένα, διακοπτόμενα σε νότια όψη

2.2.2. Επάρκεια θερμικής μάζας - Θερμομόνωση κελύφους

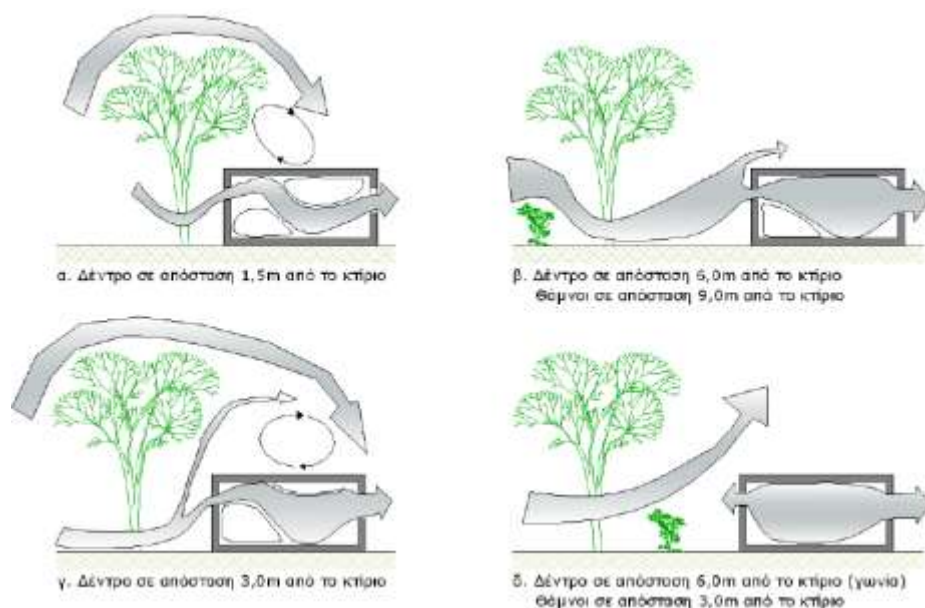
Μια σημαντική παράμετρος για τη βιοκλιματική λειτουργία του κτιρίου το καλοκαίρι, είναι η διασφάλιση επαρκούς θερμικής μάζας στα δομικά του στοιχεία -τοιχοι, δάπεδα, οροφές, στα οποία αποθηκεύεται η περίσσεια θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αποτέλεσμα να διατηρείται η θερμοκρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο σε ανεκτά επίπεδα (άνεσης). Τη νύχτα η αποθηκευμένη θερμότητα διοχετεύεται προς το εξωτερικό περιβάλλον μέσω αερισμού ή/και εκπομπής θερμότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί η κτιριακή μάζα λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας, ενώ οι κτιριακοί όγκοι εμποδίζουν την κίνηση του ανέμου, μειώνοντας την έντασή του. Έτσι, τα κτίρια κατά τη διάρκεια της ημέρας αποθηκεύουν θερμότητα –κυρίως στις εξωτερικές τους επιφάνειες– με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τους. Στη συνέχεια, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες των κτιρίων αποκτά τη θερμοκρασία τους, μεταφέροντας κατόπιν αυτή τη θερμότητα στις γειτονικές μάζες του. Έτσι, κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων εκπέμπουν τη θερμότητά τους με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, εμποδίζοντας τον αέρα να ψυχθεί ικανοποιητικά.

Το καλοκαίρι, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλότερες από τις εσωτερικές, δημιουργείται ροή θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον στον εσωτερικό χώρο. Ενώ όλες οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων ακτινοβολούν θερμότητα προς τον ουρανό, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας το καλοκαίρι. Τα δώματα των κτιρίων είναι οι επιφάνειες των κτιρίων που ακτινοβολούν το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας. Η εφαρμογή θερμομόνωσης στο κέλυφος περιορίζει τη διείσδυση θερμότητας και αποτρέπει, ως ένα βαθμό, την υπερθέρμανση του εσωτερικού χώρου. Επιπλέον, η χρήση εξωτερικής θερμομόνωσης επιβραδύνει κατά πολύ την εκτόνωση της θερμότητας από τα δώματα των κτιρίων και είναι απαραίτητη για την προστασία τους από τις θερμικές απώλειες τον χειμώνα. Για τους λόγους αυτούς σκόπιμο είναι να εφαρμόζονται ειδικά συστήματα - κατασκευές επάνω στα δώματα των κτιρίων, όπως το σύστημα μεταλλικού ακτινοβολητή.. Για εύκρατες ζώνες, όπου ανήκει και ο

Ελλαδικός χώρος, η θερμομόνωση και η **θερμική μάζα** αποτελούν περίπου ισοδύναμους παράγοντες της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Ειδικότερα, η θερμική προστασία είναι απολύτως αναγκαία για τη βόρεινή πλευρά, ενώ η απαίτηση για μεγάλη θερμική μάζα εντοπίζεται στη δυτική πλευρά και τα δώματα, γιατί επιβαρύνονται με μεγάλη ποσότητα θερμότητας το καλοκαίρι και λόγω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

2.2.3. Φυσικός αερισμός εσωτερικού χώρου

Ο φυσικός αερισμός των εσωτερικών χώρων είτε με φυσικό, είτε με εξαναγκασμένο-μηχανικό τρόπο στοχεύει στη απομάκρυνση της συσσωρευμένης θερμότητας στα δομικά του στοιχεία, ενώ έχει άμεση επίδραση στην υγεία των ενοίκων, στη θερμική άνεση και στην αίσθηση ευεξίας. Διευκολύνει την ανταλλαγή θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον και παράλληλα συμβάλλει στη φυσική ψύξη των δομικών στοιχείων της κατασκευής. Για τη διείσδυση των δροσερών ανέμων μέσα στο κτίριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εφόσον είναι εφικτό, κατάλληλη διάταξη βλάστησης στον εξωτερικό χώρο. Παράλληλα, η τοποθέτηση δέντρων ή θάμνων σε κατάλληλη απόσταση από το κτίριο διευκολύνει ή μη τη διέλευση του δροσερού ανέμου μέσα στο κτίριο (**Σχήμα 2.2-3**).



Σχήμα 2.2-3: Η θέση των δέντρων ή/και θάμνων καθορίζει την κατεύθυνση του δροσερού ανέμου

2.2.4. Συμβολή του Πρασίνου

Ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι δύο σημαντικότεροι φυσικοί παράγοντες που επηρεάζονται με τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου, των φυτών και του δομημένου περιβάλλοντος. Η κατάλληλη επιλογή ειδών βλάστησης στο χώρο μπορεί να αξιοποιηθεί για εκμετάλλευση των φυσικών αυτών παραμέτρων με στόχο την

διαμόρφωσή συνθηκών άνεσης στο περιβάλλοντα χώρο. Συνεπώς, η χρήση της βλάστησης στον εξωτερικό χώρο ρυθμίζει το μικροκλίμα του άμεσου περιβάλλοντος, μειώνοντας σημαντικά τις υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες (El-Bardisy, Fahmy, & El-Gohary, 2016; Lee et al., 2016). Η σύγχρονη αρχιτεκτονική, ανταποκρινόμενη στις ανάγκες των ανθρώπων, επιχειρεί να εισαγάγει την φύση και μέσα στα κτίρια

Συγκεκριμένα, η κατάλληλη γεωμετρική τοποθέτηση της βλάστησης σε σχέση με τα δομικά στοιχεία στους ανοιχτούς χώρους δημιουργεί τόσο συνθήκες σκίασης τη θερινή περίοδο όσο και ηλιασμού τη χειμερινή περίοδο, με παράλληλη διοχέτευση ή χειραγώγηση των ανέμων. Η βλάστηση -δέντρα, θάμνοι, ακόμη και καλλωπιστικά φυτά- συμβάλλει επίσης στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής μειώνει την θερμοκρασία του αέρα το καλοκαίρι. Τα δένδρα, μέσω του μηχανισμού της εξατμισοδιαπνοής, αποβάλλουν από τα φύλλα νερό στο περιβάλλον, με τη μορφή υδρατμών, αυξάνοντας έτσι τη σχετική υγρασία κάτω από το φύλλωμά τους. Η σχετική υγρασία του αέρα κάτω από το φύλλωμα των δέντρων ή σε επαφή με αυτά αυξάνεται λόγω της εξατμισοδιαπνοής, προκαλώντας μείωση της θερμοκρασίας του αέρα. Παράλληλα, η λανθάνουσα θερμότητα της εξατμισοδιαπνοής είναι πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα η θερμότητα αυτή να αντλείται από τον αέρα του περιβάλλοντος, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη θερμοκρασία του. Σε ζεστά και ξηρά κλίματα η αύξηση της υγρασίας βελτιώνει την αίσθηση της θερμικής άνεσης το καλοκαίρι. Τις θερμές καλοκαιρινές ημέρες, ένα δέντρο μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικό air condition, μειώνοντας έτσι την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Συνολικά, το ποσοστό για την ορατή και την υπέρυθη ακτινοβολία που απορροφάται από τα φύλλα των δέντρων είναι περίπου 50%, με το ποσοστό που αντανάκλαται να είναι 30% και μόνο το 20% να εκπέμπεται (Lee, Mayer, & Schindler, 2014; Lee, Holst, & Mayer, 2013, 2020). Συνεπώς όλα τα δέντρα μπορούν να φιλτράρουν περίπου το 80-90% της ακτινοβολίας, ανάλογα με το είδος και την πυκνότητα των φύλλων.

Μερικοί από τους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε σχέση με τον κύριο σκοπό της φύτευσης, για την επιλογή των πλέον κατάλληλων φυτικών ειδών είναι το είδος του φυτού (θάμνοι, δένδρα, αναρριχόμενα, κλπ), το μέγεθος και το σχήμα του φυτού, όταν αυτό είναι πλήρως αναπτυγμένο, την αναλογία μεταξύ κορμού και κόμης, τη πυκνότητα του φυλλώματος (Perini, Chokhachian, & Auer, 2018), τη ταχύτητα της ανάπτυξης, τη δυνατότητα διατήρησης ή όχι του φυλλώματος όλες τις εποχές (αιθαλή, φυλλοβόλα) και το χρόνο έναρξης ανάπτυξης του φυλλώματος. Σύμφωνα με τους El-Bardisy et al. (2016), την άνοιξη, τα κωνοφόρα δέντρα είναι πιο αποτελεσματικό στη μείωση του δείκτη θερμικής άνεσης (PMV) κατά 0,5 σε σχέση με τα φυλλοβόλα δέντρα. Επιπλέον, θα πρέπει να αξιολογείται ανάλογα και η ποιότητα του εδάφους και οι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την ανάπτυξη και διατήρηση της φύτευσης (ανάγκες σε νερό, ευκολία συντήρησης κοκ). Τέλος, τα τοπικά φυτικά είδη που ευδοκούν στην περιοχή θα πρέπει να είναι η βάση για την οποιαδήποτε επιλογή κατά τον σχεδιασμό.

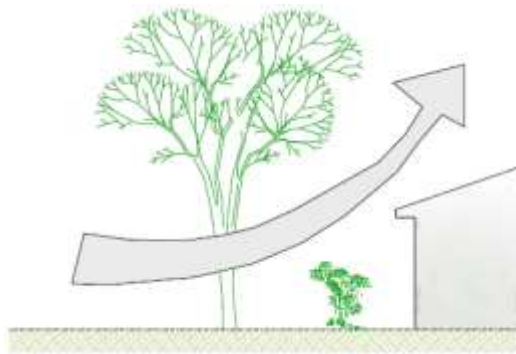
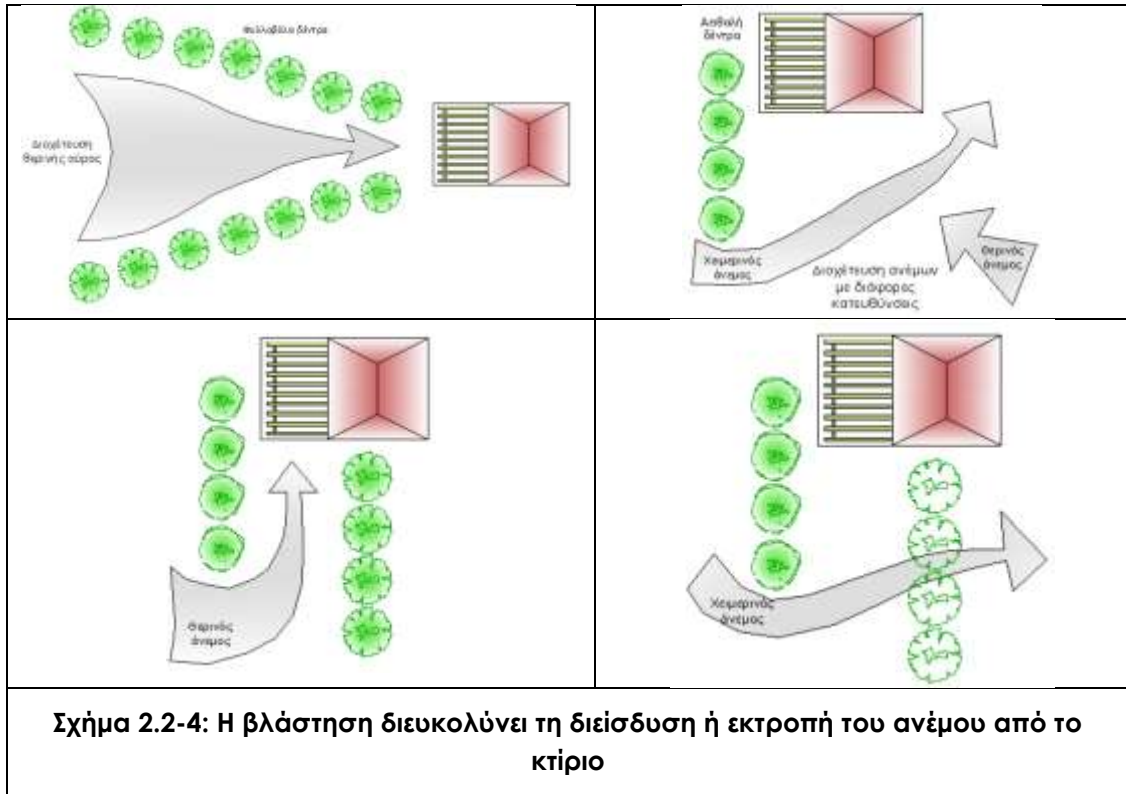
Ειδικότερα, ο σχεδιασμός της φύτευσης με δέντρα ή θάμνους ή χαμηλή βλάστηση στους υπαίθριους χώρους λειτουργεί αποτελεσματικά σε σχέση με τα κτίρια. Παρακάτω αναγράφονται συνοπτικά οι τρόποι συμβολής της βλάστησης στο δομημένο περιβάλλον:

- Στοιχείο ελέγχου της ανεμορροής, κατευθύνοντας το δροσερό άνεμο το καλοκαίρι, αλλά και προστατεύοντας τα κτίρια το χειμώνα ως ανεμοφράκτης,
- Στοιχείο σκιασμού από την ηλιακή ακτινοβολία των ανοικτών χώρων και των κτιρίων,
- Πηγή δροσισμού το καλοκαίρι, παρέχοντας δροσιά μέσω της εξατμισοδιαπνοής,
- Καθορισμός της θερμικής άνεσης, με τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας,
- Φίλτρο φυσικού φωτός όλο το χρόνο,
- Φίλτρο της σκόνης και των μικροσωματιδίων.
- Προστασία από τη διάβρωση εδαφών,
- Μείωση του θόρυβου από τον περιβάλλοντα χώρο,
- Βελτίωση της ποιότητας του αέρα και μείωση της μόλυνσης της ατμόσφαιρας,
- Μείωση της οπτικής όχλησης και δημιουργία αισθήματος ιδιωτικότητας.

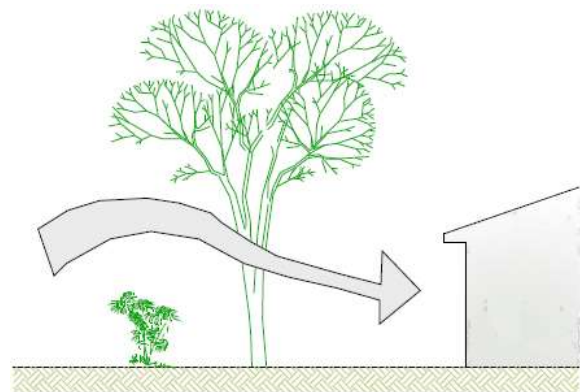
1. Έλεγχος της ανεμορροής

Ο σχεδιασμός για τον έλεγχο του ανέμου σε όλη τη διάρκεια του έτους απαιτεί εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών με στόχο είτε τη χειραγώγηση των ψυχρών ανέμων ή τη διευκόλυνση της θερινής αύρας. Ο ρόλος των φυτών στη μείωση της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι είναι σημαντικός. Η κατάλληλη διάταξη της βλάστησης τροποποιεί την πορεία του ανέμου, αλλάζει τη ροή του ανέμου, ενώ ρυθμίζει την ταχύτητα και την ένταση του ανέμου. Συγκεκριμένα, τα φυτά βοηθούν στην αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου και πολλές φορές στην αύξηση της ταχύτητάς του, συμβάλλοντας στο φυσικό δροσισμό και στη θερμική άνεση του εσωτερικού χώρου. Ενώ μπορούν παράλληλα να συνεισφέρουν στη μείωση των θερμικών απωλειών των κτιρίων, γιατί μπορούν να εκτρέψουν τον ψυχρό άνεμο ή να μειώσουν την ταχύτητά του. Σε ημέρες με έντονο άνεμο οι απώλειες αερισμού από τη διαφυγή από τους αρμούς μπορεί να φτάσουν και το 50% των συνολικών θερμικών απωλειών (Lechner, 1991).

Η γνώση της κατεύθυνσης και της έντασης των τοπικών ανέμων στη διάρκεια του έτους είναι σημαντικές κατά τον σχεδιασμό. Οι συστάδες δέντρων που δημιουργούν ένα χωνί, κατευθύνουν τον άνεμο στο κτίριο, ενώ εάν τοποθετηθούν κάθετα στην όψη αποτρέπουν τον διασκορπισμό του αέρα και τον βοηθούν να φτάσει ως το κτίριο. (**Σχήματα 2.2-4, 5, 6**). Οι λύσεις αυτές δεν επηρεάζουν τον ηλιασμό της νότιας όψης το χειμώνα. Επιπλέον, δέντρα με υψηλό κορμό και κόμη προτείνονται για το σκιασμό της νότιας όψης καθώς δεν αποτελούν εμπόδιο στο καλοκαιρινό αερισμό.

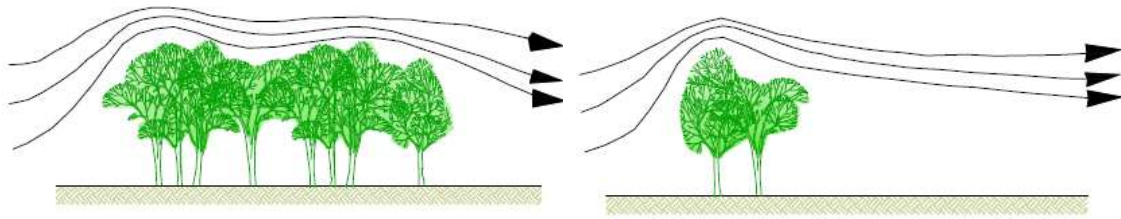


Σχήμα 2.2-5: Ελαχιστοποίηση της επίδρασης του χειμερινού ανέμου



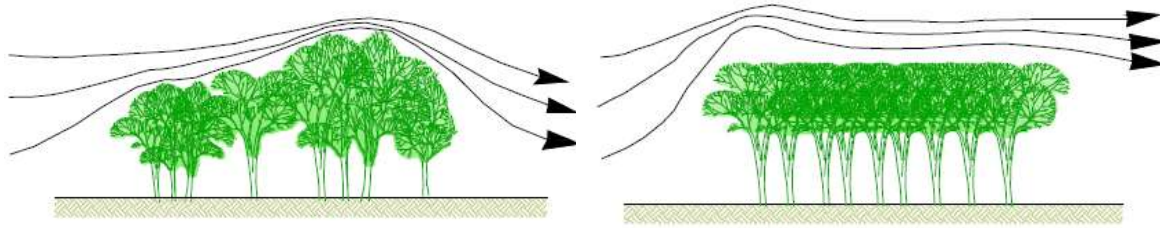
Σχήμα 2.2-6: Βελτιστοποίηση της επιρροής του καλοκαιρινού αερισμού-δροσισμού

Η αποτελεσματικότητα της φύτευσης εξαρτάται κυρίως από το σχήμα, την πυκνότητα, τη δομή, το ύψος και από την απόσταση της φύτευσης από το κτίριο ή από τον προς χρήση υπαίθριο χώρο (**Σχήμα 2.5-4,5,6**). Ως “βέλτιστη πυκνότητα”, θεωρείται η αναλογία των φύλλων - κλαδιών - κορμού να είναι 50-60% στο σύνολο της συστάδας των φυτών, ενώ τα φυτά με παχύ φύλλωμα απορροφούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας και ο αέρας γίνεται πιο δροσερός. Επίσης ο συνδυασμός φυτών και σταθερών στοιχείων διαμόρφωσης των υπαίθριων χώρων επηρεάζει τη μορφή της ανεμορροής. Ένας εμπειρικός κανόνας αναφέρει ότι «τα δέντρα πρέπει να φυτεύονται σε απόσταση από τα κτίρια ίση με το ύψος τους» (Brown et al, 1995).



Σχήμα 2.2-7: επιμήκης δασική συστάδα δένδρων δημιουργεί μικρή προστατευόμενη περιοχή

Σχήμα 2.2-8: μια μικρή συστάδα δένδρων προστατεύει μια μεγαλύτερη περιοχή



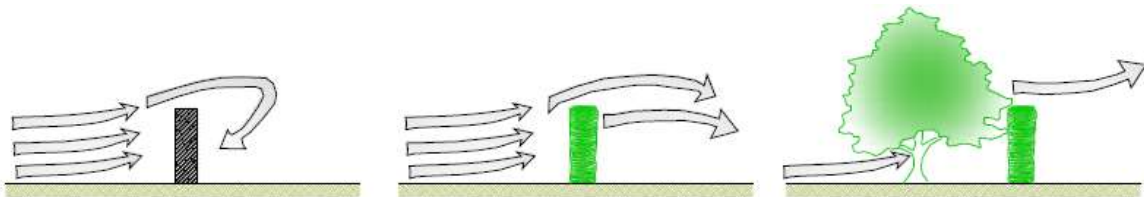
Σχήμα 2.2-9: μια συστάδα με κεκλιμένη κόμη είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη συστάδα δένδρων με επίπεδη κόμη

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ερευνών (Brown et al, 1995, Lechner, 1991, Boutet, 1987, Givoni, 1994):

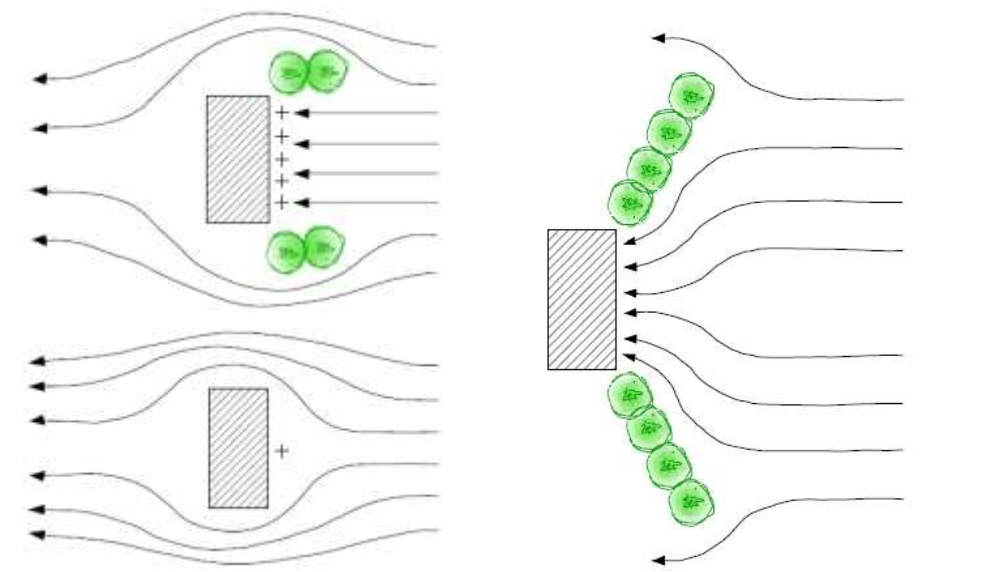
- ✓ Η πυκνή βλάστηση, όταν βρίσκεται κοντά στο κτίριο, είναι αποτελεσματική για τη δημιουργία ανεμοφράκτη σε μικρά οικόπεδα, ενώ η ενδιάμεσης πυκνότητας φύτευση ενδείκνυται για μεγαλύτερες αποστάσεις από το κτίριο, όσο 4 φορές το ύψος της φύτευσης, ή και μεγαλύτερη.
- ✓ Οι θάμνοι εμποδίζουν τον αέρα κοντά στο έδαφος, ενώ μεμονωμένα δέντρα με ψηλή κόμη βελτιώνουν τον αερισμό κοντά στο έδαφος, κάτω από το φύλλωμα.
- ✓ Η χρήση αειθαλή φυτών ή δένδρων ενδείκνυται για την προστασία των υπαίθριων χώρων και των κτιρίων από τους ψυχρούς ανέμους, το χειμώνα
- ✓ Τα αειθαλή δέντρα ρυθμίζουν το κλίμα μειώνοντας τη ταχύτητα του ανέμου στο περιβάλλον και αποτρέποντας τις επιπτώσεις από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στις επιφάνειες (Zhang, Zhan, & Lan, 2018).
- ✓ Οι φράκτες από πυκνά δέντρα ανακόπτουν τον άνεμο και μειώνουν την ταχύτητα.
- ✓ Όσο υψηλότερη είναι η συστάδα της βλάστησης, τόσο μεγαλύτερη υπήνεμη περιοχή δημιουργείται. Επίσης μια συστάδα δένδρων με κεκλιμένη κόμη είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη συστάδα δένδρων με επίπεδη κόμη (**Σχήμα 2.2-9**).
- ✓ Μια επιμήκης δασική συστάδα δένδρων δημιουργεί μικρή προστατευόμενη περιοχή, ενώ μια μικρή συστάδα δένδρων προστατεύει μια μεγαλύτερη περιοχή (**Σχήμα 2.2-7, 2.2-8**).
- ✓ Για τη βέλτιστη δημιουργία υπήνεμης περιοχής θα πρέπει το μήκος του ανεμοφράκτη να είναι τουλάχιστον 10 φορές το ύψος του. Ενώ η πυκνότητα

της φύτευσης προσδιορίζει το μέγεθος της υπήνεμης περιοχής και τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου.

- ✓ Μια ανομοιογενής συστάδα δέντρων (αποτελούμενη από διάφορα είδη) είναι πλέον αποτελεσματική για τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου, από μια ομοιόμορφη συστάδα δέντρων.
- ✓ Οι συμπαγείς φράκτες προκαλούν στροβιλισμούς, ενώ οι διάτρητοι αυξάνουν τη ζώνη ηρεμίας. Οι πορώδεις φράκτες (δέντρα και θάμνοι) δημιουργούν μια ευρύτερη ζώνη ηρεμίας και περιορίζουν τους στροβιλισμούς στο ελάχιστο, επειδή επιτρέπουν τη διέλευση ενός μέρους του αέρα (**Σχήμα 2.2-10**).
- ✓ Οι φράκτες με ξυλώδεις θάμνους λειτουργούν με διπλό τρόπο. Ο αέρας που περνά πάνω από το φύλλωμα επιταχύνεται, ενώ η ποσότητα του αέρα που περνά μέσα από το φύλλωμα, φιλτράρεται και επιβραδύνεται. Στο επίπεδο του κορμού, ο αέρας απλώς διαπερνά το φράκτη της φύτευσης. Την ίδια συμπεριφορά με τους ξυλώδεις θάμνους εμφανίζουν και τα δέντρα, μόνον που το ύψος τους διαφέρει. Η χαμηλή φύτευση εμφανίζει τη μικρότερη αντίσταση στον άνεμο.
- ✓ Οι καλύτεροι ανεμοφράκτες από την άποψη του περιορισμού της ταχύτητας του ανέμου είναι στοιχεία των οποίων το πορώδες τμήμα κυμαίνεται από 25-60%.



Σχήμα 2.2-10: Οι συμπαγείς φράκτες δημιουργούν στροβιλισμούς, ενώ συνδυασμός δέντρων και θάμνων αυξάνει την ηρεμία



Σχήμα 2.2-11: Τα δέντρα εκτρέπουν τον αέρα

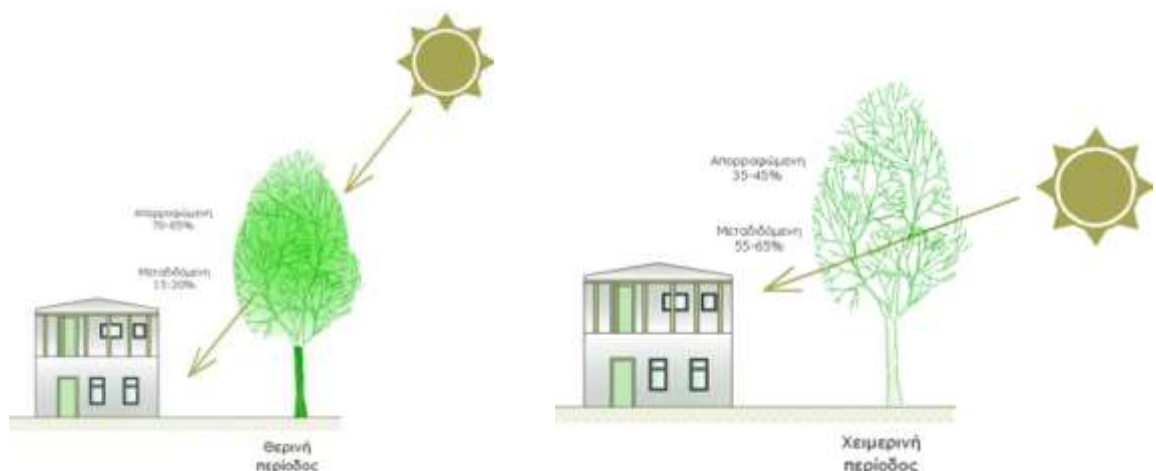
Σχήμα 2.2-12: Τα δέντρα τον διευθύνουν προς το κτίριο

2. Σκιασμός και προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία

Ο σκιασμός τόσο του υπαίθριου χώρου όσο και των κτιρίων με τη φύτευση είναι πολύ αποτελεσματικός, καθώς ακόμη και δέντρα χωρίς φύλλωμα, εμποδίζουν κατά 40-80% τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιλογή της φύτευσης, με υψηλό ή χαμηλό πράσινο, καθορίζεται από την επιθυμητή ηλιοπροστασία των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων.

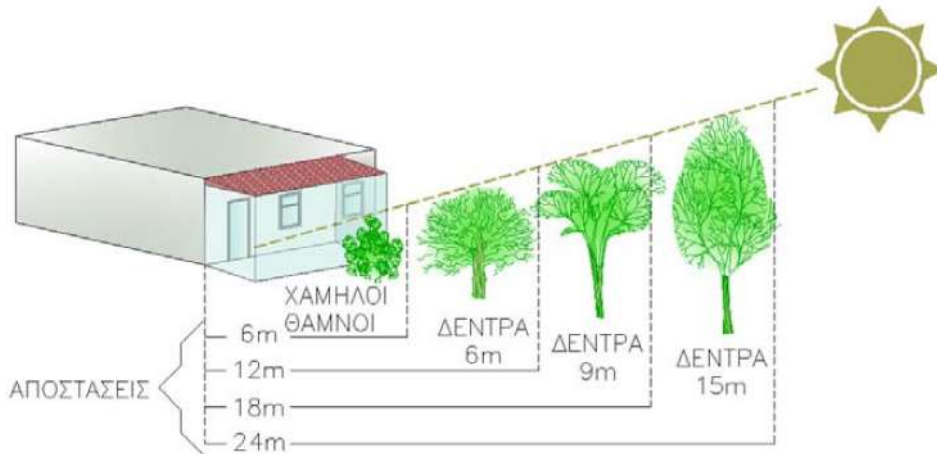
Το είδος του φυτού, και ιδιαίτερα το σχήμα της κόμης (π.χ. στρογγυλό, πυραμιδοειδές κοκ) ρυθμίζουν το ποσοστό του σκιασμού. Τα φυλλοβόλα φυτά είναι τα πλέον κατάλληλα όταν επιζητείται ηλιασμός το χειμώνα και σκιασμός το καλοκαίρι (Perini et al., 2018). Για παράδειγμα, ένα μεγάλο φυλλοβόλο δέντρο που σκιάζει το νότιο τοίχο τη θερινή περίοδο συνεισφέρει στο δροσισμό του κτιρίου το καλοκαίρι, χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τον ηλιασμό του το χειμώνα (**Σχήμα 2.2-13**). Επίσης τα ψηλά δέντρα με ψηλή πυκνή κόμη (αιθαλή ή φυλλοβόλα), φυτεμένα κοντά στη νότια όψη προστατεύουν το κτίριο από το θερινό ήλιο, ενώ δεν εμποδίζουν τον ήλιο το χειμώνα και συγχρόνως τον αερισμό το καλοκαίρι. Αν τα δέντρα είναι χαμηλά (με κόμη στο ύψος των νότιων ανοιγμάτων) θα πρέπει να είναι φυλλοβόλα.

Στην ανατολική και δυτική όψη προτείνονται φυλλοβόλα ή αιθαλή δέντρα μικρού ύψους και μικρής πυκνότητας, φυτεμένα κοντά στο κτίριο, καθώς φιλτράρουν τον ήλιο το χειμώνα και συγχρόνως προσφέρουν ολοκληρωμένη ηλιοπροστασία το καλοκαίρι.



Σχήμα 2.2-13: Σκίαση νότιας όψης κτιρίου από φυλλοβόλο δέντρο τη θερινή περίοδο, χωρίς να παρεμποδίζεται σημαντικά ο ηλιασμός του τη χειμερινή περίοδο

Η απόσταση της φύτευσης από το κτίριο είναι καθοριστικής σημασίας (**Σχήμα 2.2-14**), ενώ για τη βέλτιστη τοποθέτηση των δέντρων πρέπει να προηγείται μελέτη ηλιασμού-σκιασμού.



Σχήμα 2.2-14: Προτεινόμενα ύψη φύτευσης, αναλόγως με την απόσταση, για νότιο προσανατολισμό

Στον **Πίνακα 2.2-1** δίνονται στοιχεία που αφορούν στο σκιασμό που παρέχουν ορισμένα δέντρα του ελληνικού χώρου. Ο σκιασμός των συμπαγών τμημάτων του κελύφους των κτιρίων επιτυγχάνεται επίσης με την εφαρμογή φυτεμένων δωμαίων και τη χρησιμοποίηση αναρριχώμενων φυτών ή με υδροπονικούς φυτεμένους τοίχους (κατακόρυφοι κήποι). Επιπλέον, οριζόντιες προεξοχές για τη σκίαση νοτίων ανοιγμάτων μπορεί να καλυφθούν με φυτά, αποτρέποντας έτσι την αποθήκευση θερμότητας στα δομικά υλικά της προεξοχής.

Πίνακας 2.2-1: Ποσοστό σκιασμού φυλλοβόλων δέντρων του ελληνικών χώρου ανάλογα με το σχήμα, και τα χαρακτηριστικά της κόμης

Λατινική ονομασία	Σχήμα	Ύψος	Διάμετρος Κόμης	Ανάπτυξη	Χειμερινός Σκιασμός	Θερινός Σκιασμός
Acer Platanoides	Στρογγυλό	15m	12m	Μέτρια	37%	69%
Quercus Palustris	Πυραμιδοειδές	23m	12m	Μέτρια	53%	55%
Robinia pseudoacacia	Επίμηκες	21m	9m	Μέτρια/ γρήγορη	60%	62%
Tilia cordata	Στρογγυλεμένη πυραμίδα	21m	12m	Μέτρια/ αργή	43%	83%

3. Οπτική άνεση

Η συμβολή της φύτευσης στον έλεγχο της αντανάκλασης της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος καθώς και σε κατακόρυφες επιφάνειες είναι εξίσου σημαντικός. Με τη χρήση δέντρων η ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται και μειώνεται σε ένταση, ενώ η θάμβωση από την οπτική επαφή με τον έντονα φωτεινό ουράνιο θόλο ελαττώνεται. Ο έλεγχος της φωτεινής ακτινοβολίας από τα φυτά που βρίσκονται

κοντά στα κτίρια ή στον περιβάλλοντα χώρο ή διαμορφώνουν ηλιοπροστατευτικές διατάξεις, επιτρέποντας στο μελετητή να αυξήσει το μέγεθος των ανοιγμάτων των κτιρίων, χωρίς να προκαλούνται προβλήματα στην οπτική άνεση.

4. Ηχοπροστασία

Η ικανότητα των φυτών να ρυθμίζουν τον ήχο (με απορρόφηση, ανάκλαση και διάχυση) καθορίζεται από την ένταση, τη συχνότητα και την κατεύθυνση του ήχου, όπως επίσης κι από τη θέση, το ύψος, το πλάτος και την πυκνότητα των φυτών. Η βλάστηση αποκόπτει ευκολότερα ήχους υψηλής συχνότητας. Φυτικές μάζες με ποικιλία φυτικών ειδών είναι αποτελεσματικότερες ως στοιχεία ηχοπροστασίας, λόγω της διαφορετικής ικανότητας των διαφόρων ειδών στη μείωση χαμηλών, μέσων και υψηλών συχνοτήτων. Γενικά ενδείκνυνται δέντρα που το φύλλωμά τους αρχίζει χαμηλά από τη βάση του κορμού και είναι σχετικά πυκνό.

Οι φράκτες πρέπει να έχουν πλάτος τουλάχιστον 7 μέτρα και αρκετό ύψος ώστε να περιορίζεται η διάδοση του ήχου πάνω από τις κορυφές τους. Πολλές φορές φυτικοί φράκτες, οι οποίοι δεν επιτρέπουν οπτική επαφή με την πηγή του θορύβου, ελαττώνουν ψυχολογικά τις επιπτώσεις του θορύβου, παρόλο που δε μειώνουν ουσιαστικά την ένταση του ήχου.

5. Ποιότητα αέρα περιβάλλοντος

Σημαντική είναι η συμβολή των φυτών στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την υδατική οικονομία. Η βλάστηση καθαρίζει τον αέρα είτε με μηχανικό τρόπο, καθώς συγκρατεί τη σκόνη από το φύλλωμα δέντρων/ θάμνων ή/και από τη χλόη, έως 85% για φυτά με πλήρες φύλλωμα. Είτε με βακτηριακό τρόπο και την έκλυση βακτηριοκτόνων ουσιών από ορισμένα είδη φυτών (κυρίως κωνοφόρων) και τέλος με χημικό τρόπο καθώς συνδέεται ιδιαίτερα με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών, παράγοντας οξυγόνο που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Υπολογίζεται ότι ένα δώμα 200μ² περίπου, φυτεμένο με γρασίδι, μπορεί να καλύψει τις ετήσιες ανάγκες οξυγόνου για 100 περίπου ανθρώπους.

Είδη ανθεκτικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η ακακία και η Ακακία Κωνσταντινουπόλεως, ο Ελαίαγνος, η Ελιά, η Ιπποκαστανιά, η Κατάληψη, ο Κράταιγος, το Κυπαρίσσι, η Λεύκη, η Μέλια, η Σοφόρα, το Σφενδάμι, η Φλαμουριά, η Φτελιά, η Βερβερίδα, το Βιβούρνο, το Ευώνυμο, ο Συρισκός Ιβίσκος, η Αγγελική, ο Πυράκανθος, ο Ράμνος.

2.2.5. Φυτεμένα δώματα

Η περισσότερο επιβαρυσμένη περιοχή του κτιρίου είναι η επικάλυψή του (δώμα), γιατί σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, πέραν των υψηλών θερμοκρασιών, δέχεται έντονη ακτινοβολία ήλιου. Τα φυτεμένα δώματα συμβάλλουν αποτελεσματικά στη βελτίωση του μικροκλίματος, γιατί απορροφούν μεγάλη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας,

επομένως μειώνουν τη θερμοκρασία του αέρα στο άμεσο περιβάλλον, παράγουν οξυγόνο και φιλτράρουν τη σκόνη. Η εφαρμογή τους σε κλίμακα γειτονιάς έχει πολλαπλά οφέλη, όπως περιορισμό του Φαινομένου της Θερμικής Νησίδας στο κέντρο της πόλης (μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών και της θερμοκρασίας αέρα) και σημαντική μείωση της παραγόμενης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα το οποίο και απορροφούν. Για το ελλαδικό κλίμα, η θερμοκρασία του αέρα πάνω από ένα φυτεμένο δώμα μπορεί να είναι κατά μέσο όρο 17°C χαμηλότερη τον Ιούλιο, σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα πάνω από ένα συμβατικό δώμα από τσιμεντένιες πλάκες.

Η φύτευση των δωματίων αποτελεί στρατηγικής σημασίας συμβολή για τον περιορισμό των αερίων ρύπων και μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρα, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως από κλιματισμό και τη ανάκτηση ενός υγιούς και αισθητικά ευχάριστου περιβάλλοντος για τους κατοίκους των πόλεων. Επίσης, οι φυτεμένες επιφάνειες συμβάλλουν στη συγκράτηση, εξυγίανση και πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών, καθώς και στη ρύθμιση της ροής των ομβρίων, με αποτέλεσμα μια σειρά πλεονεκτημάτων, όπως τη συγκέντρωση και χρήση των ομβρίων, και κατά συνέπεια τη βελτίωση του μικροκλίματος λόγω βραδείας εξάτμισης του νερού. Παράλληλα συμβάλλει στον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και στην αποφόρτιση του δικτύου ομβρίων τη μείωση διοχέτευσης νερού στα δίκτυα αποχέτευσης έως και 50%, την αποφυγή πλημμυρών. Για αποφυγή αλόγιστων ποσοτήτων νερού για άρδευση είναι χρήσιμο να γίνεται επιλογή τοπικών φυτών, προσαρμοσμένων στο μικροκλίμα της περιοχής. Εκτός από τα δέντρα και τους θάμνους, η παρουσία χλοοτάπητα μειώνει επίσης το θόρυβο, σε σύγκριση με τις επιστρωμένες με σκληρά οικοδομικά υλικά επιφάνειες.

Ως προς την ενεργειακή επίδραση των φυτεμένων-πράσινων στεγών στο ίδιο το κτίριο παρατηρούνται τα εξής:

- Η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου με φυτεμένη στέγη μπορεί το καλοκαίρι να είναι από 3 έως και 10°C χαμηλότερη. Η μείωση της θερμοκρασίας παρατηρείται στους τελευταίους ορόφους, κάτω από το δώμα, όταν πρόκειται για πολυώροφα κτίρια.
- Το χειμώνα μεταφέρεται λιγότερη θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο προς τα έξω.
- Το δώμα που βρίσκεται κάτω από την «πράσινη» επιφάνεια προστατεύεται καλύτερα από τις καιρικές συνθήκες και τη διακύμανση των θερμοκρασιών χειμώνα και καλοκαίρι, γεγονός που συντείνει στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του.
- Επιπρόσθετα, τα φυτεμένα δώματα προσφέρουν σημαντική προστασία από θορύβους και συμβάλλουν στην ορθολογική διαχείριση του βρόχινου νερού.

2.2.6. Υλικά Επίστρωσης Χώρων

Οι συνθήκες ακτινοβολίας ενός χώρου επηρεάζονται ιδιαίτερα από τις ιδιότητες των υλικών που αφορούν στην ακτινοβολία (ανακλαστικότητα, απορροφητικότητα, διαπερατότητα, συντελεστής εκπομπής). Αυτό αφορά και τα οπτικά και θερμικά χαρακτηριστικά του υφιστάμενου αστικού περιβάλλοντος στην περιοχή και περιμετρικά της περιοχής μελέτης (χρωματισμοί, ανακλαστικότητα και ιδιότητες υλικών περιβαλλόντων τοίχων και άλλων στοιχείων κλπ).

Το είδος των υλικών επίστρωσης των επιφανειών του υπαίθριου χώρου επηρεάζει καθοριστικά τόσο το θερμικό όσο και το οπτικό περιβάλλον, ενώ το χρώμα και η υφή των εξωτερικών επιφανειών του κελύφους του κτιρίου καθορίζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται, καθώς και την ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται το βράδυ προς την ατμόσφαιρα, ρυθμίζοντας έτσι τη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου και κατ' επέκταση τη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Υλικά με ανοιχτά χρώματα ή/και ανακλαστικές επιφάνειες αποτρέπουν την υπερθέρμανση τη θερινή περίοδο, αλλά παράλληλα μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση και ανάκλαση της θερμότητας προς τους χρήστες του χώρου και τις επιφάνειες των γύρω κτιρίων. Αντιθέτως, υλικά με σκουρόχρωμες επιφάνειες υπερθερμαίνονται, όταν εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία. Για παράδειγμα, ένα δώμα βαμμένο με σκούρο χρώμα μπορεί να παρουσιάζει επιφανειακή θερμοκρασία αυξημένη κατά 32°C, σε σχέση με τη μέγιστη θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα. Αντίθετα, η επιφανειακή θερμοκρασία ενός δώματος βαμμένου με ασβέστη, μόλις ξεπερνά τον 1°C σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Επισημαίνεται ότι οι επιφάνειες του κελύφους, οι προσανατολισμένες προς την δύση, καθώς και οι οριζόντιες -τα δώματα- είναι εκτεθειμένα στην έντονη ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι. Συνεπώς συνιστάται η βαφή τους με ανοιχτά χρώματα. Ειδικά για τα δώματα αποτελεσματική είναι η επικάλυψή τους με ανακλαστική επιφάνεια, όπως για παράδειγμα η επίστρωση με φύλλο αλουμινίου, ψυχρά χρώματα ή γενικότερα με ψυχρά υλικά, καθώς και με φυτά ή φυτεμένα δώματα, (βλ. **Ενότητα 2.2.4**). Επίσης, η υφή των εξωτερικών επιφανειών - αδρή ή λεία- επηρεάζει την ανακλαστική τους ικανότητα και κατά συνέπεια την απορρόφηση ή μη της θερμότητας.

Η επικάλυψη των επιφανειών του υπαίθριου χώρου με βλάστηση παρεμποδίζει τις ανακλάσεις, ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής του φυλλώματος όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Έρευνες σχετικά με την αναπτυσσόμενη επιφανειακή θερμοκρασία υπαίθριων χώρων σε αστικές περιοχές στην Αθήνα τη θερινή περίοδο αναφέρουν διαφορά στην επιφανειακή θερμοκρασία των επικαλύψεων με γρασίδι και άσφαλτο έως και 35,7°C ενώ για γρασίδι και πλάκες πεζοδρομίου έως και 27,6°C (Alexandri, 2001 και Χατζηδημητρίου et al, 2008) (**Σχήμα 2.2-15**). Όταν η επιφάνεια που καλύπτεται με πράσινο είναι σημαντικού μεγέθους, τότε παρατηρούνται διαφορές της

Θερμοκρασίας του αέρα, έως και 8°C ανάμεσα σε φυτεμένες περιοχές και περιοχές με συμπαγή δομικά υλικά (Givoni, 1994). Σε μελέτη των Kyriakodis, G-E., Santamouris M., 2017 όπου εφάρμοσαν δροσερό σκυρόδεμα και ασφαλτο σε περιοχή 37000m² στην δυτική Αττική, περιγράφεται ότι η χρήση δροσερής μη-ηλικιωμένης ασφάλτου μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του αέρα στο περιβάλλον έως και -1,5°C, ενώ την θερμοκρασία του εδάφους κατά -11,5°C, με παράλληλη βελτίωση των θερμικών συνθηκών. Επιπλέον, η παρουσία γήρανσης στα υλικά κατασκευής μπορεί να μειώσουν σημαντικά και έως και το 50% τις δυνατότητες μετριασμού της υπερθέρμανσης από την χρήση ψυχρών ασφαλτικών υλικών.



Σχήμα 2.2-15: Μετρήσεις επιφανειακών θερμοκρασιών σε φυτεμένη επιφάνεια με γρασίδι και σε ασφαλτο κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι, στο κέντρο της Αθήνας

Η χρήση ψυχρών υλικών στον περιβάλλοντα χώρο και στις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων είναι επίσης πολύ σημαντική για τη μείωση των αυξημένων θερμοκρασιών που παρατηρούνται στο δομημένο περιβάλλον. Με τον όρο «ψυχρά υλικά» νοούνται υλικά που δεν απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και δεν αποθηκεύουν στη μάζα τους μεγάλα ποσά θερμότητας. Τα ψυχρά υλικά χαρακτηρίζονται από **υψηλή ανακλαστικότητα** στην ηλιακή ακτινοβολία (στο φάσμα 300-2500nm) (total solar reflectance) και από **υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας** (infrared emittance). Η ανακλαστικότητα είναι η ικανότητα μιας επιφάνειας να εκτρέπει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η οποία περιλαμβάνει τόσο την ακτινοβολία στο ορατό φάσμα, όσο και την υπέρυθρη και την υπεριώδη ακτινοβολία. Ο συντελεστής εκπομπής είναι μια παράμετρος, που προσδιορίζει την ικανότητα ενός υλικού να αποβάλλει ποσά θερμότητας, υπό μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, εκπέμποντας με ταχύ ρυθμό τα ποσά της θερμότητας που έχουν απορροφήσει. Στα ψυχρά υλικά, η υψηλή **ανακλαστικότητα** και ο **υψηλός συντελεστής εκπομπής** συμβάλει τόσο στη μικρότερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας όσο και στην ευκολότερη απομάκρυνση της θερμότητας κατά αντιστοιχία και συνεπώς στη δημιουργία μικρότερων επιφανειακών θερμοκρασιών. Η κτιριακή μάζα λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας, ενώ οι κτιριακοί όγκοι εμποδίζουν την κίνηση του ανέμου, μειώνοντας την έντασή του. Έτσι, τα κτίρια κατά τη διάρκεια της ημέρας αποθηκεύουν θερμότητα –κυρίως στις εξωτερικές τους επιφάνειες– με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τους. Στη συνέχεια, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες των κτιρίων αποκτά τη θερμοκρασία τους, μεταφέροντας κατόπιν αυτή τη θερμότητα στις γειτονικές μάζες του. Έτσι, κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων εκπέμπουν τη θερμότητά

τους με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, εμποδίζοντας τον αέρα να ψυχθεί ικανοποιητικά. (Κολοκότσα Δ. κα, 2011)

Αναλυτικότερα, όταν σε μια επιφάνεια προσπίπτει ακτινοβολία, ένα μέρος της απορροφάται και το υπόλοιπο, αν υπάρχει, ανακλάται και στην περίπτωση διαφανών ή ημιδιαφανών επιφανειών μεταδίδεται. Το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια ονομάζεται **απορροφητικότητα** α_{ab} της επιφάνειας, το ποσοστό που ανακλάται ονομάζεται **ανακλαστικότητα** ρ_r και το ποσοστό που μεταδίδεται ονομάζεται **περατότητα ή ικανότητα μετάδοσης** τ . Στη διεθνή βιβλιογραφία που αφορά στην αστική κλιματολογία, για την περιγραφή της ανακλαστικότητας της συνολικής «επιφάνειας» αστικών περιοχών ή των επί μέρους επιφανειών κτιρίων και δαπέδων χρησιμοποιείται ο όρος **albedo** που αναφέρεται αποκλειστικά στην **ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας** και μπορεί να οριστεί ως ηλιακή ανακλαστικότητα. Η **εκπεμπικότητα** (emissivity) ή ικανότητα εκπομπής ϵ μιας επιφάνειας ορίζεται ως ο λόγος της ακτινοβολίας που εκπέμπει αυτή η επιφάνεια προς την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εκφράζονται σε τιμές, οι οποίες κυμαίνονται από 0 έως 1 (ή 0%-100%) και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή τους, τόσο πιο ‘ψυχρή’ είναι μια επιφάνεια και τόσο μικρότερη η επιφανειακή θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτήν. Στον **Πίνακα 2.2-2** καταγράφονται η ανακλαστικότητα και η εκπεμπικότητα των πιο συνήθων οικοδομικών υλικών που χρησιμοποιούνται ως επιστρώσεις υπαίθριων χώρων.

Πίνακας 2.2-2: Ιδιότητες υλικών που χρησιμοποιούνται σε δαπεδοστρώσεις. Οι τιμές με (*) προέρχονται από επιτόπιες μετρήσεις σε υπαίθριους χώρους στη Θεσσαλονίκη (Χατζηδημητρίου et al, 2008).

Υλικό δαπέδου	Ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (Reflectance)	Συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (Emissivity)
Άσφαλτος	0,05-0,26 (*)	0,95
Σχιστόπλακες	0,08-0,10	0,90
Κυβόλιθοι γρανίτη γκρι	0,27 (*)	
Μάρμαρο λευκό	0,53 (*)	
Πλάκες τσιμέντου γκρι	0,34 (*)	
Γαρμπιλομωσαϊκό γκρι	0,38 (*)	
Γαρμπιλομωσαϊκό (βοτσαλωτό) -με τεχνολογία ψυχρών υλικών	0,87-0,90	0,82-0,84
Προϊόντα τσιμέντου (κυβόλιθοι)- με τεχνολογία ψυχρών υλικών	0,10-0,35	0,90
Προϊόντα ξύλου-σανίδες	0,30-0,40	0,95
Κεραμικά πλακίδια, κόκκινα	0,21 (*)	
Γρασίδι και βλάστηση	0,15-0,30	0,67-0,69
Χώμα -άμμος (στεγνό)	0,25-0,30	0,90

Υλικό δαπέδου	Ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (Reflectance)	Συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (Emissivity)
Νερό	0,10-0,47	0,96

Τα ψυχρά υλικά εφαρμόζονται είτε σε επιφάνειες κτιρίων (επικαλύψεις, επιχρίσματα) είτε στις υπόλοιπες επιφάνειες του δομημένου περιβάλλοντος (πεζοδρόμια, δρόμοι, πλατείες, χώροι στάθμευσης κοκ). Λόγω του γεγονότος ότι αποθηκεύουν μικρά ποσά θερμότητας, με την εφαρμογή τους εξασφαλίζονται χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες στο δομημένο χώρο, σε σχέση με άλλα υλικά επίστρωσης. Οι επιφανειακές θερμοκρασίες των ψυχρών υλικών συνήθως δεν ξεπερνούν τους 50°C, ενώ για συνήθη δομικά υλικά οι επιφανειακές θερμοκρασίες τη θερινή περίοδο μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. επίστρωση δωματίων με μαύρου χρώματος στεγανοποιητικά φύλλα) να φτάσουν και τους 90°C.

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα ψυχρά επιφανειακά υλικά είναι το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου μειώνεται η ανακλαστικότητά τους (γήρανση του υλικού, επικάλυψη σκόνης κοκ). Σε κάθε περίπτωση εφαρμογής ψυχρών υλικών τόσο σε κατακόρυφες όσο και σε οριζόντιες επιφάνειες πρέπει να δίνεται προσοχή στην οπτική και θερμική όχληση που μπορεί να προκαλέσουν στα γύρω κτίρια και τον περιβάλλοντα χώρο τους. Συνδυασμός ψυχρών υλικών με κατάλληλους όγκους φύτευσης για σκίαση και εξατμισοδιαπνοή λειτουργούν πολύ θετικά στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος τη θερινή περίοδο.

Επίσης, αντί για επίστρωση με ενιαίες επιφάνειες, προτιμότερο είναι να χρησιμοποιούνται πλάκες που επιτρέπουν τη διείσδυση του νερού και την ανάπτυξη βλάστησης στους αρμούς ή τουλάχιστον να χρησιμοποιείται υδατοπερατή στρώση αδρανών (Βλαστός & Μπιρμπίλη, 2001). Αυτό είναι πολύ θετικό, τόσο από θερμικής πλευράς, όσο κι από πλευράς εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και παράλληλης αποφόρτισης του δικτύου ομβρίων.

Η χρήση συμπυκνωμένου χώματος, είτε στη φυσική του κατάσταση, είτε με σταθεροποιητές αδρανών, εκτός από αυξημένη ανακλαστικότητα σε σχέση με τις ασφαλικές επικαλύψεις έχουν επίσης και αυξημένη υδατοπερατότητα, μειώνοντας την αστική θερμοκρασία όπου εφαρμόζονται (πεζοδρόμοι, ποδηλατόδρομοι, αθλητικές εγκαταστάσεις, κηπευτικές επιφάνειες κοκ).

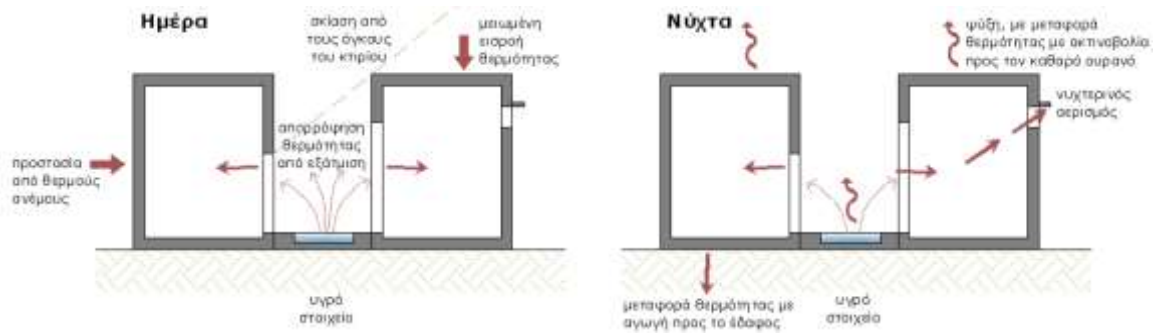
Στη μελέτη των Alcharar N.L et al, 2016 έγινε ταξινόμηση των υλικών κατασκευής των κτιρίων που μπορούν να συμβάλλουν στο περιορισμό του φαινομένου της ΑΘΝ. Συγκεκριμένα, προσομοιώθηκαν 18 σενάρια μέσω του λογισμικού ENVI-met, ενώ τα αποτελέσματα αναλύουν ότι για κάθε 10% αύξηση του albedo σε οριζόντιες επιφάνειες η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα μειώνεται κατά 0,75°C. Για σενάρια με έντονη αστική μορφολογία (η σχέση ύψους κτιρίου/ πλάτους δρόμου είναι 1.5), κάθε 10% αύξηση του συντελεστή albedo για τις κάθετες επιφάνειες επιφέρει αύξηση

της θερμοκρασία του αέρα κατά $0,5^{\circ}\text{C}$, ενώ για μη πυκνοδομημένες περιοχές δεν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφοροποίηση. Επίσης, στη μελέτη αναλύεται ο συντελεστής ανακλαστικότητας σε σχέση με την αστική μορφολογία και για πιο ύψος ο υψηλός συντελεστής albedo μπορεί να λειτουργήσει αρνητικά στη μείωση της θερμοκρασίας. Για κτίρια ύψους άνω των 12 μέτρων, ο συντελεστής albedo των προσόψεων πρέπει να είναι μικρότερος από 0,50, ώστε να μειωθούν οι εξωτερικές θερμοκρασίες. Συνεπώς, η χρήση υλικών με μεγάλη ανακλαστικότητα θα πρέπει να αξιολογείται σε σχέση με τον αστικό θόλο, καθώς οι μεγάλες ποσότητες ανακλώμενης ακτινοβολίας μπορούν να απορροφηθούν από τις γύρω επιφάνειες και στη συνέχεια να αυξήσουν τη θερμοκρασία στο περιβάλλοντα χώρο. Ο Qin (2015) συνιστά ότι τα ανακλαστικά πεζοδρόμια μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο εάν ένα αστικό φαράγγι έχει αναλογία διαστάσεων όχι μεγαλύτερη από 1,0. Σε όλα τα σενάρια, η αύξηση του συντελεστή albedo των κτιρίων αυξάνει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας. Αυτό είναι πολύ σαφές σε σενάρια υψηλής πυκνότητας όπου η υπερθέρμανση προκαλείται λόγω παγιδευμένης ακτινοβολίας στο αστικό φαράγγι. Ωστόσο, μια αποτελεσματική στρατηγική για τη μείωση της μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας αέρα χωρίς σημαντική μεταβολή του μέσου όρου της θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι η αύξηση του συντελεστή albedo των οριζόντιων επιφανειών αλλά με παράλληλη διατήρηση υψηλού ποσοστού σε βλάστηση στο χώρο.

Επομένως, η αύξηση τόσο της βλάστησης όσο και του albedo ($\hat{\alpha}$), των αστικών επιφανειών είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση της θερμοκρασίας των αστικών περιοχών και κατά συνέπεια τη βελτίωση της βιωσιμότητας των υπαίθριων χώρων (Bretz & Akbari, 1997; Doulos, Santamouris, & Livada, 2004; Synnefa, Santamouris, & Livada, 2005; Zinzi & Agnoli, 2012). Ωστόσο, η εφαρμογή αυτών των στρατηγικών μπορεί να επιδεινώσει τα φαινόμενα που επιδιώκει να μετριάσει εάν δεν λάβει υπόψη τους περιφερειακούς πόρους και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της πόλης.

2.2.7. Υδάτινες επιφάνειες

Σε περιοχές με κλίμα ζεστό και ξηρό, όπου η σχετική υγρασία είναι χαμηλή, η εξάτμιση του νερού προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας του αέρα και αύξηση της σχετικής υγρασίας. Στα παραδοσιακά κτίρια ο τρόπος φυσικού δροσισμού συνδύαζε την ροή του ζεστού αέρα επάνω από νησίδες νερού, πριν την είσοδό του στο κτίριο (**Σχήμα 2.2-16**). Σήμερα στην αρχιτεκτονική η χρήση μικρών δεξαμενών νερού σε κατάλληλες θέσεις χρησιμοποιείται έτσι ώστε ο ζεστός εξωτερικός αέρας που διέρχεται επάνω από το νερό να προκαλεί εξάτμιση, λόγω της απορροφούμενης θερμότητας από την επιφάνεια του νερού και, συνεπώς, να εισέρχεται πιο δροσερός μέσα στο κτίριο, δημιουργώντας συνθήκες δροσιάς.



Σχήμα 2.2-16: Φυσική ψύξη κτιρίου μέσω εξάτμισης νερού την ημέρα και ακτινοβολία θερμότητας τη νύχτα

Επιπλέον, επιφάνειες νερού, όπως λεπτά στρώματα τρεχούμενου νερού, καταρράκτες, λίμνες ή σιντριβάνια, συνεισφέρουν επίσης μέσω της εξάτμισης νερού στην μείωση της θερμοκρασίας του αέρα και κατά συνέπεια στο δροσισμό του χώρου.

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται ανάλυση το πώς οι παράμετροι που περιγράφηκαν στα Κεφάλαια 1 και 2 αξιοποιούνται αποτελεσματικά για την προσομοίωση του μικροκλίματος μέσω του προγνωστικό, τριών διαστάσεων και υψηλής ανάλυσης μικροκλιματικού μοντέλου του λογισμικού Envi-met. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι δυνατότητες και οι περιορισμοί που δίνονται από την χρήση του λογισμικού για την εφαρμογή του μικροκλιματικού μοντέλου γειτονίας που εφαρμόζεται και περιγράφεται στα Κεφάλαια 4 και 5.

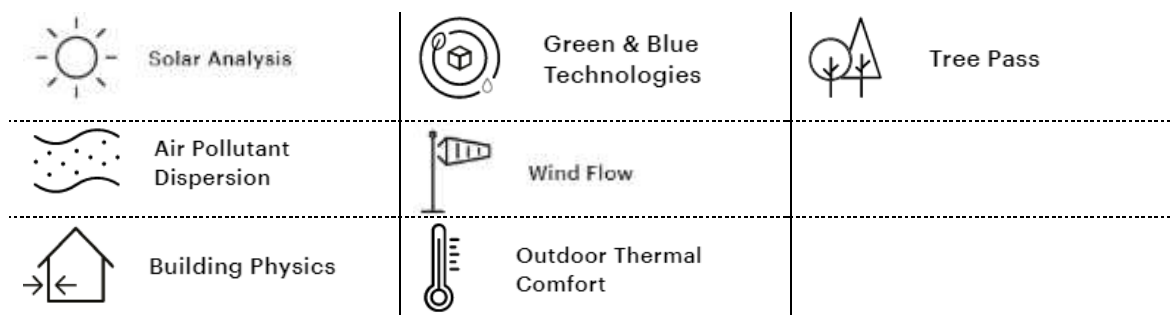
3.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ENVI-MET

Τα εργαλεία προσομοίωσης ενέργειας και μικροκλιματικής προσομοίωσης γίνονται όλο και πιο δημοφιλή, λόγω της αλλαγής στο μεσο- και τοπικό κλίμα. Το ENVI-met είναι ένα προγνωστικό, τριών διαστάσεων και υψηλής ανάλυσης μικροκλιματικό μοντέλο. Το μοντέλο 3D μικροκλίματος ENVI-met είναι ένα μοντέλο μικροκλίμακας που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ατμόσφαιρας και αστικών επιφανειών. Δεν εστιάζει μόνο σε μια συγκεκριμένη παράμετρο, για παράδειγμα τη ταχύτητα ανέμου ή τη ροή ακτινοβολίας, αλλά εξετάζει τις πολυάριθμες αλληλεπιδράσεις και μη γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων πτυχών του μικροκλίματος με μια ολιστική προσέγγιση. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για ανάλυση μικρής κλίμακας αλληλεπιδράσεων μεταξύ στοιχείων του αστικού σχεδιασμού (κτίρια, δρόμοι, κ.α.) και του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, κ.α.), με την βοήθεια ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Στον υπολογισμό αυτής της αλληλεπίδρασης λαμβάνονται υπόψη τα διαφορετικά στοιχεία του χώρου, τα όρια κτιρίων, το υλικό κατασκευής και οι ιδιότητες κάθε στοιχείου στην επιφάνεια. Βασίζεται στους θεμελιώδεις νόμους της μηχανικής των ρευστών (Computational Fluid Dynamics – C.F.D.), της θερμοδυναμικής και σε νόμους της ατμόσφαιρας. Στην προσομοίωση λαμβάνονται υπόψη και οι τρεις διαστάσεις στον χώρο, υπολογίζοντας έτσι τον άνεμο, τις διαταραχές, την θερμοκρασία του ανέμου, την υγρασία, την ροή ακτινοβολίας και την διασπορά των ρύπων. (Bruse, 1999). Βασικό χαρακτηριστικό του προγράμματος αποτελεί επίσης η δυνατότητα, μέσω της 3D επεξεργασίας, λεπτομερής μοντελοποίησης της βλάστησης. Έτσι, γίνεται δυνατή η μοντελοποίηση του ποσοστού φωτοσύνθεσης, λαμβάνοντας υπόψη την τοπική ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα CO₂ και πολλούς άλλους παραμέτρους (Bruse, 2004b). Το ENVI-met είναι ένα λογισμικό που έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην έρευνα που διεξάγεται από αρχιτέκτονες και πολεοδόμους, καθώς μπορεί να εκτιμήσει, με υψηλή ακρίβεια, παραμέτρους όπως

Θερμοκρασίες επιφανείας, άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, μέση-ακτινοβολία-θερμοκρασία, που είναι όλα τα σχετικά κλειδιά παράμετροι για βιώσιμο σχεδιασμό πόλεων (Torralar et al, 2017). Το λογισμικό ENVI-met βρίσκεται υπό συνεχή ανάπτυξη, με την βασική έκδοση του να παρέχεται ελεύθερα στους χρήστες, ενώ έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε αρκετά άρθρα και δημοσιεύσεις, για προσεγγίσεις αστικού μικροκλίματος.

Χρήση των διαθέσιμων εργαλείων του λογισμικού ENVI-met, το λογισμικό δίνει δυνατότητες δημιουργίας βιώσιμων συνθηκών διαβίωσης σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Τα εργαλεία που αναλύονται περιγραμματικά παρακάτω παρουσιάζουν τις διαφορετικές δυνατότητες ανάλυσης του μικροκλίματος του μοντέλου προσομοίωσης. Οι υπολογισμοί στο μοντέλο εμπεριέχουν:

- Μικρού και μεγάλου μήκους ροή ακτινοβολίας σε σχέση με την σκίαση, την αντανάκλαση και την εκ νέου ακτινοβολία από το δομημένο περιβάλλον και τη βλάστηση
- Διαπνοή, εξάτμιση και ροή θερμότητας από τη βλάστηση στον αέρα, με την πλήρη προσομοίωση όλων των φυσικών παραμέτρων των φυτών (π.χ. ρυθμός φωτοσύνθεσης)
- Διαδικασίες ανταλλαγής ενέργειας σε επίπεδο κτιρίου (Building Physics). Θερμοκρασία επιφανειών και τοιχωμάτων, των προσόψεων και στις στέγες.
- Ανταλλαγή θερμότητας και νερού μέσα στο σύστημα του εδάφους
- 3D αναπαράσταση της βλάστησης, με την δυναμική μοντελοποίηση του υδάτινου ισοζυγίου για μεμονωμένα είδη.
- Διασπορά των αέριων μαζών και σωματιδίων. Το μοντέλο υποστηρίζει σωματίδια, αδρανή αέρια και αέρια του κύκλου αντίδρασης του όζοντος NO-NO2.
- Πράσινες και μπλε τεχνολογίες
- Υπολογισμός βιομετεωρολογικών δεικτών, όπως οι δείκτες Predicted Mean Vote (PMV/PPD), Physiological Equivalent Temperature (PET), Universal Thermal Climate Index (UTCI)
- Πράσινες και μπλε τεχνολογίες
- Ανάλυση συνθηκών καλλιέργειας των φυτών (Tree Pass)



Σχήμα 3.1-1:Εργαλεία ανάλυσης μικροκλιματικών συνθηκών στο λογισμικό ENVI-met (Πηγή: <https://www.ENVI-met.com/features/>)

Το ENVI-met (Bruse et al,1998) είναι ένα λογισμικό πακέτο δημιουργίας ενός υπολογιστικού μοντέλο ρευστοδυναμικής CFD για τη προσομοίωση του μικροκλίματος, υπολογίζοντας τη επίδραση διαφόρων παραμέτρων, επιστρέφοντας μια μεγάλη ποικιλία αποτελεσμάτων. Τα περισσότερα μοντέλα μικροκλίμακας επικεντρώνονται σε μία μόνο πτυχή του μικροκλίματος, ενώ οι δυνατότητες που πληρούνται από το λογισμικό ENVI-met είναι οι παρακάτω:

- Επαρκής ανάλυση (λιγότερο από 10 μέτρα)
- Ακριβής μοντελοποίηση επιφανειών όλων των τύπων και διαφορετικών υλικών παραμέτρων
- Προσομοίωση των φυσικών και φυσιολογικών ιδιοτήτων των φυτών
- Προγνωστικός και παροδικός υπολογισμός των καιρικών διεργασιών

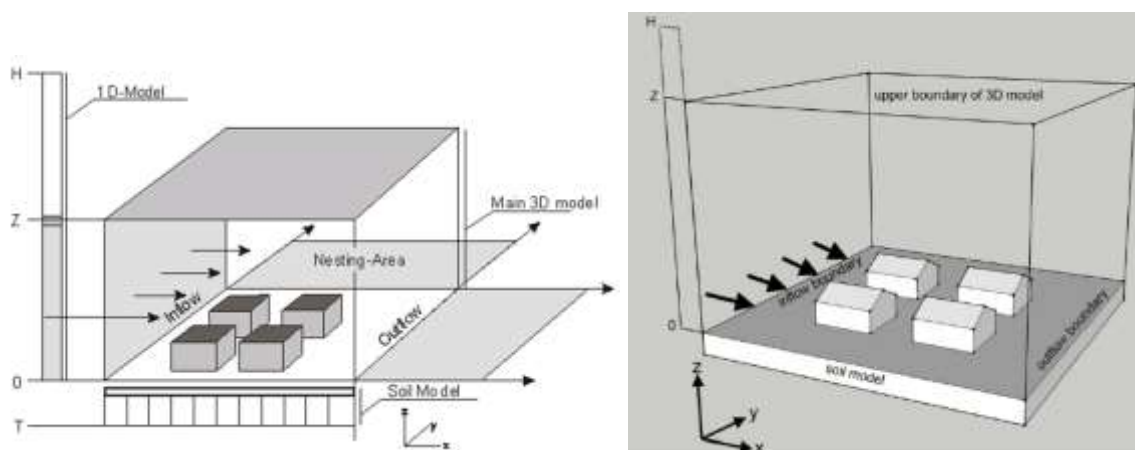
Το ENVI-met υπολογίζει πολλές περιβαλλοντικές παραμέτρους, αποτελώντας ένα υπολογιστικά πλούσιο λογισμικό. Έτσι προκειμένου να προσομοιωθούν οι μικροκλιματικές αλληλεπιδράσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια δημιουργείται ένα πλέγμα στο οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Ενώ, ακόμη και με τους σημερινούς ισχυρούς επεξεργαστές και τις αναπτυγμένες προσεγγίσεις υποβάθμισης (Simon et al, 2018), η προσομοίωση κτιρίων υψηλής ανάλυσης σε κλίμακα περιοχής είναι χρονοβόρα και συνήθως αδύνατη. Επιπλέον, οι δυνατότητες που δίνονται μέσω του ENVI-met περιορίζονται σε ψηφιδωτά αρχεία δεδομένων (raster), τόσο ως αρχεία εισόδου όσο και εξόδου, ενώ τα διαθέσιμα κελιά (voxels) να μπορούν είτε να καταληφθούν από ένα χαρακτηριστικό αντικείμενο είτε να παραμείνουν κενά. Επομένως, ένας σημαντικός περιορισμός του λογισμικού είναι ότι οι επιφάνειες που δεν είναι παράλληλες με το πλέγμα, μετατρέπονται σε ακανόνιστα όρια, ενώ οι κεκλιμένες επιφάνειες όπως οι στέγες δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν αποτελεσματικά. Στο σχέδιο, αυτή η παραμόρφωση πρέπει να περιορίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Έτσι, παρά την πλήρη υποστήριξη τρισδιάστατων αρχείων εισαγωγής περιοχής, το οποίο είναι πράγματι ένα σημαντικό βήμα προς τη μελλοντική ανάπτυξη, όταν πρόκειται για προσομοιώσεις κλίμακας περιοχής, αυτή η μορφή 3D δεν μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως.

Πρόσθετοι περιορισμοί του ENVI-met μπορούν να συνοψιστούν ως:

- Το ENVI-met δεν λαμβάνει υπόψη τις εσωτερικές πληροφορίες του κτιρίου ή τη συμπεριφορά πληρότητας.
- Το ENVI-met δεν μπορεί ούτε να προσομοιώσει βροχόπτωση ούτε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο πήξης
- Το ENVI-met δεν μπορεί να προσομοιώσει διαφορετικά υπόγεια προφίλ και θερμικές πηγές.

3.2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το λογισμικό ENVI-met αποτελεί ουσιαστικά ένα **μονοδιάστατο συνοριακών διαστάσεων μοντέλο (1D Model)**, όπου περιέχει κάθετα μέχρι τα 2500m (το ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος – planetary boundary layer (PBL) –, δηλαδή το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας, που επηρεάζεται από την παρουσία του εδάφους μέσω της τυρβώδους ροής της θερμότητας) το προφίλ διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων και ένα **τριών διαστάσεων μοντέλο** που περιέχει τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, του εδάφους, των κτιρίων και της βλάστησης. Γύρω από το κύριο μοντέλο είναι η περιοχή, όπως λέγεται «nesting», όπου κύρια λειτουργία της είναι να δημιουργήσει σταθερά πλευρικά όρια στο κυρίως μοντέλο (**Εικόνα 3.2-1**) (Bruse, 1999). Συνεπώς το τρισδιάστατο μοντέλο μετατρέπεται σε ένα μονοδιάστατο μοντέλο το οποίο εκτείνεται σε ύψος 2500m. Οι τιμές του μονοδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιούνται ως αναφορά τόσο για την εισροή όσο και για τις οριακές συνθήκες (top) για το τρισδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 3.2-1: Παρουσίαση μοντέλου στο ENVI-met

Ως μοντέλο προσομοίωσης μικροκλίματος, το ENVI-met, στοχεύει στη λεπτομερή αναπαράσταση των παραμέτρων καιρού σε κλίμακα περιοχής. Οι δύο παράγοντες που καθορίζουν το μικροκλίμα είναι πρώτον ο καιρός στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, ή με άλλα λόγια οι διεργασίες μεσο-κλίμακας, και δεύτερον η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ εδάφους, νερού, φυτών και δομικών υλικών. Ο δεύτερος παράγοντας παρουσιάζει σημαντική επίδραση στα πολύ χαμηλότερα τροποσφαιρικά στρώματα, τα οποία μπορούν να εντείνουν τις διεργασίες μεσο-κλίμακας ή να τα αντισταθμίσουν. Έτσι, το ENVI-met λαμβάνει υπόψη τόσο τις μετεωρολογικές παραμέτρους, όσο και τη σύνθεση του αστικού περιβάλλοντος από την άποψη των φυσικών και υλικών χαρακτηριστικών του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, το ENVI-met είναι ένα εργαλείο δυναμικής υπολογισμού ρευστού, το οποίο χρησιμοποιεί μορφές ψηφιδωτών δεδομένων (raster) (πλέγμα) με κατάλληλη ανάλυση ως δεδομένα εισόδου και εξόδου, για την αναπαράσταση της περιοχής. Οι κυψέλες του πλέγματος αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, για να προσομοιώσουν την

ανταλλαγή ενέργειας. Ο Huttner, 2012 περιγράφει τους βασικούς αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για αυτούς τους υπολογισμούς.

Αναλυτικότερα, το ENVI-met προσπαθεί να μοντελοποιήσει τα κατώτερα τροποσφαιρικά στρώματα με τη βοήθεια τριών αλληλένδετων υπο-μοντέλων.

1. Το πρώτο μοντέλο είναι ένα **μονοδιάστατο κατακόρυφο μοντέλο (1-Dimensional vertical model)** που περιέχει κατακόρυφα προφίλ διαφορετικών μετεωρολογικών παραμέτρων. Το ENVI-met έχει την δυνατότητα να προσομοιώνει μόνο ένα μέρος της ατμόσφαιρας, γι' αυτό τον λόγο είναι χρήσιμο να χρησιμοποιούνται οριακές συνθήκες για τα πλευρικά και κάθετα όρια του τρισδιάστατου μοντέλου. Για να δημιουργηθούν αυτές οι οριακές συνθήκες, το 1D οριακό μοντέλο δημιουργεί μονοδιάστατα προφίλ των μετεωρολογικών παραμέτρων, της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας, των διανυσμάτων του ανέμου (οριζόντιας διεύθυνσης), της κινητικής ενέργειας και των αλλαγών της τύρβης. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται για να παρέχει στην περιοχή ενδιαφέροντος οριακές συνθήκες και εκτείνεται από το επίπεδο της επιφάνειας, μέχρι ύψος 2500 μέτρων πάνω από το έδαφος (Huttner, 2012), δηλαδή το μέσο ύψος του οριακού στρώματος της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Έτσι, αυτό που παρέχει δεδομένα στα όρια του τρισδιάστατου μοντέλου είναι το μονοδιάστατο ορίων μοντέλο με τα οριζόντια ομογενείς κάθετα προφίλ των μετεωρολογικών παραμέτρων (Bruse, 1999).
2. Το δεύτερο μοντέλο είναι ένα **τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (3-dimensional soil model)**, το οποίο ξεκινά από την επιφάνεια του εδάφους και φτάνει σε βάθος 1,75 μέτρων. Ο ρόλος αυτού του μοντέλου είναι να εκτιμήσει τόσο τη ροή θερμοκρασίας και υγρασίας στο έδαφος, όσο και μεταξύ του εδάφους και της χαμηλότερης μάζας αέρα.
Τα δύο πρώτα μοντέλα πλέγματος είναι τηλεσκοπικά (telescopic) και όχι ίσα (equidistant), που σημαίνει ότι η διάσταση της κάθε κυψέλης αυξάνεται κατά την κατεύθυνση του.
3. Το τρίτο μοντέλο (3-Dimensional model) είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής ενδιαφέροντος που περιλαμβάνει τα μοντέλα εδάφους, κτιρίων και βλάστησης. Έτσι, καθώς εκτείνονται μακριά από αυτό, ο αντίκτυπός τους σε αυτό εξασθενεί, ειδικά στο περιορισμένο χρονικό διάστημα των προσομοιώσεων, το οποίο συνήθως είναι λιγότερο από τρεις ημέρες. Το τρισδιάστατο ατμοσφαιρικό μοντέλο συνδέεται με το τρισδιάστατο εδαφικό, ενώ το μοντέλο βλάστησης βρίσκεται και στο ατμοσφαιρικό αλλά και στο εδαφικό μοντέλο.

Το ENVI-met δεν λειτουργεί αξιόπιστα κοντά στα σύνορά του, ειδικά όταν υπάρχουν εμπόδια. Ο λόγος είναι ότι οι αναταραχές δεν μπορούν να προσομοιωθούν ομαλά, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σφάλματα. Η Nesting area (περιοχή φωλιάσματος) βρίσκεται γύρω από το τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής (Main 3D Model) και πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν στο μοντέλο θα εφαρμοστούν cyclin ή open οριακές συνθήκες. Η περιοχή φωλιάσματος είναι μια μέθοδος που

χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των ορίων του μοντέλου μακριά από τα αντικείμενα. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση αμφισβητείται τελευταία και αντικαθίσταται από την επέκταση του κύριου τρισδιάστατου μοντέλου από έναν αριθμό κενών κελιών ή τουλάχιστον με κελιά με υψομετρικά δεδομένα εδάφους – Digital Elevation Model (DEM). Κατά τον γεωμετρικό έλεγχο του μοντέλου στο οριζόντιο άξονα, η απόσταση μεταξύ των ορίων του μοντέλου και των κτιρίων πρέπει να είναι είτε μηδέν είτε ίση με το ύψος του πλησιέστερου κτιρίου.

3.2.1. Κύριο 3D μοντέλο

Το κύριο τρισδιάστατο μοντέλο αποτελείται από τρεις ορθογώνιας κατεύθυνσης άξονες, δύο οριζόντιες (x και y) και μια κατακόρυφη (z), όπου δημιουργούν, στην περιοχή του μοντέλου, κύβους τριών διαστάσεων. Η περιοχή του μοντέλου αποτελείται από έναν αριθμό κελιών (grid cells), (σε μορφή κάναβου) που αναπαριστούν διαφορετικά αντικείμενα, όπως κτίρια, βλάστηση ή ατμόσφαιρα. Ο αριθμός των κελιών εξαρτάται από την περιοχή του μοντέλου και την χωρική της ανάλυση. Το κάθε κελί ορίζεται από τις δικές του φυσικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, ένα κελί που αναπαριστά κτίριο, ορίζεται από το είδος υλικού του, ενώ αντίστοιχα το είδος υλικού ορίζεται από μια συγκεκριμένη θερμική περιεκτικότητα αλλά και από άλλες παραμέτρους. Αυτό το μοντέλο δημιουργείται συνήθως μέσω του ενσωματωμένου προγράμματος επεξεργασίας «SPACES», ενώ το ENVI-met χρησιμοποιεί ένα προεπιλεγμένο μοντέλο για το έδαφος και τα κάθετα προφίλ. Συχνά αναφέρεται ως αρχείο εισαγωγής περιοχής και αποθηκεύεται σε μορφή INX, όπου βασίζεται σε XML μορφότυπο. Συνδυάζοντας την βάση δεδομένων όλων των άλλων αντικειμένων του μοντέλου, δημιουργείται μια λεπτομερής αναπαράσταση του αστικού περιβάλλοντος (βλ. **Ενότητα 3.3.4**). Για μεγαλύτερη ορθότητα των υπολογισμών στην επιφάνεια το κατώτερο ατμοσφαιρικό κελί του καννάβου χωρίζεται κάθετα σε 5 μικρότερα κελιά με μέγεθος $\Delta z = 0.2 \Delta z$ (Bruse, 1999).

Το **ατμοσφαιρικό μοντέλο** αποτελεί και το κυρίως 3D μοντέλο. Στο ατμοσφαιρικό μοντέλο οι κύριες διαδικασίες του αστικού μικροκλίματος που προσομοιώνονται είναι το πεδίο ανέμου, η θερμοκρασία του ανέμου και η κατανομή της υγρασίας, η τύρβη, η διασπορά των αέριων μαζών, σωματιδίων και ρύπων, η ακτινοβολία, η διαδικασία ανταλλαγής μεταξύ του εδάφους και του δομημένου περιβάλλοντος. Το **εδαφικό μοντέλο** συνδέεται με την κάτω πλευρά του ατμοσφαιρικού μοντέλου και προσομοιώνονται αντίστοιχα οι επιφάνειες, η εδαφική θερμοκρασία, η βλάστηση, η υδάτινη περιεκτικότητα στο έδαφος και τα υδάτινα σώματα. Ενώ, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας από τις επιφάνειες στην εδαφική μάζα και αντιστρόφως. Στο εδαφικό μοντέλο, υπολογίζονται μέχρι το βάθος των $z = -5\text{m}$ υδρολογικές και θερμοδυναμικές διαδικασίες. Για κάθε κατακόρυφο κελί του πλέγματος μπορεί να επιλεγεί ένα διαφορετικό υλικό, ώστε να μπορεί να γίνει καλύτερη προσέγγιση για τα διάφορα είδη αστικού εδάφους. Το έδαφος έχει μεγάλη επίδραση στο μικροκλίμα ενώ παράλληλα εμφανίζει μεγάλη κάθετη ανομοιογένεια. Έτσι, το έδαφος στο ENVI-met χωρίζεται σε διαφορετικά είδη εδάφους όπου

διαφοροποιούνται σε υδρολογικές και θερμοδυναμικές παραμέτρους. Το εδαφικό προφίλ του ENVI-met χωρίζεται σε 20 επίπεδα, όχι ίδιας απόστασης. Τα ανώτερα επίπεδα έχουν καλύτερη κάθετη ανάλυση από τα κατώτερα. Όσον αφορά τα υδάτινα σώματα, αναπαρίστανται ως ένας ειδικός τύπος εδάφους. Τέλος, στο **μοντέλο της βλάστησης** αναπαρίσταται η 3D γεωμετρία των φυτών, η θερμοκρασία του φυλλώματος του φυτού, η διαδικασία ανταλλαγής με το περιβάλλον καθώς και η υγεία του φυτού. Στο ENVI-met μοντέλο της βλάστησης αναπαρίσταται ως συγκεντρώσεις κελιών που έχουν επιφάνεια πυκνότητας φυλλώματος στο ατμοσφαιρικό μοντέλο και επιφάνεια πυκνότητας ριζών στο εδαφικό μοντέλο. Εκτός από την επίδραση τους στο πεδίο ανέμου και στην ακτινοβολία, τα φυτά χρησιμοποιούν βιολογικούς μηχανισμούς που ρυθμίζουν την ανταλλαγή CO₂ και υδρατμών με την ατμόσφαιρα. Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά για κάθε μοντέλο και η παραμετροποίηση που δίνεται μέσω της Βάσης Δεδομένων του ENVI-met περιγράφονται στη **Ενότητα 3.3.4**.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του μοντέλου εισαγωγής περιοχής είναι ότι μπορεί θεωρητικά να είναι απεριόριστο στον αριθμό των κελιών στις οριζόντιες κατευθύνσεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός κελίων στο κάθετο άξονα είναι 100 κελιά. Ωστόσο, δεδομένου ότι ο χρόνος προσομοίωσης ENVI-met είναι εκθετικός στο μέγεθος του μοντέλου εισόδου περιοχής (τα πλέγματα προσομοίωσης οριζόντιας έκτασης άνω των 200 * 200 κελιών μπορούν να διαρκέσουν έως και αρκετές ημέρες) γι' αυτό τον λόγο το μέγεθος του μοντέλου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Η κάθετη διάστασή του μοντέλου προσδιορίζει το χαμηλότερο σημείο του μονοδιάστατου καιρικού μοντέλου. Πάνω από το κύριο μοντέλο 3D, το μονοδιάστατο μοντέλο εκτείνεται έως και 2500 μέτρα και χωρίζει την απόσταση H-Z (βλ. **Εικόνα 3.2-1**) σε 15 τηλεσκοπικά κελιά. Επιπλέον, η οριζόντια ανάλυση του κύριου 3D μοντέλου είναι σταθερή για όλα τα κελιά πλέγματος, ενώ αυτό δεν ισχύει για κάθετη διάσταση του μοντέλου. Διατίθενται τρεις τύποι κατακόρυφου πλέγματος όπου αναλύονται στην **Ενότητα 3.3.3**.

3.2.2. Πλευρικές οριακές συνθήκες (LBC)

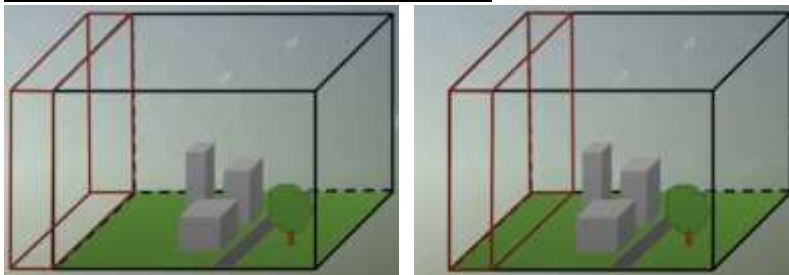
Υπάρχουν τρία είδη πλευρικών οριακών συνθηκών που μπορούν να εφαρμοστούν στο ENVI-met. Με τις πλευρικές οριακές συνθήκες το ENVI-met διαχειρίζεται τα όρια του μοντέλου. Το μοντέλο ENVI-met περιλαμβάνει τρεις διαφορετικού είδους πλευρικές οριακές συνθήκες (**LBC, Lateral Boundary Conditions**). (Bruse, 2015b):

1. **Ανοικτές LBC** (Open Lateral Boundary Conditions): Οι τιμές της διπλανής κυψέλης του πλέγματος, κοντά στα όρια του μοντέλου αντιγράφονται στα όρια του μοντέλου, για κάθε χρονικό βήμα (αποτελεί και η βασική ρύθμιση στο λογισμικό).
2. **Κυκλικές LBC** (Cyclic Lateral Boundary Conditions): Οι τιμές των σημείων του πλέγματος πλησίον των ορίων στα κατάντη του ορίου του μοντέλου αντιγράφονται ανάντη του ορίου του μοντέλου.

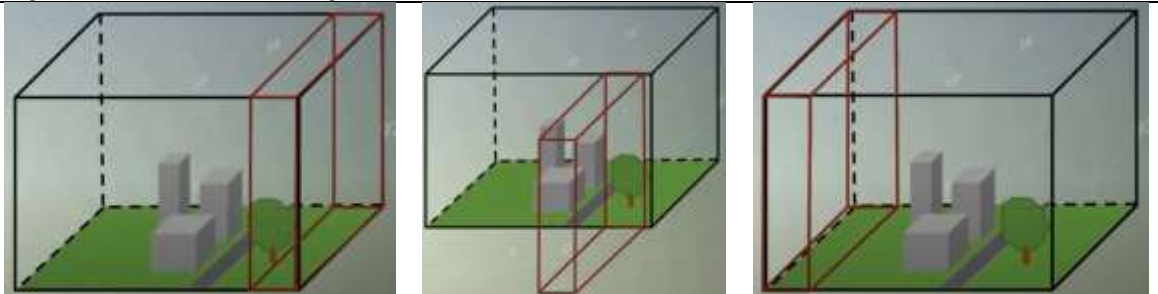
3. Κλειστές LBC (ή forced) (Simple Forced Boundary Conditions): Οι τιμές του μονοδιάστατου μοντέλου αντιγράφονται στα όρια του μοντέλου.

Ο χρήστης μπορεί να διαλέξει LBC για την θερμοκρασία, την υγρασία και την τύρβη. Οι ανοικτές και κυκλικές LBC, ενώ επιτρέπουν την έναρξη της προσομοίωσης ορίζοντας μόνο μερικές αρχικές παραμέτρους, δεν είναι δυνατό να δημιουργήσουν ακριβή σενάρια και χρησιμοποιούνται σε σύνθετες περιοχές μοντέλων για να προσδιορίσουν σχετικές διαφορές, με αποτέλεσμα να κάνουν δύσκολη την σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις πραγματικές συνθήκες. Αντιθέτως, οι κλειστές LBC (ή forced) επιτρέπουν τη σύγκριση πραγματικών σεναρίων με πραγματικές υφιστάμενες συνθήκες, ορίζοντας έναν ημερήσιο κύκλο οριακών συνθηκών για τους διάφορους μετεωρολογικούς παράγοντες, όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία (που έχουν μετρηθεί από εξωτερικές πηγές).

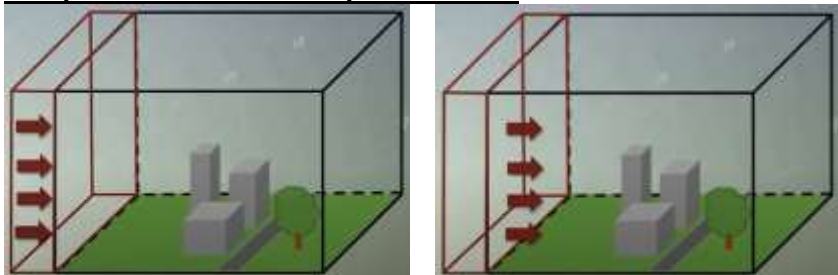
Open Lateral Boundary Conditions



Cyclic Lateral Boundary Conditions



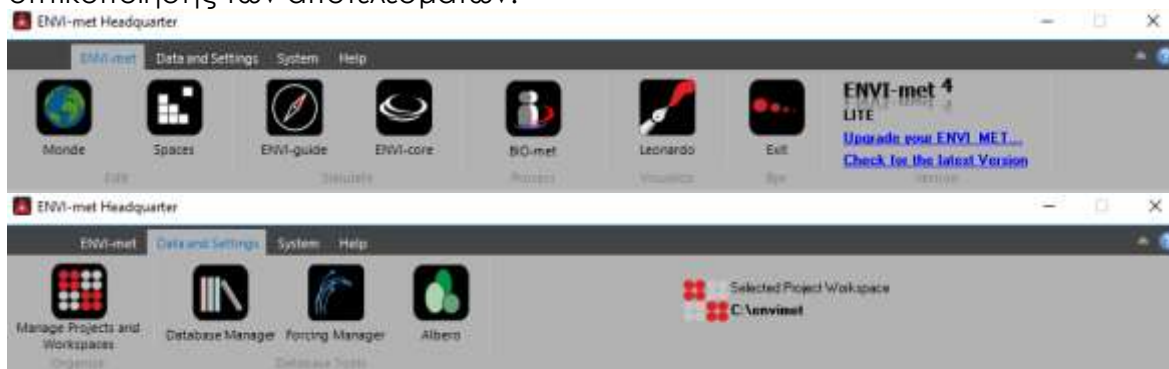
Simple Forced Boundary Conditions



Εικόνα 3.2-2: Σχηματική αποτύπωση πλευρικών οριακών συνθηκών (LBC)

3.3. ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET V.4.4.5

Η εφαρμογή **ENVI-met Headquarter** αποτελεί την γραμμή εργαλείων των διάφορων υπό-μέρους εφαρμογών που παρέχονται μέσω του λογισμικού ENVI-met, καθορίζοντας με αυτόν τον τρόπο το διάγραμμα ροής για το σχεδιασμό, επεξεργασία, το καθορισμό παραμέτρων, εκτέλεση της προσομοίωσης και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 3.3-1: Εργαλειοθήκη εφαρμογών του λογισμικού πακέτου ENVI-met v.4.4.5

Μέσω της εφαρμογής **Manage Project and Workspaces** καθορίζεται ο χώρος που θα δημιουργηθούν και θα αποθηκευτούν τα αρχεία προσομοίωσης του μοντέλου και αποτελεί το πρώτο βήμα στη ροή εργασίας. Έπειτα, μέσω των εφαρμογών **MONDE** και **SPACES** εκτελείται ο σχεδιασμός της περιοχής μελέτης, δημιουργώντας αρχεία INX. Τα αντικείμενα του μοντέλου αντλούν πληροφορία σχετικά με τα υλικά κάλυψης από την βάση δεδομένων **DataBase Manager** και **Albero** για την εφαρμογή 3D βλάστησης. Μέσω της εφαρμογής **Forcing Manager** γίνεται ο καθορισμός των μετεωρολογικών δεδομένων είτε από αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς σε μορφότυπο .csv είτε μέσω μετεωρολογικών αρχείων σε μορφότυπο .EPW/TRY (Energy Plus Weather File), δημιουργώντας αρχεία σε μορφότυπο .FOX. Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, η εφαρμογή **ENVIguide** χρησιμοποιείται για την δημιουργία των αρχείων προσομοίωσης σε μορφότυπο .SIMX, βασιζόμενο σε τρία διαφορετικά επίπεδα υλοποίησης. Στη συνέχεια, μέσω της εφαρμογής **ENVI-core** μπορεί να γίνει η εκκίνηση της προσομοίωσης. Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης τα αποτελέσματα αυτής μπορούν να οπτικοποιηθούν και αναλυθούν μέσω των εφαρμογών **Leonardo**, δημιουργώντας 2D ή 3D οπτικοποιήσεις και του **Bio-net**, για το υπολογισμό της θερμικής άνεσης του ανθρώπου.

3.3.1. Μοντέλο εισόδου περιοχής μελέτης

Απαιτήσεις αρχείου εισαγωγής περιοχής

Το ENVI-met, ως εργαλείο CFD απαιτεί ένα μοντέλο εισόδου για υπολογισμούς πλέγματος 3D (3D grid input). Τέτοια μοντέλα δημιουργούνται στο ENVI-met μέσω μιας συγκεκριμένης διεπαφής 3D σχεδιασμού GUI που ονομάζεται SPACES. Αυτό απαιτεί γενικά τη συλλογή δεδομένων από διαφορετικές πηγές, και στην περίπτωση

μεγάλων μοντέλων υψηλής ανάλυσης, απαιτεί υψηλό κόστος σχεδιασμού στο χρόνο. Πρόσφατα, το λογισμικό έχει ενημερωθεί για να υποστηρίξει ως αρχεία εισόδου τα διανυσματικά δεδομένα. Η τελευταία έκδοση ENVI-met 4.4, περιλαμβάνει μια ενότητα που ονομάζεται ENVI-met MONDE, η οποία παρέχει μια διεπαφή για την επιλογή δεδομένων OSM ή shapefiles ως αρχεία εισόδου. Επιπλέον, πρόσφατα κυκλοφόρησε και ένα σύνολο στοιχείων για το Ladybug του λογισμικού Rhino, όπου δίνεται η δυνατότητα μετάφρασης της γεωμετρίας του Rhino σε αρχείο συμβατό με το ENVI-met (www.grasshopper3d.com, 28/12/2018). Όμοια διαλειτουργικότητα στηρίζει και το λογισμικό SketchUp (βλ. **Ενότητα 3.3.2**). Ωστόσο, και οι δύο προσεγγίσεις δεν έχουν φτάσει στο σημείο εξάλειψης της ανθρώπινης παρέμβασης, καθώς δεν παρέχουν την απαιτούμενη σημασιολογική διαλειτουργικότητα. Επομένως, οι χρήστες πρέπει ακόμη να εξοικειωθούν με πρόσθετες διεπαφές λογισμικού και να προετοιμάσουν ή να συλλέξουν δεδομένα εισόδου.

Η αρχιτεκτονική του αρχείου εισόδου περιοχής μορφής INX βασίζεται σε XML και χρησιμοποιεί XML tags για τον εντοπισμό των αναγκών δεδομένων και των χρησιμοποιούμενων μορφών δεδομένων. Το αρχείο μοντέλου 3D είναι ένα μοντέλο raster ουσιαστικά που κωδικοποιείται σε μορφή .INX. Ένα αρχείο INX είναι ένα έγγραφο κειμένου σε XML. Το αρχείο εισαγωγής περιοχής διατηρεί τόσο τα μεταδεδομένα της περιοχής όσο και τα αστικά δεδομένα. Τα μεταδεδομένα περιέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία του μοντέλου και σχετικά με τον τύπο πλέγματος και την ανάλυση. Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει τοπογραφία, κτίρια, βλάστηση και επιφανειακά υλικά που απεικονίζονται σε στρώσεις. Τα μεταδεδομένα βοηθούν επίσης το ENVI-met να προετοιμάσει το προφίλ καιρού. Τα χαρακτηριστικά που αποθηκεύονται στο αρχείο εισαγωγής περιοχής περιλαμβάνουν τη θέση και το ύψος των κτιρίων, τη θέση και τον τύπο των εγκαταστάσεων, την κατανομή επιφανειακών υλικών και εδαφών, τη θέση των πηγών και τη θέση των υποδοχέων. Τα δεδομένα εισόδου στο αρχείο .INX μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω σε τρεις (3) διαφορετικές ομάδες, (i) τις υποχρεωτικές ετικέτες 2,5 διαστάσεων, (ii) τις προαιρετικές ετικέτες 2,5 διαστάσεων και (iii) τις ετικέτες 3 διαστάσεων (χρησιμοποιούνται για την περιγραφή κτιρίων, υλικών και του μοντέλου εδάφους (DEM) σε αρχεία 3D INX (βλ. **Ενότητα 3.3.3**).

3.3.2. Ενημερώσεις ENVI και υποστήριξη διανυσματικών δεδομένων

Μέχρι το 2010 το ENVI-met κατάφερε να γίνει ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία για εξωτερικές προσομοιώσεις και έχει χρησιμοποιηθεί για πολλούς διαφορετικούς τύπους έρευνας (δείτε για παράδειγμα Bruce et al, 1998; Simon, 2016; Koerniawan et al, 2015). Τα τελευταία χρόνια το ENVI-met γνώρισε μια σειρά σημαντικών ενημερώσεων, που αφορούν την ταχύτητα υπολογισμού της διεπαφής και τις διαθέσιμες επιλογές σχεδίασης. Οι βελτιώσεις επιτρέπουν στους χρήστες να προσομοιώνουν σχετικά μεγάλες περιοχές σε υψηλότερη ανάλυση σε συστήματα πολλαπλών πυρήνων.

Ωστόσο, η πιο σημαντική ενημέρωση αφορά τον επεξεργαστή SPACES και τη φύση του μοντέλου 3D. Μέχρι την έκδοση 3.0 του ENVI, ο σχεδιασμός του τρισδιάστατου μοντέλου περιοριζόταν σε εξωθημένα, πρισματικά κτίρια και ολόκληρος ο επεξεργαστής SPACES δεν περιλάμβανε ένα τρισδιάστατο πρόγραμμα προβολής. Το αρχείο εισαγωγής περιοχής περιοριζόταν σε ένα 2,5 διαστάσεων αρχείο. Στην έκδοση ENVI-met 4.0, το πρόγραμμα επεξεργασίας SPACES ενημερώθηκε για να υποστηρίξει πλήρη σχεδίαση 3D. Μαζί με αυτήν την ενημέρωση, παρουσιάστηκε επίσης και ένα νέο προγνωστικό μοντέλο πρόσοψης 7 κόμβων για τα δομικά υλικά. Προκειμένου να παραμεριστεί η δομή των προσόψεων και των στεγών, το νέο μοντέλο επιτρέπει τη δημιουργία σύνθετων υλικών, αποτελούμενων από διαφορετικές ιδιότητες στρώματος, συμπεριλαμβανομένων των πράσινων προσόψεων (Simon & Bruse, 2015). Ο νέος πλήρης τρισδιάστατος επεξεργαστής επιτρέπει την εκχώρηση υλικών προσόψεων σε κάθε κτιριακό κελί και το ENVI-met, είναι πλέον σε θέση να μοντελοποιήσει πιο λεπτομερή κτίρια με λεπτομερή κατανομή υλικών και να υπολογίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις θερμοκρασίες των επιφανειών και των εσωτερικών επιφανειών (**Εικόνα 3.3.1**). Η τρίτη σημαντική ενημέρωση αναφέρεται ως «full forcing» και εισήγαγε μια επιλογή για την εισαγωγή ωριαίων τιμών καιρού ως οριακών κλιματικών συνθηκών για τη θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, καθώς και για τον προϋπολογισμό σχετικής υγρασίας και ακτινοβολίας.



Εικόνα 3.3-2: Επεξεργαστής τρισδιάστατων αντικειμένων 3D SPACES (Huttner, 2012)

Ωστόσο, παρά όλες τις τελευταίες βελτιώσεις, ο σχεδιασμός τρισδιάστατων μοντέλων στο SPACES εξακολουθεί να είναι χρονοβόρος και δεν παρέχει ευελιξία όσον αφορά την αυτόματη μετατροπή σε διαφορετικές αναλύσεις. Για αυτόν τον

λόγο, προέκυψε η ανάγκη χρήσης διανυσματικών δεδομένων για τη δημιουργία της γεωμετρίας του αρχείου INX με βάση το voxel.

Επί του παρόντος υπάρχουν δύο διαθέσιμα εργαλεία που έχουν ήδη χρησιμοποιήσει αυτήν τη μεθοδολογία. Το πρώτο είναι μια πρόσθετη εφαρμογή στο λογισμικό Rhino Grasshopper, που περιλαμβάνεται στα εργαλεία Ladybug⁴. Ομοίως και η πρόσθετο εργαλείο για μετάφραση αρχείων γεωμετρίας Sketchup⁵ σε αρχεία ENVI-met. Τα πρόσθετα αυτά αναπτύχθηκαν από τον Antonello Di Nuzio⁶. Το πρόσφατα ανεπτυγμένο εργαλείο επιτρέπει τη μετατροπή της γεωμετρίας 3D Rhino σε περιοχές μοντέλων που πληρούνται με ENVI. Επιπλέον, με τη χρήση πρόσθετων παραμέτρων, επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν έναν χώρο εργασίας ENVI και να δημιουργήσουν απευθείας ολόκληρο το αρχείο εισόδου προσομοίωσης (.SIM) του ENVI-met. Εκτός από τη δημιουργία αρχείων εισόδου ENVI, παρέχει και πρόσθετη επιλογή για την απεικόνιση των εξόδων στην προβολή 3D του Rhino. Αυτό το εργαλείο έχει 3 βασικούς περιορισμούς. Πρώτον, το Rhino απαιτείται ως ενδιάμεση πλατφόρμα, το οποίο δεν είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα, και οι χρήστες - εκτός από τους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές - μπορεί να μην είναι εξοικειωμένοι με αυτό. Δεύτερον, η γεωμετρία πρέπει να δημιουργηθεί από τον χρήστη ή τουλάχιστον να μετατραπεί από μια υπάρχουσα μορφή σε γεωμετρία του Rhino ή Sketchup. Τέλος, δεν υπάρχει τεκμηρίωση σχετικά με τη δυνατότητα εισαγωγής πληροφοριών DEM ή δημιουργίας πλήρων αρχείων 3D INX, χρησιμοποιώντας αυτό το εργαλείο.

Το δεύτερο εργαλείο που μπορεί να μετατρέψει γεωμετρίες που βασίζονται σε διανυσματικά δεδομένα σε αρχείο INX είναι ο πρόσφατα αναπτυγμένος επεξεργαστής MONDE. Αυτό το πρόγραμμα επεξεργασίας διατίθεται μαζί με το πακέτο ENVI-met, (ξεκινώντας από την έκδοση ENVI-met 4.3, κυκλοφόρησε τον Δεκέμβριο του 2018) και παρέχει μια εναλλακτική επιλογή στον επεξεργαστή SPACES. Αυτός ο επεξεργαστής επιτρέπει τη δημιουργία επιπέδων πρωτόγονων γεωμετρίας GIS, όπως κόμβους, γραμμές και πολύγωνα για την αναπαράσταση εδάφους και κτιρίων βλάστησης. Επιπλέον, επιτρέπει την εισαγωγή επιπέδων shapfiles και Open Street Maps (OSM) ως αρχεία εισόδου και τη δημιουργία αρχείων INX. Το OSM είναι ένας δισδιάστατος ανοιχτού κώδικα διαδικτυακός χάρτης GIS που υποστηρίζει δεδομένα, που συλλέγονται με ατομική συνεισφορά από εθελοντές. Η γεωμετρία στο OSM αποθηκεύεται στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS84). Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του, όπως και στο GIS, φέρουν περιγραφική πληροφορία. Για παράδειγμα, τα κτίρια φέρουν πληροφορία για το ύψος, το οποίο αναγνωρίζεται από ENVI-met για την μετατροπή τους σε τρισδιάστατους όγκους. Το ENVI-met και, ως εκ τούτου,

⁴ <https://www.ladybug.tools/> , 2018, <https://www.envi-met.com/first-envi-met-plugin-for-rhino-grasshopper/> 2019

⁵ <https://github.com/AntonelloDN/Envimet-inx>, 2020, <https://www.envi-met.com/learning-support/plugins/>

⁶ <https://www.envi-met.com/learning-support/expert-lessons/>

το MONDE, υποστηρίζουν μόνο μετρικά συστήματα. Το MONDE έχει προγραμματιστεί για τη μετατροπή διανυσματικών δεδομένων από το σύστημα αναφοράς Universal Transverse Mercator (UTM), επομένως απαιτείται μετάφραση από το WGS84. Οι τρεις βασικοί περιορισμοί του Monde είναι ότι το σχεδιαστικό περιβάλλον του είναι πολύπλοκο και διαθέτει περιορισμένες δυνατότητες. Δεύτερον, τα δεδομένα στο Open Street Maps δεν είναι πάντα πλήρη. Για παράδειγμα, ενδέχεται να λείπουν τα ύψη στα κτίρια και σε αυτήν την περίπτωση η εκχώρηση του χαρακτηριστικού πρέπει να γίνει από τον χρήστη. Επιπλέον, τα επιφανειακά υλικά καταχωρούνται με μη-αυτόματο ή ημιαυτόματο τρόπο χρήση των αναγνωριστικών κωδικών τους από την αντίστοιχη βάση δεδομένων ως περιγραφικός πίνακας της κάθε οντότητας.

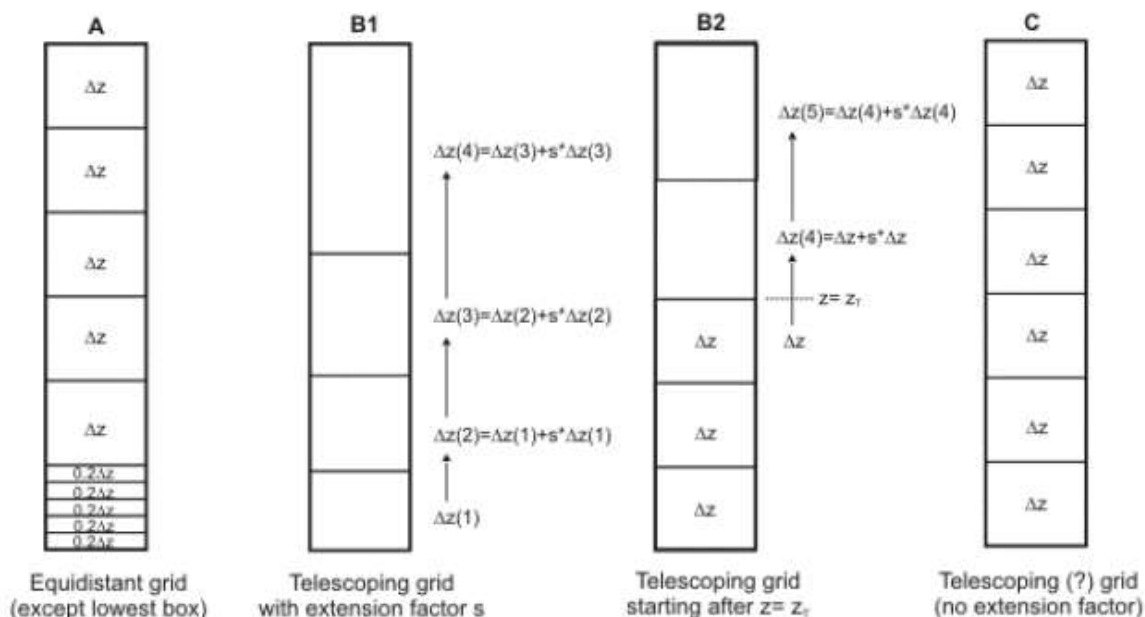
3.3.3. Ετικέτες δεδομένων εισόδου

Υποχρεωτικές απαιτήσεις για το αρχείο εισαγωγής περιοχής

Αυτή η ενότητα περιγράφει ετικέτες μοντέλου εισαγωγής περιοχής που είναι υποχρεωτικές για εκτέλεση προσομοιώσεων σε ENVI-met

1. Ετικέτα γεωμετρίας μοντέλου

Αυτή η ετικέτα προετοιμάζει το πλέγμα του τρισδιάστατου μοντέλου. Το ENVI-met χρησιμοποιεί ένα ορθογώνιο πλέγμα με σταθερή ανάλυση κατά μήκος κάθε ενός από τους δύο οριζόντιους άξονες (x , y). Ωστόσο, για τον κατακόρυφο άξονα το ENVI-met παρέχει ένα σύνολο επιλογών στον χρήστη, ενώ ο τύπος κάθετου πλέγματος θα καθορισθεί σε αυτήν την ετικέτα. Ο λόγος πίσω από την κάθετη παραλλαγή πλέγματος είναι ότι αρκετά συχνά το ENVI-met χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό παραμέτρων κοντά στην επιφάνεια, όπως για παράδειγμα σκίαση ή ανθρώπινη θερμική άνεση. Ως αποτέλεσμα, η προσοχή στρέφεται στα κάτω κελιά πλέγματος όπου απαιτείται υψηλότερη ανάλυση. Για να το αντιμετωπίσει αυτό, το ENVI-met παρέχει τρεις επιπλέον τύπους πλέγματος, που εμφανίζονται στο **Σχήμα 3.3-1**.



Σχήμα 3.3-1: Τα διαθέσιμα κάθετα πλέγματα σε ENVI-met, από αριστερά προς τα δεξιά (Equidistant grid, Telescoping grid with extension factor, Telescoping grid with extension factor ξεκινώντας από z , Telescoping grid χωρίς επέκταση)

- Equidistant grid:** Ο πρώτος τύπος κατακόρυφου πλέγματος είναι ένα ισότιμο πλέγμα, που χρησιμοποιείται ως προεπιλογή στον επεξεργαστή SPACES. Στην πράξη είναι ένα πλέγμα υβριδικής ισότητας, όπου το χαμηλότερο κελί χωρίζεται σε 5 κελιά με ανάλυση ίση με $\Delta z / 5$. Αυτός ο τύπος πλέγματος παρέχει υψηλή ανάλυση στο χαμηλότερο μέρος του μοντέλου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι προσφέρει περισσότερες επιλογές μοντελοποίησης όταν έρχεται σε χαρακτηριστικά μικρού μεγέθους όπως το γρασίδι για παράδειγμα. Ένα κελί στο ENVI-met μπορεί να καταληφθεί από ένα χαρακτηριστικό ή να μείνει κενό. Έτσι, τα φυτά και οι θάμνοι γρασιδιού ή μικρού μεγέθους απαιτούν υψηλή ανάλυση προκειμένου να μοντελοποιηθούν αποτελεσματικά, διαφορετικά παραμελούνται πλήρως. Ο περιορισμός αυτής της προσέγγισης πλέγματος είναι ότι δεν είναι κατάλληλο για μοντελοποίηση **περιοχών με πολύ ψηλά κτίρια**, καθώς ο διαθέσιμος αριθμός κυψέλης περιορίζεται σε 100. Επίσης, στην περίπτωση μοντέλου με ενσωματωμένο μοντέλο εδάφους (DEM), το διαχωρισμένο κάτω κελί καταλαμβάνεται από το DEM, το οποίο δεν είναι επιθυμητό αποτέλεσμα. Για να ρυθμίσετε αυτόν τον τύπο πλέγματος, απαιτείται ο τύπος του πλέγματος και η σταθερή κατακόρυφη ανάλυση Δz . Το ENVI-met στη συνέχεια προχωρά αυτόματα στην προσαρμογή.
- Telescoping grid:** Ο δεύτερος κάθετος τύπος πλέγματος είναι το λεγόμενο τηλεσκοπικό πλέγμα. Αυτό το πλέγμα ακολουθεί την ίδια λογική με το μονοδιάστατο κατακόρυφο μοντέλο που περιέχει κατακόρυφα προφίλ διαφορετικών μετεωρολογικών παραμέτρων. Το πλέγμα καθορίζεται βάσει του μεγέθους του κάτω κελιού και ενός τηλεσκοπικού **συντελεστή s** . Στη

συνέχεια αυξάνεται το μέγεθος κάθε κελιού πάνω από το κελί βάσης, ακολουθώντας έναν απλό εκθετικό αλγόριθμο που εμφανίζεται στο **Σχήμα 3.3-1**. Αυτό το τηλεσκοπικό πλέγμα επιτρέπει την κάλυψη πολύ περισσότερου ύψους σε ένα συμπαγές μοντέλο. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται κατά τη μοντελοποίηση μιας περιοχής με υψηλά αντικείμενα, όπως ουρανοξύστες, ενώ οι διαδικασίες στα ανώτερα μέρη του μοντέλου έχουν μικρότερο ενδιαφέρον. Το τελευταίο πλέγμα είναι ένα τροποποιημένο τηλεσκοπικό πλέγμα που ξεκινά η επέκταση κυψέλης πάνω από ένα ύψος αναφοράς. Η τελευταία αρχικοποιείται ρυθμίζοντας το μέγεθος του κυττάρου βάσης, τον τηλεσκοπικό συντελεστή και το απόλυτο ύψος αναφοράς.

Στις επικέτες γεωμετρίας του μοντέλου οι εμφανιζόμενες παράμετροι είναι ο αριθμός των κελιών σε κάθε κατεύθυνση, η ανάλυση κατά μήκος του άξονα x και y και το μέγεθος dz των χαμηλότερων κελιών. Αυτά είναι στοιχεία χρήστη και μπορούν να επεξεργαστούν απευθείας στον επεξεργαστή Spaces. Οι πληροφορίες τύπου πλέγματος εμφανίζονται στις δευτερεύουσες επικέτες "Use telescoping grid", "Use splitting", "Vertical stretch" και "Startstretch" και μπορούν να πάρουν τιμές Boolean. Επιπλέον, αυτή η ετικέτα περιέχει τις πληροφορίες τύπου του αρχείου (εάν είναι 2.5D ή πλήρες 3D).

2. Επικέτες τοποθεσίας

Το ENVI-met χρησιμοποιεί ένα πλέγμα με τοπικές καρτεσιανές συντεταγμένες. Το κάτω αριστερό κελί είναι καταχωρημένο ως 0,0,0 και το υψηλότερο δεξί ως nx-1, ny-1, nz-1. Ωστόσο, το ENVI-met προσομοιώνει ένα πραγματικό μέρος με συντεταγμένες πραγματικού κόσμου. Αυτό είναι σημαντικό αφού η διαδρομή του ήλιου και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζονται από το γεωγραφικό πλάτος. Επιπλέον, η συσχέτιση με τις συντεταγμένες του πραγματικού κόσμου είναι χρήσιμη για περαιτέρω εφαρμογές, επομένως αυτά τα μεταδεδομένα επιτρέπουν την μετάφραση του μοντέλου περιοχής σε πραγματικές συντεταγμένες. Αποτελεί ένδειξη συστήματος προβολής με συντεταγμένες στην αρχή του πλέγματος σε ένα μετρικό σύστημα, σε σχέση με το Coordinated Universal Time TimeZone και τέσσερις επικέτες που ορίζουν την τοποθεσία σε όρους ονόματος, γεωγραφικού μήκους, γεωγραφικού πλάτους και ονόματος ζώνης ώρας. Δευτερεύον ετικέτα των δεδομένων τοποθεσίας είναι το <modelRotation> που μπορεί να λάβει μόνο ακέραιες τιμές. Επίσης, το ENVI-met παρέχει μια επιλογή περιστροφής που επιτυγχάνει την περιστροφή του μοντέλου αντί του πλέγματος. Η περιστροφή είναι χρήσιμη για την ευθυγράμμιση του κύριου προσανατολισμού του κτιρίου με το πλέγμα, μειώνοντας όσο το δυνατόν περισσότερο τον αριθμό των ακανόνιστων συνόρων.

3. Υποχρεωτικές απαιτήσεις αρχείου εισαγωγής περιοχής 2.5D

Αφού διαβάσει τα μεταδεδομένα, το ENVI-met χρειάζεται τα χαρακτηριστικά και τις υλικές παραμέτρους αυτών που επηρεάζουν το μικροκλίμα της περιοχής. Αυτά τα δεδομένα καταγράφονται στις υπόλοιπες ετικέτες.

```
<buildings2D>
  <zTop type="matrix-data" dataI="10" dataJ="10">
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
    20,20,20,10,10,0,0,0,0,0
    20,20,20,10,10,0,0,0,0,0
    0,0,0,15,15,0,0,0,0,0
    0,0,0,15,15,0,0,0,0,0
  </zTop>
```

Τα χαρακτηριστικά που μπορούν να αποθηκευτούν στις ακόλουθες ετικέτες κατηγοριοποιούνται σε κτίρια, δέντρα, εδάφη και τοπογραφία (dem). Στην υποχρεωτική ενότητα, καθώς και στην προαιρετική ενότητα, ο τύπος αναπαράστασης δεδομένων που χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις αναφέρεται σε δεδομένα μήτρας (matrix-data). Αυτός ο τύπος δεδομένων απεικονίζει ένα 2D raster σε δεδομένα τύπου Matrix που διαχωρίζει τα pixels με κόμματα (Εικόνα). Επεξεργάζεται ως ακολουθία των απεικονιζόμενων πληροφοριών, με αναφορά στον τύπο δεδομένων και τον αριθμό των κελιών και στις δύο οριζόντιες διαστάσεις.

4. Κτίρια_2D ετικέτες

Η ετικέτα <buildings2D> περιέχει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες σχετικά με τα κτίρια σε ένα δισδιάστατο αρχείο INX. Τα κτίρια σε αυτήν τη μορφή δημιουργούνται με εξώθηση του αποτυπώματος τους μέχρι το ύψος τους. Αυτή είναι η πρώτη ετικέτα που χρησιμοποιεί τον τύπο δεδομένων μήτρας περιγράφοντας μια δισδιάστατη αναπαράσταση των χαρακτηριστικών του κτιρίου. Επιπλέον, ένα αναγνωριστικό id εκχωρείται σε κάθε κελί που χρησιμοποιείται για τη συγχώνευση κελιών που περιγράφει κάθε κτίριο. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, το ENVI-met μπορεί να συγκεντρώσει τιμές εξόδου σε επίπεδο κτιρίου. Η ετικέτα του κτιρίου έχει επιπλέον τέσσερις υπο-ετικέτες. Οι ετικέτες αφορούν το ύψος στο κάτω μέρος του κτιρίου και το ύψος στην κορυφή του κτιρίου (<zBottom>, <zTop>). Αυτές οι τιμές σχετίζονται με το DEM, πράγμα που σημαίνει ότι ένα κτίριο με <zBottom> 0 τοποθετείται στην κορυφή του DEM. Οι τιμές αφορούν αριθμούς σε μέτρα και όχι voxel, και πρέπει να είναι ακέραιοι. Το ENVI-met μεταφράζει αυτόματα τα μετρικά αυτά δεδομένα σε voxel, μεταφέροντας τις τιμές όποτε χρειάζεται. Για παράδειγμα, σε ένα απλό τηλεσκοπικό πλέγμα χωρίς συντελεστή επέκτασης, ένα κτίριο με τιμή <zTop> 15 σε ανάλυση αξόνων 2 μέτρων θα καταλάβει 8 voxels. Το ίδιο κτίριο σε ισότιμο πλέγμα θα καταλάβει 8 + 4 voxels. Η ετικέτα (<buildingNR>) περιέχει το αναγνωριστικό που εκχωρείται σε κάθε οικοδομική οντότητα. Κατά το σχεδιασμό του μοντέλου περιοχής στον επεξεργαστή SPACES, αυτό το αναγνωριστικό δημιουργείται αυτόματα με μια προεπιλεγμένη στοιχειώδη σειρά ξεκινώντας από το 1. Κάθε φορά που συμπληρώνεται μια νέα θέση κελιού, η οποία δεν είναι εφάπτομένη σε ένα κτίριο κτιρίου, εκχωρείται ο επόμενος αριθμός ταυτότητας. Ωστόσο, τα διαχωριστικά κελιά μπορούν να ανήκουν στην ίδια οικοδομική οντότητα. Ο μόνος περιορισμός σχετικά με τα αναγνωριστικά είναι ότι πρέπει να είναι ακέραιοι και κάθε κτίριο πρέπει να έχει

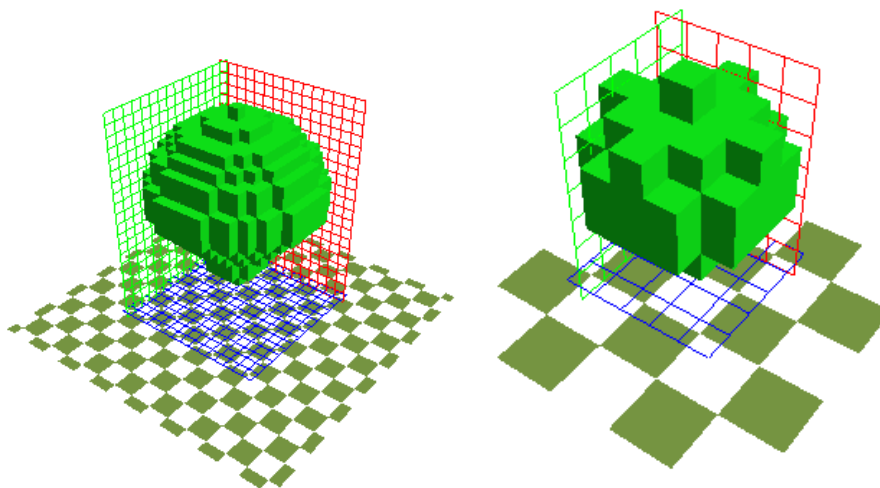
ένα αναγνωριστικό. Τέλος, η ετικέτα <fixedheight> είναι κενός από προεπιλογή σε μοντέλα εισόδου 2,5D περιοχών. Ο ρόλος του δεν έχει ερευνηθεί ακόμη.

5. Απλή φύτευση ετικέτα 2D

Η ετικέτα Simple Plants 2D της κύριας ενότητας χρησιμοποιείται για να απεικονίσει τη βλάστηση ως απλό φυτικό αντικείμενο. Τα απλά φυτά είναι ένα σύνολο κατακόρυφων δεσμευμένων voxels. Ο αριθμός των voxels σχετίζεται με το ύψος του αντικειμένου της βλάστησης. Τα voxels έχουν επίσης παραμέτρους φυλλώματος φυτού όπως albedo, μετάδοση, τύπο φύλλου, πληρότητα φύλλων κ.λπ. Επιπλέον, αλληλεπιδρούν με το μονοδιάστατο πλέγμα (1-D) εδάφους, καθώς περιέχουν παραμέτρους σχετικά με τη ρίζα του φυτού. Τα απλά φυτά είναι η πρώτη και απλούστερη αναπαράσταση της βλάστησης που υλοποιεί το ENVI. Το γρασίδι μπορεί επίσης να μοντελοποιηθεί με αυτόν τον τρόπο. Δεδομένου ότι οι αναπαραστάσεις θα περιλαμβάνουν μόνο μια στήλη, η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη μοντελοποίηση οντοτήτων δέντρων. Για την τοποθέτησή τους στο τρισδιάστατο πλέγμα, ο τύπος δεδομένων μήτρας ενσωματώνεται, με τρόπο παρόμοιο με την ετικέτα 2D κτιρίων. Τα δέντρα αυτού του τύπου προβάλλονται αυτόματα στην κορυφή του DEM, εάν υπάρχει, και δεν μπορούν να επικαλύψουν τα κελιά του κτιρίου. Το ENVI-met δεν μπορεί να χειριστεί επικαλύψεις κτιρίων με 2D δέντρα και επιστρέφει σφάλμα πριν ξεκινήσει η προσομοίωση. Τα απλά δέντρα απεικονίζονται στη μήτρα από τον αντίστοιχο κωδικό χώρου στη βάση δεδομένων.

6. Ετικέτες 3D δέντρων

Η ετικέτα δέντρου 3D χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση αντικειμένων τρισδιάστατων δέντρων στο μοντέλο. Κάθε τρισδιάστατο δέντρο είναι μια ανεξάρτητη οντότητα εμπνευσμένη από ένα πραγματικό είδος δέντρου. Τα τρισδιάστατα δέντρα εφαρμόστηκαν στις νεότερες εκδόσεις του ENVI-met και προσεγγίζουν τη συμπεριφορά δέντρων με μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα απλό φυτό (απλή φύτευση ετικέτα 2D). Τα τρισδιάστατα δέντρα αποθηκεύονται σε μια ενσωματωμένη σχεσιακή βάση δεδομένων που ονομάζεται Albergo, η οποία παρέχει μια δυναμική διεπαφή σχεδιασμού. Ένα τρισδιάστατο δέντρο έχει επίσης μια τιμή ταυτότητας, εστιάζοντας κυρίως σε προσομοιώσεις συμπεριφοράς δέντρου.



Σχήμα 3.3-2: Απεικόνιση πραγματικού είδους δέντρου η Μαύρη λεύκα (*Populus Nigra*, 0000PN) από την εφαρμογή Albero του ENVI-met

7. Ετικέτα 2D εδάφους

Η ετικέτα <Soils2D> χρησιμοποιεί τα δεδομένα μήτρας, συμπεριλαμβάνοντας το υλικό της επιφάνειας, πάνω από το DEM. Διαφορετικοί τύποι εδαφών απεικονίζονται από τον αντίστοιχο κωδικό χώρου από τη βάση δεδομένων και γίνεται εκχώρηση χαρακτηριστικού υλικού σε κάθε κελί (ακόμη και όπου τοποθετούνται κτίρια και βλάστηση) είναι υποχρεωτική. Κατά το σχεδιασμό στο SPACES, το πλέγμα αρχικοποιείται με ένα προεπιλεγμένο προφίλ, το οποίο μπορεί να διαμορφωθεί από τον χρήστη. Η διαφορετική συναρμολόγηση υλικών στο ENVI-met χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό αστικών στοιχείων όπως δρόμους, πεζοδρόμια, υδάτινα σώματα κ.λπ.

8. Ετικέτα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους DEM 2D

Η ετικέτα <dem> καταγράφει τη βασική τιμή ύψους της περιοχής, καθώς και τις διαφορές ύψους, δημιουργώντας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Περιέχει δύο δευτερεύουσες ετικέτες, το <DEMReference> που δέχεται τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές float, καθορίζοντας το ύψος αναφοράς των βασικών voxels του πλέγματος σε μέτρα. Η δεύτερη ετικέτα, το <terrainheight> είναι τύπου δεδομένων μήτρας. Κάθε κενό στο πλέγμα πρέπει να περιέχει μία τιμή, που είναι το σχετικό ύψος με την τιμή <DEMReference>. Αυτές οι τιμές πρέπει να είναι μηδέν ή θετικοί ακέραιοι αριθμοί, και καθορίζονται με τρόπο παρόμοιο με το ύψος του κτιρίου, ενώ αντιστοιχούν σε μετρικές τιμές και όχι σε αριθμό voxels. Το ENVI-met φροντίζει για την πληρότητα σε voxel με ανώτατο όριο αυτήν τη μετρική τιμή. Όταν χρησιμοποιείται το ισότιμο πλέγμα (equidistant grid) με το διαχωρισμένο κάτω voxel μαζί με ένα DEM, ο διαχωρισμός εφαρμόζεται στο κάτω voxel του πλέγματος και δεν ακολουθεί το DEM. Αυτός ο συνδυασμός πρέπει να αποφευχθεί, καθώς χάνεται η ανάλυση των ατμοσφαιρικών παραμέτρων εξόδου.

Προαιρετικές απαιτήσεις για το αρχείο εισαγωγής περιοχής

Αυτή η ενότητα περιγράφει ετικέτες μοντέλου εισαγωγής περιοχής που είναι προαιρετικές για εκτέλεση προσομοιώσεων σε ENVI-met.

1. Πηγές 2D ετικέτα

Αυτή η ενότητα καθορίζει τη θέση των διαφορετικών πηγών στον τομέα του μοντέλου. Χρησιμοποιεί πάλι έναν τύπο δεδομένων μήτρας, παρόμοιος με τη βλάστηση. Εάν υπάρχει πηγή σωματιδίων στην περιοχή, αναφέρεται στο σχετικό κελί του από τον κωδικό χώρου του στη βάση δεδομένων.

2. Ετικέτα δεκτών - Receptors tag

Η έννοια των υποδοχέων επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων για επιλεγμένα σημεία στην περιοχή του μοντέλου με έναν συμπαγή τρόπο χωρίς περιήγηση σε πολλά αρχεία για την εύρεση των απαιτούμενων πληροφοριών μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης. Για κάθε υποδοχέα, δημιουργείται ένα στιγμιότυπο και ένα αρχείο χρονοσειρών. Τα αρχεία στιγμιότυπου περιέχουν τα δεδομένα στον υποδοχέα σε μια δεδομένη στιγμή π.χ. κάθετο προφίλ σε περίπτωση του ατμοσφαιρικού αρχείου. Τα αρχεία χρονοσειρών περιέχουν τα δεδομένα προσομοίωσης στον υποδοχέα για την πλήρη διάρκεια προσομοίωσης.

3. Κτίρια 3D

<Buildings3D> είναι μια ετικέτα που περιέχει όλα τα κελιά που καταλαμβάνουν τα κτίρια. Με λίγα λόγια, τα voxels γράφονται ως (x, y, z, id) πλειάδες όπου x, y, z υποδεικνύει την απόλυτη θέση του κελιού στο πλέγμα, ξεκινώντας από το 0 και το id αναφέρεται στην οικοδομική οντότητα που ανήκει. Τα κελιά ταξινομούνται από προεπιλογή από την τιμή z, y και στη συνέχεια στο x άξονα. Αυτή η αναπαράσταση δεδομένων αναφέρεται στο αρχείο INX ως sparsematrix-3D. Αυτός ο τύπος δεδομένων είναι μια ετικέτα που περιέχει μόνο καταχωρημένα κελιά από τη θέση τους στο τρισδιάστατο πλέγμα ως πλειάδα (πεπερασμένη λίστα στοιχείων), όπου το κάτω αριστερό κελί είναι καταχωρημένο ως 0,0,0.

4. DEM3D

Η ετικέτα <DEM3D> κρατά όλα τα κελιά που καταλαμβάνει το DEM. Χρησιμοποιεί την ίδια αναπαράσταση δεδομένων sparsematrix-3D με την ετικέτα Buildings3D. Ο αριθμός των κελιών που καταλαμβάνεται από το DEM μπορεί να είναι τεράστιος, ειδικά σε μεγάλα πλέγματα, επομένως προτείνεται το ύψος αναφοράς του μοντέλου να συμπίπτει με τη χαμηλότερη τιμή ύψους DEM.

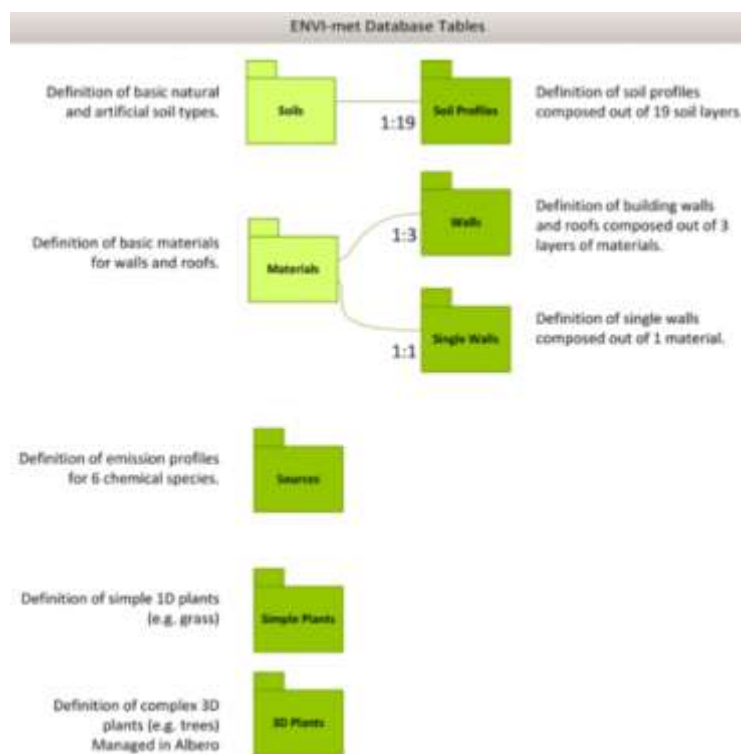
5. WallDB

Η τελευταία ετικέτα του αρχείου INX, το <WallDB> αφορά τα οικοδομικά υλικά πάνω στις προσόψεις των κτιρίων. Τα δομικά υλικά πρέπει να εφαρμόζονται μόνο στην εξωτερική επιφάνεια των κτιρίων (στις προσόψεις που είναι άμεσα ορατές στον τρισδιάστατο επεξεργαστή SPACES). Οι πληροφορίες των υλικών στο αρχείο

εισαγωγής της περιοχής καταχωρούνται σε επίπεδο κελιού, χρησιμοποιώντας έναν σύνδεσμο κωδικού χώρου στη βάση δεδομένων των υλικών. Ομοίως, χρησιμοποιείται η αναπαράσταση του sraematrix-3D και κάθε κελί που περιέχει τουλάχιστον 1 υλικό πρέπει να καταχωρηθεί.

3.3.4. Βάση Δεδομένων λογισμικού ENVI-met

Βασική ιδέα που επιτρέπει το λογισμικό ENVI-met αφορά τη σύνδεση μεταξύ γεωμετρίας και υλικών. Το ENVI-met ενσωματώνει σχεσιακές βάσεις δεδομένων⁷ χειροκίνητων προκατασκευασμένων υλικών που χρησιμοποιούνται στο αρχείο εισαγωγής της περιοχής. Αυτά τα υλικά αφορούν το έδαφος, το νερό, το γρασίδι, το φύλλωμα δέντρων ή τα δομικά υλικά. Είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του ENVI-met, καθώς δίνουν μια ταυτότητα στα δεσμευμένα στοιχεία του πλέγματος. Κάθε υλικό έχει έναν αριθμό χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους, για παράδειγμα μια τιμή albedo ή για δέντρα μια τιμή κατανομής περιοχής φύλλων (LAD). Όλες οι ιδιότητες υλικού αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων. Κάθε χαρακτηριστικό υλικού εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας έναν 6ψήφιο κωδικό χώρου, το οποίο είναι διαφορετικό για κάθε υλικό. Ο χρήστης μπορεί επίσης να εμπλουτίσει τις βάσεις δεδομένων ENVI, σχεδιάζοντας προσαρμοσμένα υλικά. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται αναφορά στην ενημερωμένη βάση δεδομένων ή σε μια βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε από τον χρήστη.



⁷ <https://envi-met.info/doku.php?id=filereference:dbssystem>

Σχήμα 3.3-3: Βάση Δεδομένων του λογισμικού πακέτου ENVI-met

Το σύνολο των θεματικών βάσεων δεδομένων που ενσωματώνει το μοντέλο ENVI-met για την μικροκλιματική μοντελοποίηση και η ανάλυση των παραμέτρων που συνθέτουν τις ιδιότητες των υλικών και της βλάστησης. Ο χρήστης μέσα από τις διάφορες θεματικές βάσεις δεδομένων έχει τη δυνατότητα είτε να επιλέξει μεταξύ των προκαθορισμένων υλικών ή να δημιουργήσει νέα υλικά και ιδιότητες που να ανταποκρίνονται με ακρίβεια στις απαιτήσεις που θέτει η εκάστοτε περιοχή μελέτης στη μικροκλιματική ανάλυση του χώρου.

3.3.5. Απαιτήσεις δεδομένων καιρού και ρυθμίσεων

Το ENVI-met χρειάζεται τις μετεωρολογικές παραμέτρους στα όριά του, ή με άλλα λόγια τις οριακές συνθήκες ώστε να μπορεί να δομήσει το μοντέλο κάθετου καιρού και να ξεκινήσει την αλληλεπίδραση με το μοντέλο τρισδιάστατης περιοχής. Τα απαιτούμενα δεδομένα καιρού αποτελούν τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου κοντά στην επιφάνεια, την κατεύθυνση του ανέμου και την ειδική υγρασία στα 2500 μέτρα από την επιφάνεια. Επιπλέον, απαιτείται ο καθορισμός της ημερομηνίας, ως ημέρα προσομοίωσης του μοντέλου, καθώς και την ώρα έναρξης, τη διάρκεια των προσομοιώσεων και μια τιμή τραχύτητας. Μαζί με το γεωγραφικό πλάτος και μήκος που είναι αποθηκευμένο στο αρχείο εισόδου περιοχής ENVI-met μπορεί να καθορισθεί και η διαδρομή του ήλιου. Οι παράμετροι καιρού καθώς και οι υπόλοιπες ρυθμίσεις μπορούν να επεξεργαστούν εντός του ENVI-met κατά τη διάρκεια της κατασκευής του αρχείου προσομοίωσης.

Οι διαθέσιμες επιλογές για την εισαγωγή των παραμέτρων καιρού είναι τρεις.

1. Η πρώτη, επιτρέπει την επεξεργασία υψηλότερης και χαμηλότερης θερμοκρασίας, ενώ η ταχύτητα του ανέμου και οι τιμές σχετικής υγρασίας είναι σταθερές.
2. Η δεύτερη επιλογή ονομάζεται **Simple Forcing** και ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα γράφημα ωριαίων θερμοκρασιών και τιμών σχετικής υγρασίας που θα εφαρμοστούν στο αρχείο προσομοίωσης.
3. Στην έκδοση του χειμώνα 2019⁸, το ENVI-met παρουσίασε την πιο πρόσφατη και πιο λεπτομερή έκδοση, η οποία επιτρέπει τη δυναμική χειραγώγηση των μετεωρολογικών δεδομένων εισόδου που ονομάζεται **Full Forcing**. Με το Full Forcing ο χρήστης μπορεί να καθορίσει έναν ημερήσιο κύκλο κατακόρυφων οριακών συνθηκών για τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την κατεύθυνση του ανέμου και κατά επιλογή τα στοιχεία ακτινοβολίας. Το πλήρες αρχείο εξαναγκασμού (.fox) είναι ένα κρυπτογραφημένο αρχείο ASCII το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί στο παράθυρο Forcing Manager του ENVI-met, από ένα αρχείο εισαγωγής csv με

⁸ <https://envi-met.info/doku.php?id=apps:updates>

τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων, σε βήμα μισής ώρας. Αυτό το αρχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αρχείο εισόδου δεδομένων καιρού αντί για αποθήκευση παραμέτρων καιρού στο αρχείο προσομοίωσης.

3.3.6. Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης

Το ENVI-met απαιτεί μόνο 1 μορφή αρχείου εισαγωγής (.SIM, αρχείο προσομοίωσης κειμένου) το οποίο είναι ένα, αρχείο κειμένου ASCII που περιλαμβάνει ένα μοντέλο 3D, τις μετεωρολογικές παραμέτρους στα όριά του και πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την προσομοίωση, όπως η διάρκεια αυτής και τη τιμή τραχύτητας κ.λπ. Το ENVIguide αποτελεί ένα από τα νέα χαρακτηριστικά του λογισμικού ENVI-met (Winter Release, 2018), **για την δημιουργία και επεξεργασία των αρχείων προσομοίωσης σε μορφότυπο .SIM**. Τα αρχεία .SIM αποτελούν αρχεία XML και ονομάζονται .SIMX. Στη ροή εργασίας ο χρήστης μέσω του ENVIguide καθορίζει τις αρχικές παραμέτρους της προσομοίωσης, όπως την ημέρα προσομοίωσης, την ώρα έναρξης και την διάρκεια αυτής και το αρχείο εισόδου του μοντέλου σε μορφότυπο .INX που έχει δημιουργήσει σε προηγούμενο βήμα. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ τριών επιπέδων⁹ για τον καθορισμό των παραμέτρων προσομοίωσης.

1. **Beginner:** Το Αρχάριο Επίπεδο καθοδηγεί στην περαιτέρω διαδικασία θέτοντας ερωτήσεις σχετικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες της προσομοίωσής. Αυτή η διαδικασία καθιστά πολύ εύκολη και γρήγορη την δημιουργία αρχείου προσομοίωσης για την έναρξη αυτής. Ανάλογα με τις προδιαγραφές για τις μετεωρολογικές συνθήκες, θα δημιουργηθεί η βασική πλευρική οριακή κατάσταση της προσομοίωσης (Simple Forcing, basic Lateral Boundary Condition).
2. **Intermediate:** Το Ενδιάμεσο Επίπεδο προσφέρει μερικές ακόμη επιλογές που μπορούν να καθοριστούν στο αρχείο προσομοίωσης αξιολογώντας αν θα εφαρμοστεί μια απλή ή πλήρη ισχύ (Simple ή Full Forcing) στην προσομοίωσή και ανάλογα προσδιορίζονται οι ρυθμίσεις εδάφους, ρύπων και σύννεφων. Συνιστάται να προσαρμόζονται αυτές τις ρυθμίσεις μόνο εάν έχετε ένα συγκεκριμένο υπόβαθρο σχετικά με τη σημασία αυτών των παραμέτρων και την ορθότητα των τιμών τους. Τέτοιες ρυθμίσεις αφορούν το έδαφος, τους ρύπους, τα σύννεφα.
3. **Advanced:** Το Προχωρημένο Επίπεδο καθιστά δυνατή την προσαρμογή όλων των επιλογών που μπορούν να ρυθμιστούν στην προσομοίωση. Δεδομένου ότι αυτές είναι σύνθετες επιλογές, είναι σκόπιμος ο καθορισμός της ορθότητας των παραμέτρων και των τιμών. Παραδείγματα αφορούν: Συγκέντρωση ρύπων, Κτίριο εσωτερικής θερμοκρασίας, Indexed View Sphere (IVS), Πλευρικές οριακές συνθήκες, Εξαγωγή αρχείων εξόδου netCDF, nesting grids ή αρχεία εξόδου BPS κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης, εκπομπή CO₂ από βλάστηση, Χρονικό βήμα προσομοίωσης, Συντελεστής ηλιακής ρύθμισης, Ενημέρωση χρονισμού.

⁹ <https://envi-met.info/doku.php?id=apps:enviguide>

3.3.7. Αρχεία εξόδου προσομοίωσης

Η προσομοίωση ENVI-met δημιουργεί αρχεία ωριαίων δεδομένων που είναι οργανωμένα σε διαφορετικά αρχεία και φακέλους. Το μέγεθος των αρχείων εξόδου προσομοίωσης για μεγάλα μοντέλα (250, 250, 40) και για έναν κύκλο προσομοίωσης 24 ωρών μπορεί να υπερβαίνει τα 100Gb χώρου. Γενικά, υπάρχουν δύο τύποι παραγόμενων αρχείων εξόδου. Πρώτον, ζεύγη μεταδεδομένων και δεδομένων κωδικοποιημένων σε XML που αποθηκεύονται σε δυαδικά αρχεία EDX, EDT και δεύτερον πρόσθετα δεδομένα σε μορφή ASCII. Τα ζεύγη ED χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση παραμέτρων που βασίζονται σε voxel και χρησιμοποιούνται στους φακέλους Atmosphere and Soils, ενώ τα αρχεία εξόδου ASCII ενσωματώνονται για την αποθήκευση συγκεντρωτικών δεδομένων σε αντικείμενα όπως κτίρια ή τρισδιάστατα δέντρα. Η ακόλουθη λίστα συνοψίζει το περιεχόμενο των φακέλων που παράγονται με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης και αφορούν την Ατμόσφαιρα, κτίρια, εισροή, ρύποι, ακτινοβολία, υποδοχείς, χώμα, ηλιακή πρόσβαση, επιφάνεια, βλάστηση). Τα αρχεία εξόδου μπορούν να οπτικοποιηθούν, τόσο σε δισδιάστατη όσο και σε τρισδιάστατη προβολή, από το λογισμικό Leonardo, το οποίο διανέμεται μαζί με το ENVI-met.

4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

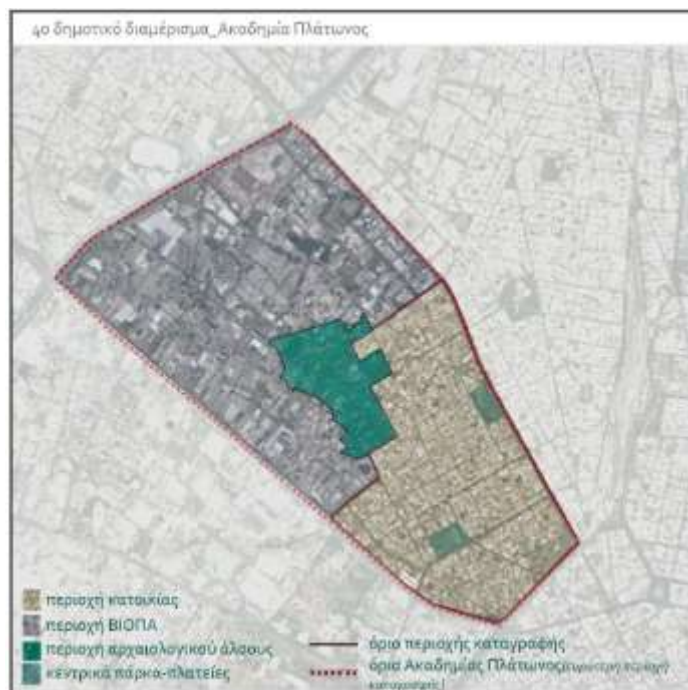
4.1. ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΠΛΑΤΩΝΟΣ

Η γειτονιά Ακαδημίας Πλάτωνος ανήκει στο 4^ο Δημοτικό Διαμέρισμα του Δ. Αθηναίων και έχει έκταση περίπου 615 στρ. Η Ακαδημία Πλάτωνος σαν περιοχή ορίζεται από τις Εθνικές Οδούς Αθηνών – Λαμίας (Κηφισός) και Αθηνών–Κορίνθου (Λ. Καβάλας ή Λ. Αθηνών), τις σιδηροδρομικές γραμμές (Κωνσταντινουπόλεως) και τη Λεωφόρο Λένορμαν. Η περιοχή μοιάζει αποκομμένη λόγω των μεγάλων λεωφόρων και των γραμμών τρένου. Πρόκειται για μία πυκνοδομημένη γειτονιά του κέντρου της Αθήνας, η οποία προς τα ανατολικά συνορεύει με τις γειτονίες του Κολωνού και του Μεταξουργείου, ενώ προς τα δυτικά με την βιομηχανική περιοχή του Ελαιώνα. Η ευρύτερη περιοχή της Ακαδημίας Πλάτωνος περιλαμβάνει και μία περιοχή μεταξύ της γειτονιάς και της περιοχής Ελαιώνα των Δήμων Αθηναίων και Περιστερίου, η οποία σύμφωνα με το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο του Δήμου Αθηναίων δεν είναι «γειτονιά», καθώς προσδιορίζεται ως Βιοτεχνικό Πάρκο (ΒΙΟΠΑ) με έκταση περίπου 395 στρ. Προς τα νότια βρίσκονται οι μικτές περιοχές κατοικίας με μεγάλη ιστορία, προς τα βόρεια το βιοτεχνικό πάρκο, ενώ ανάμεσα τους σαν συνδεδετικός κρίκος υπάρχει το Αρχαιολογικό Άλσος. Βάσει της απογραφής του 2011 από την ΕΛ.ΣΤΑΤ. ο συνολικός πληθυσμός της περιοχής ανέρχεται στους 17.000 κατοίκους.

Το όνομα της το πήρε από το πρώτο πανεπιστήμιο του κόσμου, την Ακαδημία Πλάτωνος, έναν από τους φωτεινότερους χώρους πνεύματος ιστορικά. Πρόκειται για την γνωστότατη σχολή του φιλόσοφου Πλάτωνος, η οποία βρισκόταν επί 900 περίπου χρόνια στο ίδιο σημείο που βρίσκεται τώρα. Η Ακαδημία στην αρχαιότητα πήρε το όνομα της από τον τοπικό ήρωα Ακάδημο, που θεωρούνταν στην αρχαιότητα ο πρώτος οικιστής της περιοχής. Στα αρχαία χρόνια η Ακαδημία Πλάτωνος αποτελούσε προάστιο της πόλης των Αθηνών.

Η καρδιά της είναι το αρχαιολογικό πάρκο της Ακαδημίας Πλάτωνος. Πρόκειται για έναν χώρο προσεγμένο και περιφραγμένο, προσβάσιμο στο κοινό ως χώρο αναψυχής. Εκεί αναπτύσσεται ένα άλσος: δέντρα, θάμνοι, χώροι πράσινου αλλά και χώροι άθλησης και παιχνιδιού. Το Αρχαιολογικό Άλσος διαθέτει έκταση ίση με 150 στρέμματα και οριοθετείται από τις οδούς Αλεξανδρείας, Φάωνος και Πλάτωνος. Η έκταση του Άλσους καλύπτει ένα μεγάλο και κεντρικό κομμάτι της περιοχής και λόγω της θέσης του αποτελεί το μέσο σύνδεσης ή διαχωρισμού της περιοχής ανατολικά του πάρκου, η οποία παρουσιάζει πυκνή δόμηση κατοικιών, με την απέναντι πλευρά όπου κυριαρχούν μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και αδόμητα οικοπέδα. Μέσα στο αστικό πλέγμα των τριών βασικών υποπεριοχών (Περιοχή κατοικίας,

Περιοχή Βιομηχανικού πάρκου, Αρχαιολογικό άλσος, βλ. **Εικόνα 4.1-1**) εμφανίζονται επίσης διάσπαρτα κοινόχρηστοι χώροι.



Σχήμα 4.1-1: Όρια Ακαδημία Πλάτωνος

Στην σημερινή Αθήνα, η Ακαδημία Πλάτωνος τείνει να είναι μια υποβαθμισμένη περιοχή, με αδυναμίες και προβλήματα προς επίλυση, όπως της πρόσβασης, των υποδομών, του καθορισμού χρήσεων γης και της διαχείρισής της, της καθαριότητας, της προστασίας και ανάδειξης του αρχαιολογικού πάρκου, της συντήρησης των αρχαιολογικών ευρημάτων του χώρου, του πρασίνου, της δημόσιας υγείας και ασφάλειας, της ποιότητας ζωής.

Το νέο Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθήνα/Αττική 2021, χαρακτηρίζει την περιοχή ως «υπερτοπικό πόλο πολιτισμού», δηλαδή έχει ως στόχο την τουριστική και οικονομική ανάπτυξη της περιοχής, «ξεχνώντας» την ιστορικότητα του τόπου.

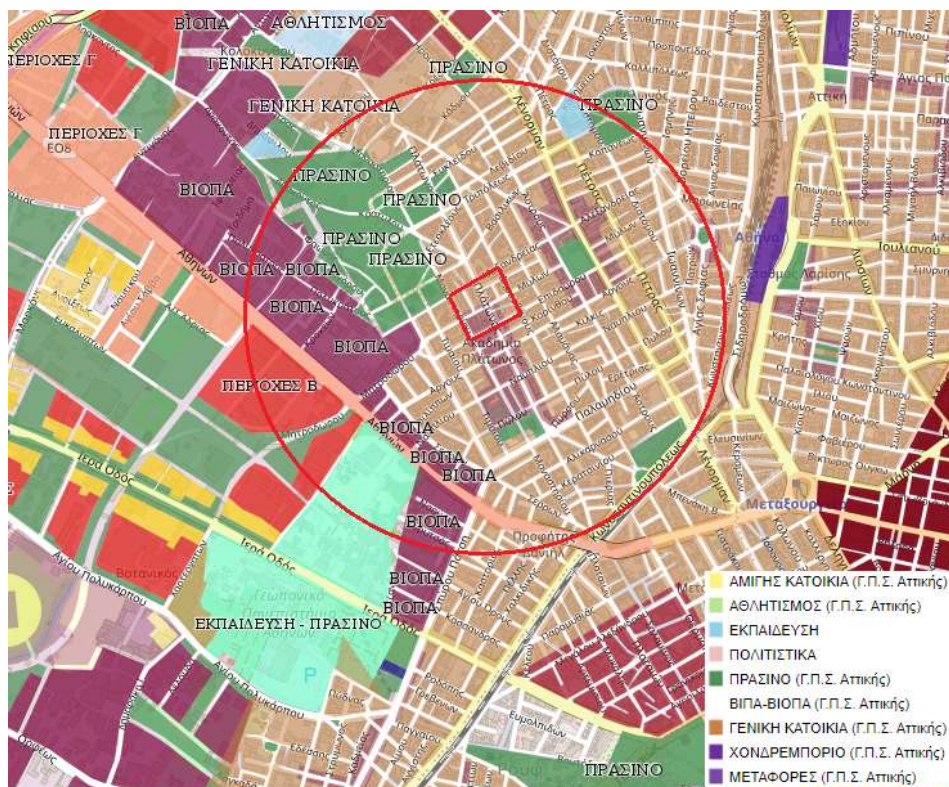
4.1.1. Χαρακτήρας της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Παρόλο που η απόστασή της περιοχής της Ακαδημίας Πλάτωνος από το κέντρο είναι ίδια με άλλες γειτονιές (βλ. Νεάπολη), η ανάπτυξη και εξέλιξη της περιοχής είχε παραμείνει περισσότερο στάσιμη, γεγονός που σήμερα μοιάζει να ανατρέπεται. Η ένταξη στο Σχέδιο Πόλης το 1887 και το 1893 των περιοχών του Μεταξουργείου και του Κεραμεικού, παρέσυρε την ένταξη και ενός τμήματος της Ακαδημίας Πλάτωνος (μέχρι Λένορμαν - Παλαμηδίου, μεταξύ Λένορμαν - Τηλεφάνους - Μαραθωνομάχων και Παλαμηδίου). Επιπρόσθετα, η εξέλιξη της εργατικής γειτονιάς του Μεταξουργείου

επηρέασε και αυτή την περιοχή. Υπάρχει μια συνεργασία όσον αφορά την βιοτεχνική – βιομηχανική ανάπτυξη αυτής της ζώνης. Οι βιοτεχνικές χρήσεις (αγγειοπλαστική, ορειχαλκουργεία, ελαιοτριβεία, επιπλοποιεία) κυριάρχησαν, με αντίστοιχη διαμόρφωση και της σύστασης του πληθυσμού ως το εργατικό δυναμικό της περιοχής σε μια εργατική χαμηλο-εισοδηματική τάξη. Παρόμοια με το Μεταξουργείο το κτιριακό απόθεμα της περιοχής αποτελείται από βιοτεχνικά κελύφη, αποθήκες και λαϊκά σπίτια, ενώ παρατηρείται ανοικοδόμηση σπιτιών μέχρι τον μεσοπόλεμο.

Σημαντικό σημείο στην όλη ιστορία εξέλιξης της περιοχής αποτελεί η ύπαρξη του αρχαιολογικού χώρου πρασίνου της Ακαδημίας του Πλάτωνα εντός των ορίων της. Οι πολλαπλές ανασκαφές στην ευρύτερη γειτονιά φέρνουν στην επιφάνεια ευρήματα διαφόρων περιόδων, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η ανοικοδόμησή της μετά τον μεσοπόλεμο. Έτσι κάποιες φτηνές πολυκατοικίες κάνουν την εμφάνισή τους μετά το 80'. Σήμερα, όσον αφορά τα αρχαία ευρήματα η κατάσταση αυτή μοιάζει να διευθετείται με την επανεκτίμηση αυτών από την αρχαιολογία πράγμα που εξηγεί την σημερινή μεγάλη ανοικοδόμηση σε συνδυασμό με τον μεγάλο συντελεστή που ισχύει στην περιοχή.

Η επιλογή της Ακαδημίας Πλάτωνος, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον προς μελέτη, ως προς την διαμορφούμενη φυσιογνωμία της γειτονιάς καθώς αποτελεί μια οργανική οικιστική ενότητα, στην οποία εντοπίζεται έντονη μίξη χρήσεων κατοικίας, εμπορίου, υπηρεσιών, συνεργείων, μεταποιητικών δραστηριοτήτων και εργαστηρίων χαμηλής όχλησης. Μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες χτίζουν στην ευρύτερη περιοχή, μεγάλα συγκροτήματα με χρήσεις διοικητικές και εμπορικές χρήσεις (ΓΕΚ, Χρηματιστήριο, Δικαστήρια, Ασφάλεια) αντικαθιστώντας τις βιοτεχνικές και βιομηχανικές δραστηριότητες (παρόλο που χαρακτηρίστηκε ως ΒΙ.Ο.ΠΑ). Επί της λεωφόρου Αθηνών κυριαρχούν το χονδρεμπόριο και οι υπηρεσίες στα ισόγεια και οι χρήσεις γραφείων στους ορόφους. Στην αρχή της λεωφόρου και απέναντι από την ανισόπεδη διασταύρωση με τις σιδηροδρομικές γραμμές η περιοχή είναι έντονα υποβαθμισμένη και συγκεντρώνονται δραστηριότητες που αφορούν οχήματα (συνεργεία, εμπόριο ανταλλακτικών, αγοραπωλησίες και ενοικίαση ταξί). Οι χρήσεις αυτές έχουν χωροθετηθεί σε περιοχές με παλαιότερα κτίρια, ευκολότερη στάθμευση, πλατύτερους δρόμους και άμεση πρόσβαση σε μεγάλους οδικούς άξονες.



Σχήμα 4.1-2: Χάρτης υφιστάμενων χρήσεων γης της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης (Πηγή: <http://msa.ypeka.gr>)

Ταυτόχρονα από την άλλη πλευρά του αρχαιολογικού χώρου - πάρκου, στην περιοχή **γενικής κατοικίας η ανοικοδόμηση γίνεται, κυρίως με το σύστημα της αντιπαροχής**. Τα παλιά χαμηλά σπίτια με τις αυλές, η ενεργή λειτουργία του δρόμου, τα κενά οικόπεδα αντικαθίστανται από νέες πολυκατοικίες. Το πάρκο χρησιμεύει κυρίως ως φράγμα μεταξύ των βιομηχανικών χρήσεων και της περιοχής γενικής κατοικίας, και ταυτόχρονα αποτελεί ευνοϊκή συνθήκη για καλή ποιότητα κατοίκησης, γύρω από αυτό. Ο πληθυσμός σήμερα αποτελείται από μικρομεσαία στρώματα και από οικονομικούς μετανάστες.

Οι αξίες γης και κατοικίας στην ήδη υπάρχουσα περιοχή κατοικίας έχουν ανέβει, λόγω της ένταξης της περιοχής στο Πρόγραμμα Ενοποίησης Αρχαιολογικών Χώρων της Αθήνας. Το πρόγραμμα αυτό προβλέπει την ενοποίηση του αρχαιολογικού χώρου του Κεραμεικού μέσω του Δίπυλου και του Δημόσιου Σήματος με τον αρχαιολογικό χώρο της Ακ. Πλάτωνος.

4.1.2. Πολεοδομική Μελέτη

Πολεοδομικά οι αδυναμίες που συγκεντρώνει η ευρύτερη περιοχή της Ακαδημίας Πλάτωνος αφορούν τις παρακάτω:

- i. Απουσία οργανωμένου δικτύου κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών και έλλειψη τεχνικών υποδομών: Αδιάνοιχτες οδοί και κατά συνέπεια σημαντικές ελλείψεις

σε δίκτυα κοινής ωφέλειας. Έλλειψη ιεραρχημένου οδικού δικτύου με αποτέλεσμα τη διαμπερή κυκλοφορία βαρέων οχημάτων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, λόγω αφενός των εγκατεστημένων στην περιοχή δραστηριοτήτων (βιοτεχνιών, βιομηχανιών, χώρων αποθήκευσης και στάθμευσης) και λόγω της γειννίασης της περιοχής με τα ΚΤΕΛ Κηφισού. Η προαναφερόμενη έλλειψη οργάνωσης της κυκλοφορίας σε συνδυασμό με το μικρό εύρος οδών και αντίστοιχα πεζοδρομίων, περιορίζουν τις δυνατότητες κυκλοφορίας πεζών, ειδικότερα σε περιοχές όπου εντείνεται η δόμηση και η πυκνότητα κατοίκησης.

- ii. Απουσία λειτουργικής συνοχής και οργάνωσης του αστικού ιστού: Γειννίαση κατοικιών με οχλούσες δραστηριότητες, ασαφής οριοθέτηση μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών χώρων, δυσχερής πρόσβαση στους υφιστάμενους χώρους εκπαίδευσης, έλλειψη πολεοδομικής δομής γειτονιάς με ανάλογη κατανομή ελεύθερων χώρων και κοινωνικού εξοπλισμού, περιοχές με έντονα στοιχεία υποβάθμισης του δομημένου περιβάλλοντος. Γενικότερα τα χαρακτηριστικά της περιοχής προσιδιάζουν με αυτά των εκτός σχεδίου περιοχών παρά με αυτά των αστικών περιοχών.
- iii. Αδυναμία ολοκληρωμένης ανάδειξης του Αρχαιολογικού Άλλοι: Εμπόδια στην υλοποίηση του ρυμοτομικού σχεδίου λόγω ασυμβατότητάς του με το όριο του Άλλοι. Μη σαφής οριοθέτηση του Άλλοι από οικοδομήσιμους χώρους. Έλλειψη οργανωμένου δικτύου πρόσβασης προς το Άλλοι και γύρω από αυτό, δίκτυο που αφορά κυρίως τους πεζούς αλλά και επίσης και τις δημόσιες συγκοινωνίες και τα λοιπά οχήματα.

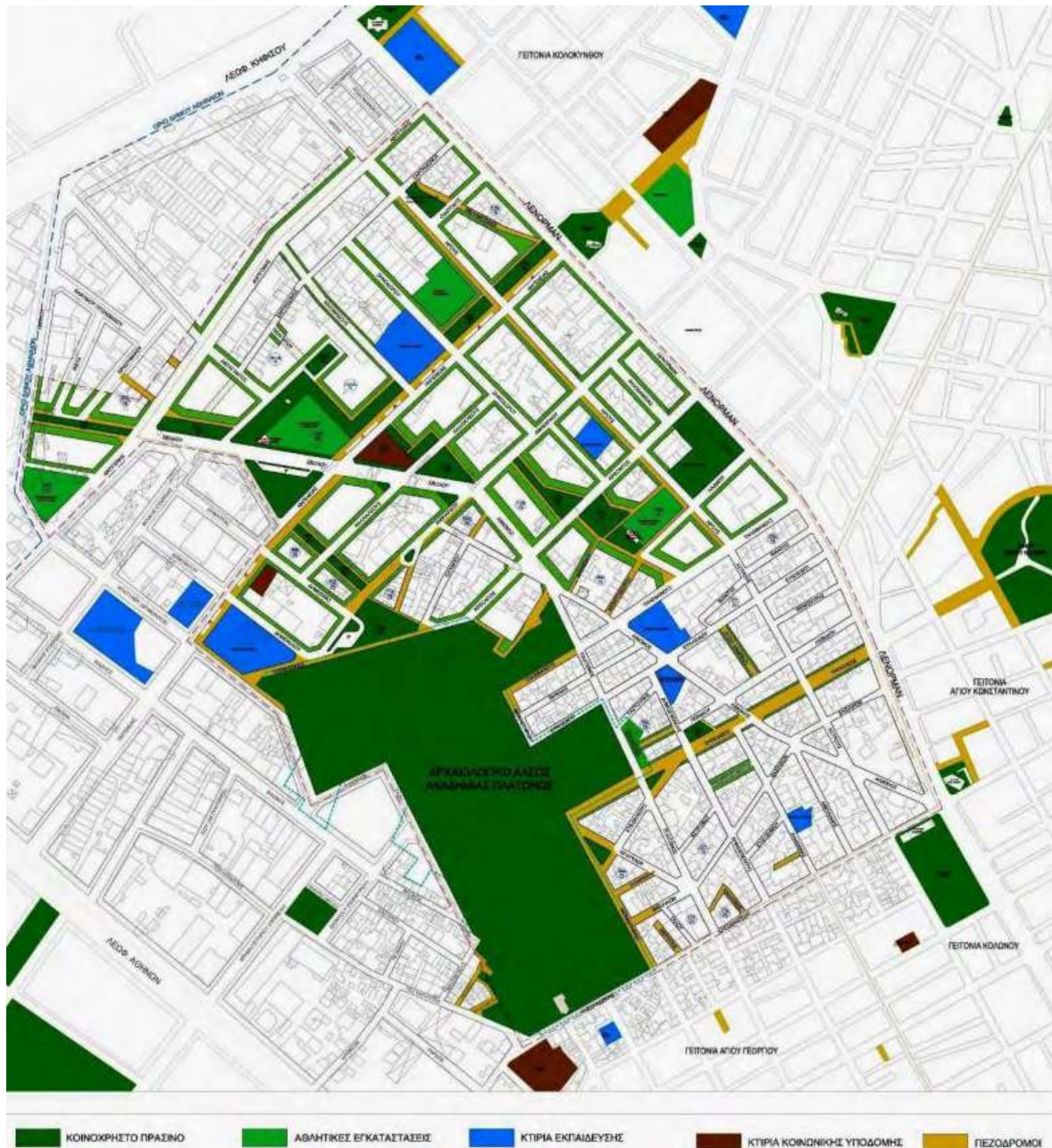
Το 2005 το Δημοτικό Συμβούλιο είχε εγκρίνει την σύνταξη πολεοδομικής μελέτης για την περιοχή της: Ακαδημίας Πλάτωνος από την Εταιρεία Ενοποίησης Αρχαιολογικών Χώρων (Ε.Α.Χ.Α Α.Ε.), η οποία όμως τελικά δεν εκπονήθηκε. Τελικά, στο Τεχνικό Πρόγραμμα του Δήμου Αθηναίων του 2009, εντάχθηκε η Πολεοδομική Μελέτη της Ακαδημίας Πλάτωνος και η εκπόνηση της αναλήφθηκε από τη Διεύθυνση Σχεδίου Πόλεως. Η συγκεκριμένη μελέτη ξεκίνησε το 2009 με την πρώτη φάση που ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε δημόσια διαβούλευση και η μελέτη προχώρησε στη δεύτερη φάση της, η οποία ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβριο του 2010. Η Β' Φάση της μελέτης απορρίφθηκε από την 4η Δημοτική Κοινότητα διότι «αντίκειται στις μέχρι τώρα αποφάσεις της 4ης Δημοτικής Κοινότητας και στις έως τώρα διαβουλεύσεις - προτάσεις όλων των τοπικών φορέων». Έτσι τροποποιήσεις της μελέτης έγιναν με βασικό άξονα αυτό της νέας πρότασης και τον περιορισμό των επιφανειών που διατίθενται για κίνηση και στάση των οχημάτων και αντίστοιχη αύξηση των χώρων κοινοχρήστου πρασίνου και των χώρων κίνησης πεζών. Το έργο αυτό θα αποτελέσει πιλοτικό πρόγραμμα Δήμου Αθηναίων για την αναβάθμιση της γειτονιάς με διαδικασίες bottom-up. Η Μελέτη Πολεοδομικού Ανασχεδιασμού βρίσκεται στη Γ' ΦΑΣΗ και δεν έχει ολοκληρωθεί.

Ωστόσο, οι δύο βασικοί στόχοι της πολεοδομικής μελέτης για την αντιμετώπιση των αδυναμιών που συγκεντρώνει η περιοχή είναι :

- a) η επανεξέταση των όρων δόμησης που ισχύουν και
- b) η επανεξέταση του ισχύοντος ρυμοτομικού σχεδίου με επανακαθορισμό πλάτους οδών, καθορισμό τμημάτων του οδικού δικτύου που προορίζονται αποκλειστικά για πεζούς ή ποδήλατα και για οχήματα, καθορισμό ελεύθερων ιδιωτικών χώρων (προκήπια και στοές), καθορισμό κοινόχρηστων χώρων, χώρων υπαίθριων αθλητικών εγκαταστάσεων και χώρων για εγκαταστάσεις κοινωνικής πρόνοιας και εκπαίδευσης.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων τέθηκαν οι παρακάτω αρχές σχεδιασμού:

- i. Ανάδειξη και προστασία του Αρχαιολογικού Άλλοι σε σχέση με την πόλη που το περιβάλλει και δημιουργία προϋποθέσεων για την ένταξη του Άλλοι στην λειτουργία της γειτονιάς και της πόλης
- ii. Αξιοποίηση των ευκαιριών που δίνουν τα σημερινά χαρακτηριστικά της περιοχής για την δημιουργία μιας πρότυπης πολεοδομικής ενότητας από άποψη κοινωνικού εξοπλισμού, ελεύθερων χώρων, κυκλοφορίας, χρήσεων γης και δόμησης.
- iii. **Δημιουργία «διαδρομών» σύνδεσης, που αφορούν κυρίως πεζούς και ποδηλάτες, με σημαντικούς δημόσιους χώρους, πόλους κοινωνικής δραστηριότητας και συγκοινωνιακές εξυπηρετήσεις.**
- iv. **Βελτίωση του μικροκλίματος και της βιοκλιματικής συμπεριφοράς της περιοχής μελέτης με αύξηση των ελεύθερων χώρων πρασίνου, δημόσιων και ιδιωτικών, μείωση της επιφάνειας αμιγούς χρήσης οχημάτων.**
- v. Απομάκρυνση - αποθάρρυνση χρήσεων που επηρεάζουν αρνητικά την αναβάθμιση της περιοχής και προσέλκυση χρήσεων συμβατών με την ιστορικότητα της.



Σχήμα 4.1-3: Δίκτυο θεσμοθετημένων κοινόχρηστων και κοινωφελών χώρων (Πηγή: Β' Φάση Μελέτης Πολεοδομικού Ανασχεδιασμού γειτονιάς Ακαδημίας Πλάτωνος, Διεύθυνση Σχεδίου Πόλεως Δ. Αθηναίων, Σεπτέμβριος 2010)

4.2. ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της θερμικής άνεσης των κατοίκων στη γειτονιά της Ακαδημίας Πλάτωνος, συνοικία των δυτικών παρυφών της Αθήνας. Στόχος της μικροκλιματικής μελέτης εφαρμογής είναι αφενός η ανάπλαση των κεντρικών περιοχών, αφετέρου η ενίσχυση της ήδη υπάρχον κατοίκησης στο κέντρο με βιώσιμο τρόπο απέναντι στην αστική διάχυση.

Η περιοχή εφαρμογής που επιλέχθηκε για τη μελέτη αφορά σε έναν οργανωμένο θύλακα κατοικίας εντός της γειτονίας της Ακαδημίας Πλάτωνος που γειτνιάζει με το άλσος της Ακαδημίας. Στο παρακάτω Σχήμα φαίνονται τα όρια της περιοχής μελέτης όπου έγινε η μικροκλιματική μελέτη. Η περιοχή περικλείεται από τους δρόμους Αλεξανδρείας, Μοναστηριού, Επιδαύρου, Αλαμάνας ενώ σε μια ζώνη επιρροής 500μ εμφανίζονται οι πλησιέστεροι χώροι πρασίνου στη περιοχή.



Σχήμα 4.2-1: Περιοχή μελέτης εφαρμογής της μικροκλιματικής μελέτης στην Ακαδημία Πλάτωνος (Φωτογραφίες, Παράρτημα I)



Σχήμα 4.2-2: Τρισδιάστατη όψη της περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Earth)

Στην Ακαδημία Πλάτωνος ο Σ.Δ είναι 3 και είναι από τους υψηλότερους που συναντώνται σε περιοχές κατοικίας σήμερα. Το μέγιστο ύψος μπορεί να φτάσει τα 27μ, δημιουργώντας δυσμενή συνθήκες μη βιώσιμων σχέσεων χτισμένου και

άχτιστου χώρου. Τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης που επιλέχθηκε για την μικροκλιματική ανάλυση είναι το έντονο δομημένο ανάγλυφο αυτής με όγκους που φτάνουν έως και τα 27μ., αλλά και η αισθητή απουσία βλάστησης τόσο στους κεντρικούς δρόμους (Αλεξανδρείας, Πλάτωνος, Μύλων, Αλαμάνας) όσο και στους παράδρομους αυτών (Μερόπης, Ζάρκου, Κυρηνείας, Καλλικρατίδου). Το πλάτος των δρόμων ποικίλει μεταξύ των οδών Πλάτωνος (8μ), Μύλων (6.5-7μ), Επιδαύρου (6μ), Μερόπης (5μ), Κυρηνείας, Καλλικρατίδου (2.5-3μ), ενώ μαζί με τη πυκνή δόμηση της περιοχής δημιουργούνται γεωμετρικά χαρακτηριστικά τέτοια προκαλώντας το φαινόμενο της Αστικής Χαράδρας (βλ. **Σχήμα 4.2-3**). Οι δρόμοι αποτελούν πηγή ρύπανσης για το περιβάλλον, τόσο λόγω των καυσαερίων από την καύση των μηχανών των αυτοκινήτων, όσο λόγω του ότι αποτελούν πηγή μη επιθυμητού θορύβου, με αποτέλεσμα, η συμφόρηση που δημιουργεί να υποβαθμίζει τις συνθήκες μετακίνησης, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής. Ωστόσο, η μελέτη περίπτωσης της εν λόγω εργασίας δεν συμπεριλαμβάνει στη προσομοίωση πηγές ρύπανσης λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων δυνατοτήτων της έκδοσης LITE του ENVI-MET.



Σχήμα 4.2-3: Φαινόμενο Αστικής Χαράδρας στη περιοχή μελέτης (Πηγή: Google Earth)

Επιπλέον, όσον αφορά τα στοιχεία αστικής μορφολογίας, στην Ακαδημία Πλάτωνος η καθ' ύψος υποχώρηση είναι περίπου ένα μέτρο. Στη **Σχήμα 4.2-4** ο κύριος όγκος υποχωρεί καθ' ύψος άλλες τρεις φορές, δημιουργώντας αντίστοιχα ρετιρέ. Ο μπροστινός ακάλυπτος πληρώνεται με εξώστες συνεχείς και διακοπτόμενους, με χτιστό στηθαιό. Στο εσωτερικό το κτίριο εξαντλεί την απαιτούμενη απόσταση Δ, και αναπτύσσεται κατακόρυφα, χωρίς περαιτέρω ογκοπλασία. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει ένας πολύ στενός χώρος. Με μια εγκάρσια τομή στο οικοδομικό τετράγωνο αποκαλύπτεται η κλίμακα του χτισμένου όγκου σε σχέση με τον δρόμο και με τον εσωτερικό ακάλυπτο.

Παρατηρούμε πως στην περίπτωση της Ακ. Πλάτωνος, η σχέση του ακάλυπτου χώρου και του κτιριακού όγκου που τον ορίζει, είναι πολύ δυσμενής. Το ύψος του κτιρίου φτάνει τα 25μ. ενώ το πλάτος του ελεύθερου χώρου είναι 6μ. Τα μεγέθη αυτά είναι προφανές πως καθιστούν τον ακάλυπτο σκοτεινό και μη οικειοποιήσιμο. Είναι επίσης προφανές πως δύσκολα ένας αρχιτεκτονικός χειρισμός, είτε της όψης, είτε του ίδιου του ακάλυπτου, θα κατάφερνε να αναιρέσει αυτή την κατάσταση. Ταυτόχρονα η ποιότητα του ίδιου του κτιρίου καθώς και των διαμερισμάτων υπονομεύονται εξαρχής.



Σχήμα 4.2-4: Χαρακτηριστικό παράδειγμα πολυκατοικίας με καθ' ύψος υποχώρηση (σκίσιμο τομής)

4.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET V.4.4.5

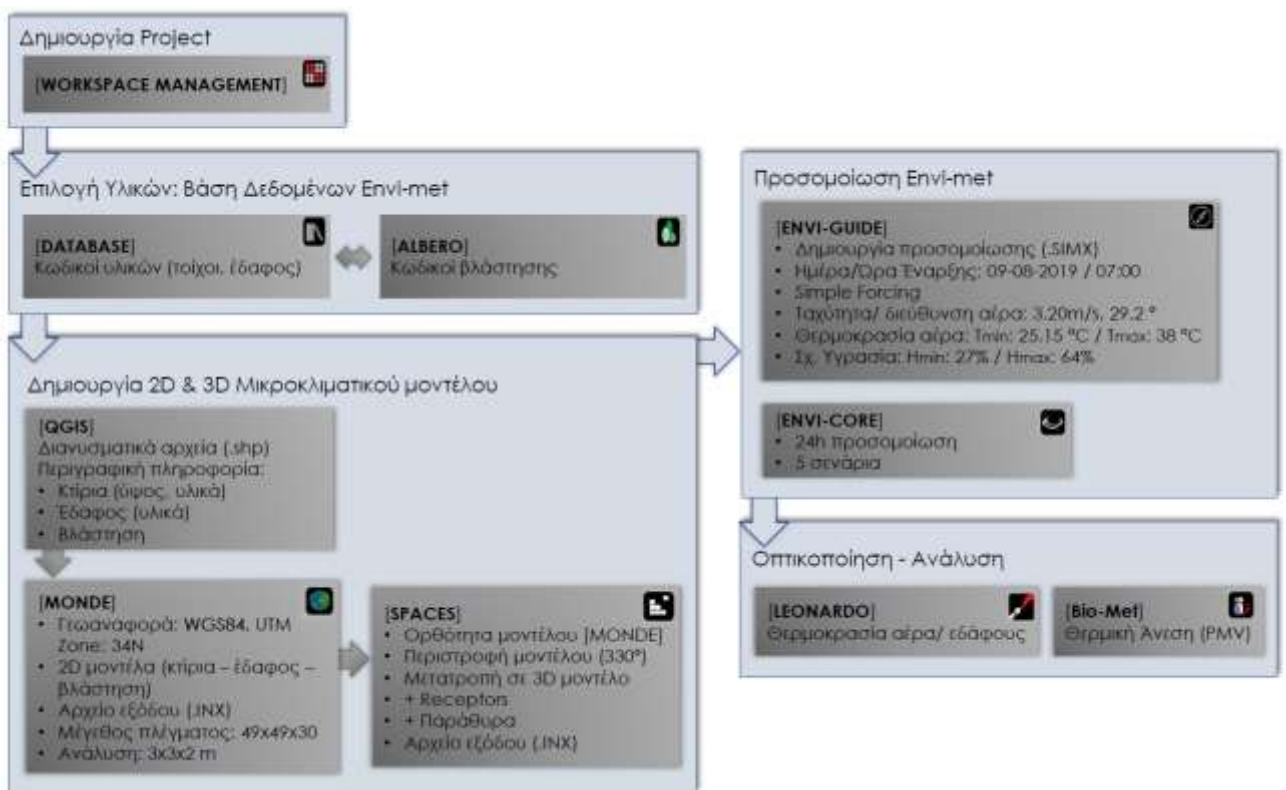
Για την προσομοίωση του μικροκλίματος επιλέχθηκε το λογισμικό ENVI-met, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμο και ηλιακή ακτινοβολία) και τις αλληλεπιδράσεις αυτών με τα στοιχεία του δομημένου περιβάλλοντος (κτίρια, δρόμοι κα) και τη βλάστηση. Ο σχεδιασμός της περιοχής μελέτης έγινε, σε αρχικό στάδιο, στο Qgis ενώ στη συνέχεια για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και τη πραγματοποίηση της προσομοίωσης, έγινε στο λογισμικό ENVI-met v4.4.5 LITE. Σημαντικό είναι η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των διαθέσιμων δυνατοτήτων του προγράμματος προσομοίωσης σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να στηρίζονται σε όσο το δυνατόν πιο πραγματικά δεδομένα.

Η περιοχή που επιλέχθηκε για την μελέτη αστικού μικροκλίματος όπως αναλύθηκε βρίσκεται στην Ακαδημία Πλάτωνος και ως κλίμακα μελέτης ορίζεται το κάθε ένα κτίριο του οικοδομικού τετραγώνου (ΟΤ) μαζί με τα γειτονικά του κτίρια. Τα γειτονικά κτίρια λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση μικροκλίματος λόγω της επίδρασης τους στα απέναντί κτίρια, που κάνει λόγω η μελέτη. Αυτό γιατί η ύπαρξη ή μη δομημένου όγκου ως εμπόδιο, επιδρά ανάλογα και στην σκίαση, την θερμοκρασία, τη ροή του ανέμου, που όλα αυτά επιδρούν όπως αναλύεται παραπάνω (Κεφάλαιο 1 και 2) στις συνθήκες άνεσης του ατόμου στο αστικό χώρο.

Η περιοχή εμφανίζει επίσης πυκνό δομημένο σύστημα με ελάχιστους χώρους πρασίνου και δίνει τη δυνατότητα επέμβασης στο χώρο για την βελτίωση των συνθηκών μικροκλίματος. Συνεπώς, η μελέτη βασίζεται στην ανάλυση των αστικών

παραμέτρων μικροκλίματος και της επίδρασης τους στις συνθήκες άνεσης των ατόμων στο χώρο αυτό. Ενώ στόχος αποτελεί η βελτίωση του μικροκλίματος, σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου, μέσω βιοκλιματικής πρότασης παρέμβασης στο περιβάλλοντα χώρο και συγκεκριμένα της συμβολής του πρασίνου στο αστικό περιβάλλον.

Για καλύτερη παρουσίαση της μεθοδολογικής προσέγγισης, επεξεργασίας, οργάνωσης και οπτικοποίηση των δεδομένων δημιουργήθηκε διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας και μοντελοποίησης του δομημένου περιβάλλοντος σε κλίμακα γειτονίας (βλ. **Σχήμα 4.3-1**). Στις παρακάτω ενότητες αναλύεται το διάγραμμα ροής και τα παραμετρικά μοντέλα (σενάρια) προσομοίωσης που εφαρμόστηκαν ως εναλλακτικά σενάρια βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος.



Σχήμα 4.3-1: Διάγραμμα ροής – Μεθοδολογία υλοποίησης μικροκλιματικής μελέτης

4.3.1. Συλλογή – Επεξεργασία Πρωτογενών Δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εισαγωγή στο λογισμικό προσομοίωσης και την μελέτη του αστικού μικροκλίματος της περιοχής αφορούν στοιχεία αστικής μορφολογίας για την αποτύπωση του χώρου και της υφιστάμενης κατάστασης και την δημιουργία των κτιρίων και της βλάστησης και κλιματολογικά δεδομένα για την ανάλυση των παραμέτρων μικροκλίματος. Η επεξεργασία των δεδομένων αστικής μορφολογίας (κτίρια, βλάστηση, έδαφος) έγινε χρήση του

λογισμικού Qgis. Ενώ τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από το Μετεωρολογικό Σταθμό του Θησείου που βρίσκεται στις συντεταγμένες $37^{\circ} 58.3' N$, $23^{\circ} 43.0' E$ και υψόμετρο 107 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι μετρήσεις του ανέμου από το Μετεωρολογικό Σταθμό γίνονται σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ για τη μελέτη περίπτωσης χρησιμοποιήθηκαν τα ετήσια δεδομένων χρονοσειράς θερμοκρασίας αέρα, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου και σχετικής υγρασίας ανά μια ώρα για τη θερμότερη ημέρα του 2019.

Αναλυτικότερα, για την αποτύπωση της γεωμετρίας των κτιρίων της περιοχής μελέτης και των ορίων των οικοδομικών τετραγώνων, χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο το google maps. Από το χαρτογραφικό υπόβαθρο του διαδικτυακού ιστότοπου Google Earth και του Google Street map, αντλήθηκε πληροφορία σε σχέση με το ύψος των εν λόγω κτιρίων και τα χαρακτηριστικά και θέσεις της υφιστάμενης βλάστησης στη περιοχή. Τα χαρακτηριστικά που παρατηρήθηκαν χρήση των διαθέσιμων υποβάθρων (Google maps, Google Earth, Google Street view) αποτυπώνονται με εικόνες στο **Παράρτημα Ι**, όπου φαίνεται το πυκνοκατοικημένο αστικό δίκτυο της περιοχής, με ψιλά κτίρια και ελάχιστα δώροφα ή μονοκατοικίες, αλλά και τα είδη της βλάστησης που υπάρχουν στους δρόμους.

Για τη μικροκλιματική μελέτη και εντός των ορίων της περιοχής μελέτης που έχει έκταση $149\mu\kappa 149\mu$. δημιουργήθηκαν τα 111 κτίρια της περιοχής μαζί με τα δώματα αυτών προσεγγίζοντας έτσι το υφιστάμενο τρισδιάστατο ανάγλυφο του δομημένου περιβάλλοντος. Το μέγιστο ύψος του κύριου όγκου από τα κτίρια της περιοχής μελέτης φτάνει τα 22-23μ. ενώ λόγω κάποιων δωματίων στις ταράτσες των κτιρίων το ύψος μπορεί να εκτείνεται έως και τα 27μ. Χαρακτηριστικοί όγκοι στην περιοχή μελέτης αποτελούν το Σούπερ μαρκετ, 6μ ύψος και το κτίριο, 17μ ύψος επί της οδού Πλάτωνος.



Σχήμα 4.3-2: Χαρακτηριστικοί όγκοι στη περιοχή μελέτης

Στο **Σχήμα 4.3-3** φαίνεται η αστική μορφολογία της γειτονίας της περιοχής μελέτης αποδίδοντας το ύψος των κτιρίων σε χρωματική παλέτα, όπου όσο πιο σκούρο το χρώμα της παλέτας τόσο πιο ψηλό το κτίριο της περιοχής και την υφιστάμενη βλάστηση.



Σχήμα 4.3-3: Ύψος κτιρίων και υφιστάμενη βλάστηση στη περιοχή μελέτης (χωρίς περιστροφή του Βορρά) (Επεξεργασία Qgis)

Μετά τη παρατήρηση από τα διαθέσιμα υπόβαθρα του Google street view, η βλάστηση, στο πυκνό αυτό αστικό περιβάλλον είναι ελάχιστη, με κάποια διάσπαρτα δένδρα μικρού ύψους κατά μήκος των δρόμων, που δεν αναλογούν σε αυτόν τον κάθετα πυκνοδομημένο ιστό (βλ. **Σχήμα 4.3-3**). Επίσης εντός του δομημένου περιβάλλοντος δεν υπάρχουν κοινόχρηστοι χώροι. Όσον αφορά τις οικοδομές, παρατηρούνται ανοιχτόχρωμα κτίσματα, με κύρια υλικά κατασκευής να είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα – τσιμέντο. Ως υλικά εδαφοκάλυψης χρησιμοποιούνται η άσφαλτος για το οδικό δίκτυο και οι συμβατικές πλάκες πεζοδρομίου για τα πεζοδρόμια. Χαρακτηριστικό επίσης της περιοχής, ως μέρος ενός πυκνοκατοικημένου αστικού ιστού, είναι οι ελάχιστοι και περιορισμένοι ακάλυπτοι χώροι στο εσωτερικό των οικοδομικών τετραγώνων. Τα υλικά που επιλέχθηκαν για τις υπό μέρους κατηγορίες της εδαφοκάλυψη, των τοίχων και των σκεπών για τα κτίρια της περιοχής αλλά και της βλάστησης αντλήθηκαν τόσο από την Βάση δεδομένων που διαθέτει το ENVI-met για τα υλικά όσο και από την εφαρμογή Albero που περιγράφει την 3D βλάστηση του ENVI-met.

Τέλος, έπειτα από την επεξεργασία των δεδομένων και εισαγωγή της πληροφορίας του δομημένου περιβάλλοντος στο λογισμικό QGIS δημιουργήθηκαν τρία (3)

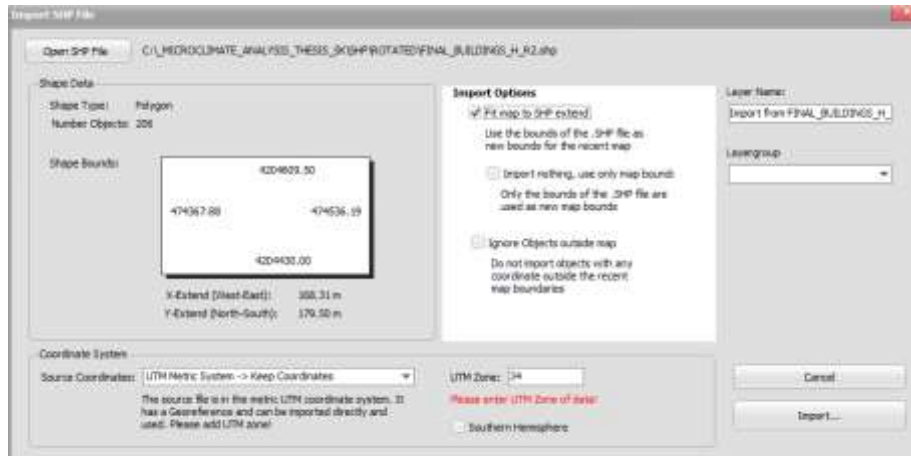
διανυσματικά αρχεία μορφότυπου .shp που συγκεντρώνουν τη θεματική πληροφορία σε πινακοποιημένη μορφή. Το πρώτο αρχείο αφορά τα κτίρια, όπου για κάθε κτίριο δημιουργήθηκαν τα πεδία για το ύψος (μέγιστο και ελάχιστο ύψος, όπου ως ελάχιστο θεωρήθηκε η επιφάνεια του εδάφους ως μηδέν) και για τα υλικά κατασκευής αυτών (πρόσοψη και σκεπής). Το δεύτερο αρχείο αφορά τα στοιχεία εδαφοκάλυψης της περιοχής, ενώ το τελευταίο αρχείο αφορά τις θέσεις και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης που υπάρχουν στο χώρο. Οι κωδικοί των υλικών και τις βλάστησης αφορούν τους μοναδιαίους κωδικούς που διαθέτει το ENVI-met στη Βάση Δεδομένων. Αναλυτικά τα σενάρια με τη παραμετρική μοντελοποίηση του αστικού περιβάλλοντος και οι κωδικοί των υλικών φαίνονται στην **Ενότητα 4.3.3** και στο **Κεφάλαιο 5**.

4.3.2. Δημιουργία – Σχεδιασμός μοντέλου της περιοχής μελέτης

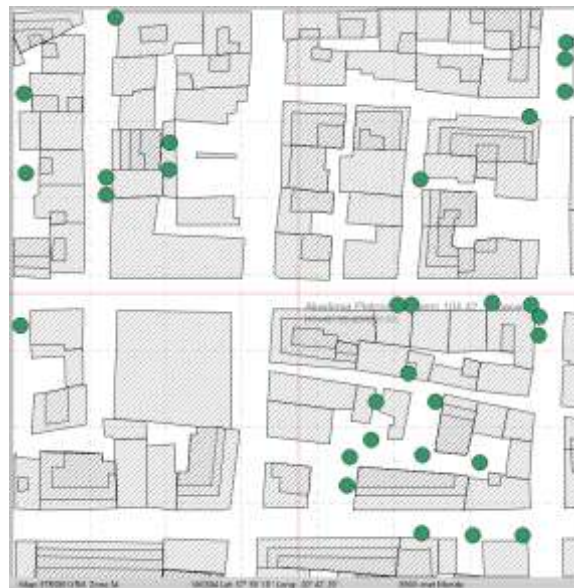
Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για να μετατρέψει τις γεωμετρίες που βασίζονται σε διανυσματικά δεδομένα, όπως αναλύθηκαν παραπάνω, σε αρχείο INX είναι ο πρόσφατα αναπτυσσόμενος επεξεργαστής MONDE. Αυτό το πρόγραμμα επεξεργασίας διατίθεται μαζί με το πακέτο ENVI-met, και παρέχει μια εναλλακτική επιλογή στον επεξεργαστή SPACES. Αυτός ο επεξεργαστής επιτρέπει τη δημιουργία επιπέδων γεωμετρίας GIS, όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα και στοχεύει στη λεπτομερή αναπαράσταση του εδάφους και κτιρίων και της βλάστησης. Ο σχεδιασμός τρισδιάστατων μοντέλων στο SPACES αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία και δεν παρέχει ευελιξία όσον αφορά την αυτόματη μετατροπή σε διαφορετικές αναλύσεις. Για αυτόν τον λόγο, προέκυψε η ανάγκη χρήσης των διανυσματικών δεδομένων (.shp) των κτιρίων, του εδάφους και της βλάστησης που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο και φέρουν περιγραφική πληροφορία για τη δημιουργία της γεωμετρίας του αρχείου INX με βάση το voxel. Τα αρχεία εισαγωγής που δέχεται το MONDE αποτελούν δυσδιάστατα αρχεία shp των footprints της εκάστοτε πληροφορίας (κτίρια, βλάστηση κ.α.) που διαθέτουν πίνακα περιγραφικής πληροφορίας για κάθε οντότητα.

Για την δημιουργία της περιοχής μελέτης έγινε επιλογή της θέσης της περιοχής (Ακαδημία Πλάτωνος) στο χώρο μέσω αναζήτησης αυτής στο google και η γεωμετρία αυτή αποθηκεύτηκε στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS84) με γεωγρ. πλάτος και μήκος 23.70583°, 37.99250°. Το MONDE έχει προγραμματιστεί για τη μετατροπή διανυσματικών δεδομένων στο μετρητικό σύστημα αναφοράς Universal Transverse Mercator (UTM), για αυτό τον λόγο απαιτείται η μετάφραση αυτών από το WGS84 όπου έγινε ο εντοπισμός της περιοχής μελέτης. Με την εισαγωγή του διανυσματικού αρχείου .shp για τα κτίρια, το MONDE χρησιμοποιεί το μετρητικό σύστημα αναφοράς του αρχείου που είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ'87) για δημιουργήσει τα όρια σχεδιασμού της περιοχής στο χώρο, δηλαδή το πλέγμα σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή του μοντέλου

σε μορφότυπο .INX. Για αυτό τον λόγο επιλέγεται η δυνατότητα του MONDE να σχεδιάσει το πλέγμα βάσει των ορίων του αρχείου εισαγωγής (βλ. **Σχήμα 4.3-4**). Το αρχείο εισαγωγής (.shp) μετατοπίστηκε υπό γωνία 330 °, ώστε να αντιστοιχεί στα όρια της περιοχής σχεδίασης έκτασης 149x149, που αποτελεί και τις ελάχιστες απαιτήσεις σχεδιαστικής περιοχής για την έκδοση LITE του ENVI-met.



Σχήμα 4.3-4: Εισαγωγή αρχείου .shp για τα κτίρια, βλάστηση και εδαφοκάλυψη στη εφαρμογή MONDE



Σχήμα 4.3-5: Επισκόπηση των διανυσματικών αρχείων εισαγωγής κτίρια και βλάστηση

Για κάθε αρχείο (κτίρια, βλάστηση, έδαφος) καθορίστηκαν μέσα από την επιλογή του MONDE, Export to Modelling Layer, τα σχετικά πεδία που είχαν δημιουργηθεί στο περιγραφικό πίνακα περιεχομένων του GIS. Για παράδειγμα, τα κτίρια φέρουν πληροφορία για το ύψος. ENVI-met και, ως εκ τούτου, το MONDE, υποστηρίζει μετρικά συστήματα και γι' αυτό το λόγω μπορεί να γίνει η αντιστοίχιση της πληροφορίας για το ύψος ως παράμετρος στο μοντέλο κτιρίου που θέτει το ENVI-met. Συνεπώς, με αυτόν τον ημι-αυτόματο τρόπο έγινε η δημιουργία των μοντέλων των κτιρίων, του εδάφους και της βλάστησης με τα υλικά κατασκευής και βλάστησης

(βάση δεδομένων, Albero, βλ. **Ενότητα 4.3.3** και **Κεφάλαιο 5**) που σε προηγούμενες εκδόσεις τους λογισμικού ENVI-met θα χρειαζόταν τα σχεδιαστούν εξολοκλήρου και χειροκίνητα μέσα από την εφαρμογή SPACES, δυσχεραίνοντας τις δυνατότητες παραμετροποίησης αυτών.

Σε αυτό το στάδιο, μέσω της εφαρμογής MONDE, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει το μοντέλο της περιοχής μελέτης προς προσομοίωση, σε κάρναβο/πλέγμα καθορισμένων ορίων. Το μοντέλο περιλαμβάνει τον συνδυασμό των επιπέδων που εισήχθη σε προηγούμενο βήμα (βλ. **Σχήμα 4.3-6**). Ο κάρναβος στο λογισμικό ENVI-MET αποτελεί δυσδιάστατης και τρισδιάστατης μορφής με ακριβείς διαστάσεις κελιών (grids), σε οριζόντιο, κάθετο και κατακόρυφο άξονα. Εμπλουτίζεται με κωδικοποιημένη πληροφορία από την Βάση Δεδομένων του ENVI-met που αφορά την περιοχή μελέτης, δηλαδή πληροφορία σχετικά με το έδαφος, την υπάρχουσα βλάστηση και τα κτίρια.

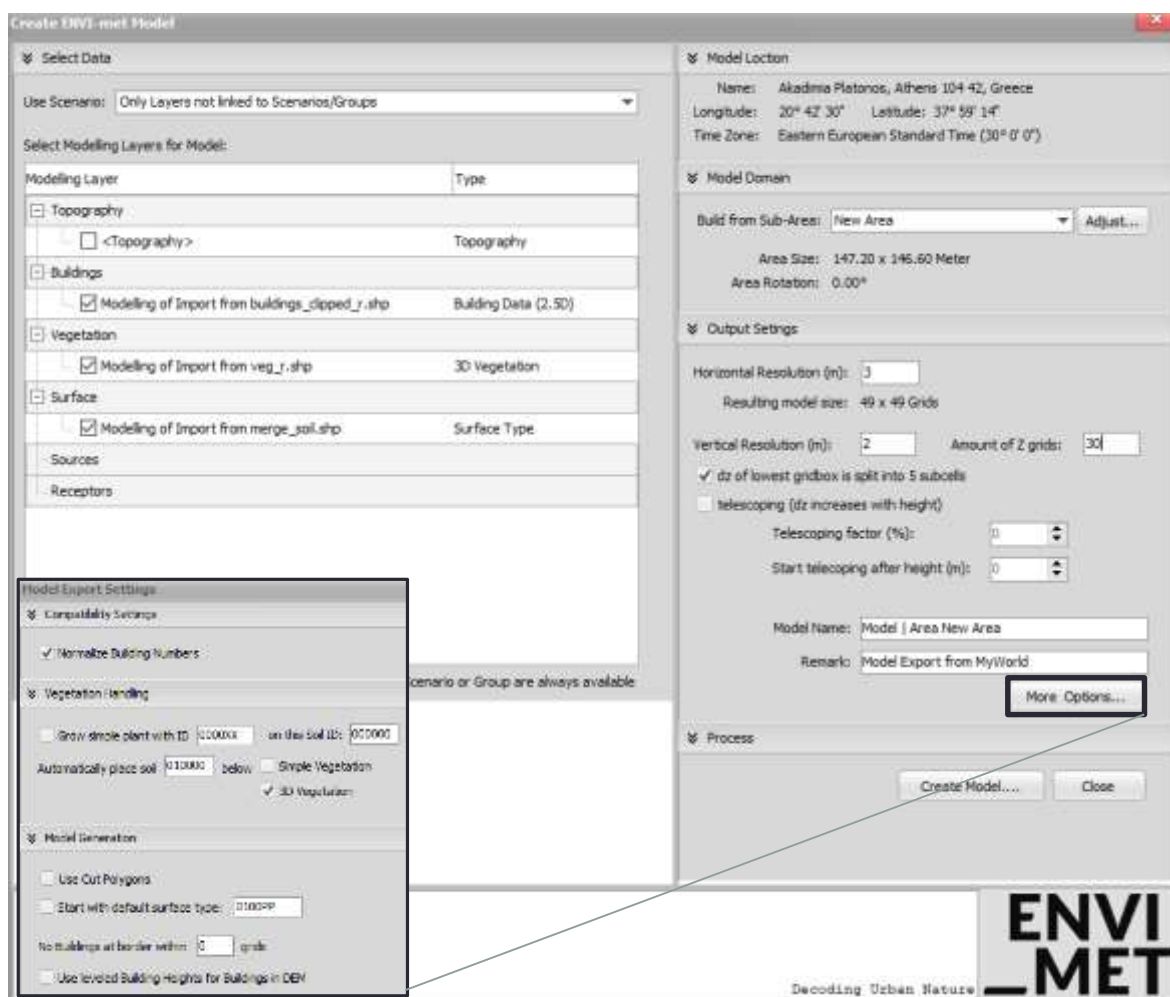
Ο καθορισμός των διαστάσεων του μοντέλου, στους άξονες x, y και z (κατακόρυφος άξονας ύψους) εξαρτάται από το μέγεθος της περιοχής μελέτης που μελετάτε κάθε φορά. Στην βασική έκδοση του ENVI-met, όπου και χρησιμοποιείται, η μέγιστη δυνατή διάσταση που μπορεί να δοθεί στο μοντέλο για τα xyz-Grids είναι 50x50x40. Παράλληλα, ανάλογα με την περιοχή μελέτης αλλά κυρίως την λεπτομέρεια που ο κάθε χρήστης θέλει να δώσει στο μοντέλο, καθορίζεται και το μέγεθος του κελιού σε μέτρα (grid size cell). Στόχος, λοιπόν, είναι ο σχεδιασμός και η μοντελοποίηση να γίνει, όχι μόνο σε μεγάλη λεπτομέρεια αλλά και σε ζώνη εκτεταμένης περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο, θα αποτυπωθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι συνθήκες της υφιστάμενης κατάστασης στην περιοχή μελέτης.

Έτσι, με στόχο να αποτυπωθεί μια ευρεία ζώνη της περιοχής μελέτης και βάσει του περιορισμού των διαστάσεων 50x50x40 που δίνει η βασική έκδοση του λογισμικού, η διάσταση κάθε κελιού στο οριζόντιο κάρναβο μελέτης ορίζεται στα 3m, ενώ στο κάθετο άξονα τα 2m, συνεπώς διαμορφώνονται οι διαστάσεις κυψέλης ως $dx=dy=3m$ και $dz=2m$. Για τη περιοχή μελέτης του μοντέλου που σχεδιάστηκε και εισήχθη στο MONDE το μέγεθος του πλέγματος διαμορφώνεται ως 49x49x30 και συνεπώς η μέγιστη έκταση της περιοχής μελέτης του μοντέλου διαμορφώνεται ως 147m x 147m x 60m. Ως κανόνας στο ENVI-met καθορίζεται ότι η απόσταση του ανώτερου ορίου του μοντέλου πρέπει τουλάχιστον να ισοδυναμεί με το μέγιστο ύψος του κτιρίου. Στη περίπτωση του μοντέλου το μέγιστο κτίριο είναι 27μ, συνεπώς $60-27=33\mu>27\mu$. Η μορφή του δικτύου των στρωμάτων των κελιών στο κατακόρυφο άξονα θα ακολουθούν την μέθοδο equidistant, όπου όλα τα στρώματα έχουν το ίδιο ύψος, πλην του χαμηλότερου που χωρίζεται σε 5 υποστρώματα με $dzs=0.2*dz$. Με την επιλογή *Output Settings*, συμπληρώνονται οι βασικές πληροφορίες για το μοντέλο. Συγκεκριμένα, στο Πίνακα και **Σχήμα 4.3-6** φαίνονται τα δεδομένα εισόδου του υπό μελέτη μοντέλου. Με την ολοκλήρωση του καθορισμού των γεωμετρικών παραμέτρων του μοντέλου γίνει η εξαγωγή αυτού σε μορφότυπο .INX για την

αξιοποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου κατά τη διαδικασία δημιουργίας του αρχείου προσομοίωσης (**Ενότητα 4.3.5**).

Πίνακας 4.3-1: Παράμετροι καθορισμού γεωμετρίας στο μοντέλο

Model Dimensions	49x49x30	147m x 147m x 60m
Grid cell	3x3x2m	
Vertical Grid generation	Equidistant	
Location	Akadimia Platonos, Athens 104 42, Greece	
Lat, Long	37.99, 20.71	
Time Zone	Eastern European Standard Time	
Reference Long	30.00	
Nesting grids	0	



Σχήμα 4.3-6: Δημιουργία αρχείου .INX

4.3.3. Καθορισμός υλικών δομημένου περιβάλλοντος – Σενάρια

Η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων από τα διαθέσιμα χαρτογραφικά υπόβαθρα και από το μετεωρολογικό σταθμό μέτρησης στο Θησείο, χρησίμευσαν για την δημιουργία ενός μικροκλιματικού μοντέλου προσομοίωσης. Για την περιοχή μελέτης δημιουργήθηκαν τέσσερα παραμετρικά μοντέλα προσομοίωσης με διαφορετικά υλικά κατασκευής ή βλάστηση και ένα της υφιστάμενης κατάστασης. Το μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης στην περιοχή μελέτης αναπαριστά το δομημένο ανάγλυφο με τα υλικά κατασκευής και την ύπαρξη περιορισμένης βλάστησης στους δρόμους. Στη συνέχεια βάσει αυτού, δημιουργήθηκαν εναλλακτικά μοντέλα βελτίωσης των συνθηκών του αστικού μικροκλίματος, ενισχύοντας την επικρατούσα βλάστηση ή τροποποιώντας τα υφιστάμενα υλικά κατασκευής και εδαφοκάλυψης.

Συγκεκριμένα, στο **Πίνακα 5.1-1** φαίνονται τα 5 σενάρια που εφαρμόστηκαν για τη περιοχή μελέτης, αναλυτικότερα περιγράφονται και αναλύονται στο **Κεφάλαιο 5**. Το πρώτο σενάριο (**S1-s**), αποτελεί τη υφιστάμενη κατάσταση της υποκείμενης μελέτης βάση του οποίου έγινε και η παραμετρική τροποποίηση των παραμέτρων που επηρεάζουν το μικροκλίμα της περιοχής. Το δεύτερο σενάριο (**S2-s**), υιοθετεί τη κατάσταση της βλάστησης του πρώτου σεναρίου, αλλάζοντας τα υλικά κάλυψης για τα κτίρια και τη κατανομή της εδαφοκάλυψης, ενώ επίσης τα χαρακτηριστικά κτίρια της περιοχής (Σούπερ Μάρκετ και το κτίριο επί της οδού Πλάτωνος, βλ. **Σχήμα 4.3-2**) γίνονται «πράσινα», χρησιμοποιώντας πράσινη σκεπή και πρόσοψη. Το χρώμα και η υφή των εξωτερικών επιφανειών του κελύφους του κτιρίου καθορίζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται, καθώς και την ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται το βράδυ προς την ατμόσφαιρα, ρυθμίζοντας έτσι τη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου και κατ' επέκταση τη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

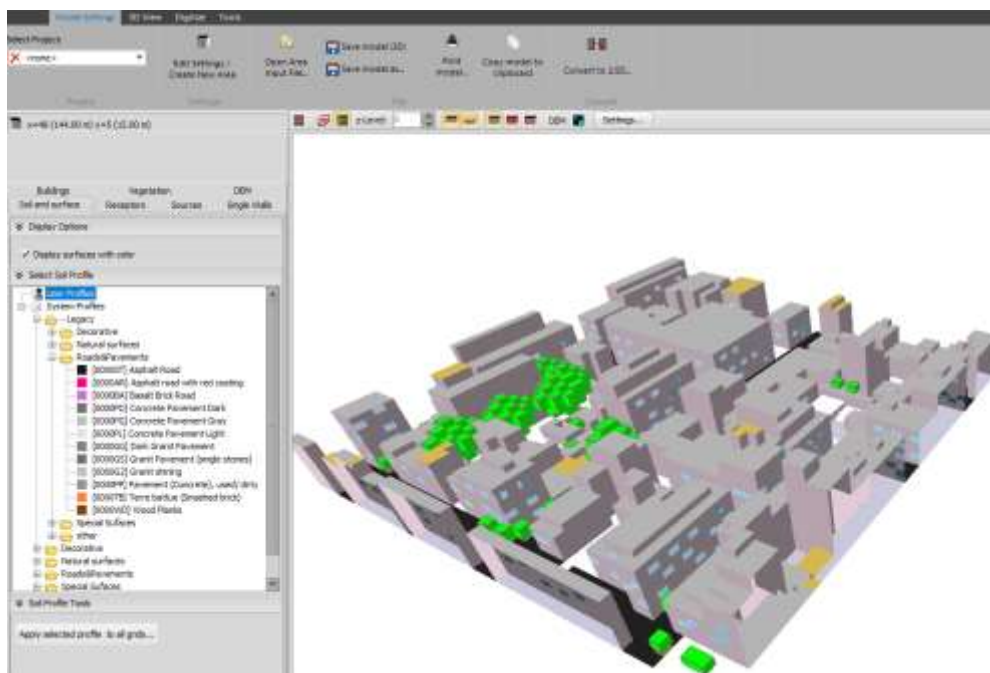
Το τρίτο και τέταρτο σενάριο (S3-s, S4-s), υιοθετούν τα υλικά κατασκευής και τη κατάσταση της βλάστησης του πρώτου σεναρίου ενισχύοντας αυτή με δύο εναλλακτικά σενάρια βλάστησης. Συγκεκριμένα, στο τρίτο σενάριο (**S3-s**) επιλέγεται βλάστηση με υψηλό δείκτη πυκνότητας φυλλώματος (LAD), ενώ στο τέταρτο σενάριο (**S4-s**) στις ίδιες ακριβώς θέσεις με το τρίτο σενάριο επιλέγεται βλάστηση με χαμηλό δείκτη πυκνότητας φυλλώματος (LAD). Παράλληλα, το ύψος και η κόμη του κάθε είδους που επιλέχθηκε εξαρτάται και επιλέχθηκε βάσει του ύψους του όμορου κτιρίου και τη πιθανή κατανομή της γειτονικής βλάστησης. Ο έλεγχος της συμβολής της βλάστησης γίνεται ως τρόπος βελτίωσης των μικροκλιματικών συνθηκών και της ποιότητας κλίματος. Η αρχές του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού λήφθηκαν υπόψη καθώς στα δύο σενάρια βλάστησης επιλέχθηκαν κατά κύριο λόγο φυλλοβόλα δένδρα για την νότια όψη του κτιρίου Τα φυλλοβόλα φυτά είναι τα πλέον κατάλληλα όταν επιζητείται ηλιασμός το χειμώνα και σκιασμός το καλοκαίρι, συμβάλλει στη μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Asef,S.M., et al., 2020),μετά τους υπολογισμούς και τις προσομοιώσεις αναλύεται στα συμπεράσματα ότι όσο πιο υψηλός ο δείκτης LAD τόσο υψηλότερη θα είναι και η επίδραση στο μικροκλίμα, με την άμεση μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Γι' αυτό τον λόγο η βλάστηση που επιλέχθηκε στο τρίτο σενάριο μαζί με τα υλικά που επιλέχθηκαν στο δεύτερο σενάριο συνέθεσαν το τελευταίο σενάριο (**S5-s**), ως το βέλτιστο σενάριο.

Βάσει των αρχών λειτουργίας του λογισμικού που παρουσιάστηκαν στο **Κεφάλαιο 3** έγινε και η ανάλογη επιλογή των παραμέτρων και συνθηκών, που εξυπηρετούν στο μοντέλο, προς προσομοίωση

4.3.4. Έλεγχος μοντέλου προσομοίωσης

Με τη εξαγωγή του αρχείου του μοντέλου σε μορφότυπο .INX από την εφαρμογή MONDE έγινε η εισαγωγή του στην εφαρμογή SPACES, ώστε να επεξεργαστούν περαιτέρω τα χαρακτηριστικά του μοντέλου όπου δεν γινόταν μέσω της εφαρμογής MONDE. Η εφαρμογή MONDE δεν επιτρέπει την τρισδιάστατη επεξεργασία του μοντέλου καθώς όπως αναφέρθηκε αποτελεί εφαρμογή διαχείρισης δυσδιάστατων διανυσματικών αρχείων, ενώ παράλληλα δεν δίνει τη δυνατότητα θέασης και περαιτέρω επεξεργασίας του πλέγματος που διαμορφώνεται στο κάθετο και οριζόντιο άξονα του μοντέλου στο ENVI-met. Με την επιλογή «Converted to Detailed Design» ενεργοποιείται η επιλογή του σχεδιασμού για μέρος της επιφάνειας πρόσοψης «Set individual segment». Μέσω των τρισδιάστατων δυνατοτήτων θέασης του μοντέλου στο SPACES έγινε η προσθήκη των παράθυρων στα κτίρια της περιοχής μελέτης (βλ. **Σχήμα 4.3-7**).



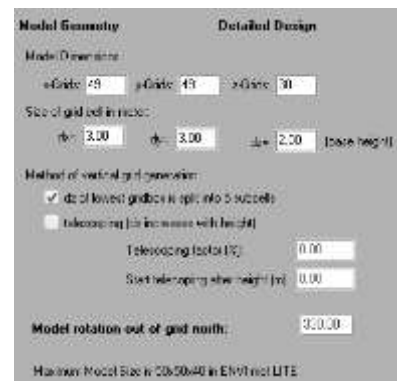
Σχήμα 4.3-7: Τρισδιάστατη όψη μοντέλου της περιοχής μελέτη με την προσαρμογή παραθύρων (αρχείο .INX, Εφαρμογή SPACES)

Επιπλέον, έγινε η προσθήκη 36 υποδοχέων «Receptors» σε πλήθος. Κάθε σημείο του υποδοχέα φέρει συγκεκριμένη θέση στο κάνναβο, ενώ με την εκτέλεση της προσομοίωσης δημιουργούνται για τη συγκεκριμένη θέση του κάθετου άξονα με διάσταση $dz=2m$ οι καθ' ύψος τιμές αποτελεσμάτων για τις διάφορες παραμέτρους ανάλυσης του ENVI-met. Η μορφή του δικτύου των στρωμάτων των κελιών στο κατακόρυφο άξονα ακολουθούν όπως αναφέρθηκε την μέθοδο equidistant, όπου όλα τα στρώματα έχουν το ίδιο ύψος, πλην του χαμηλότερου που χωρίζεται σε 5 υποστρώματα με $dzs=0.2*dz$. (βλ. Πίνακα 4.3-3)

Πίνακας 4.3-2: Καθ' ύψος οργάνωση του πλέγματος του μοντέλου με $dz=2.00m$ και οι θέσεις των υποδοχέων στη περιοχή μελέτης του μοντέλου

z=34	dz=+2.00m	dz=2.00m	abs z=59m	
z=33		dz=2.00m	abs z=57m	
z=32		dz=2.00m	abs z=55m	
...		...		
z=9		dz=2.00m	abs z=9m	
z=8		dz=2.00m	abs z=7m	
z=7		dz=2.00m	abs z=5m	
z=6		dz=2.00m	abs z=3m	
z=5	dz=2/5=0.4m	dz=0.40m	abs z=1.8m	
z=4		dz=0.40m	abs z=1.4m	
z=3		dz=0.40m	abs z=1m	
z=2		dz=0.40m	abs z=0.6m	
z=1		dz=0.40m	abs z=0.2m	

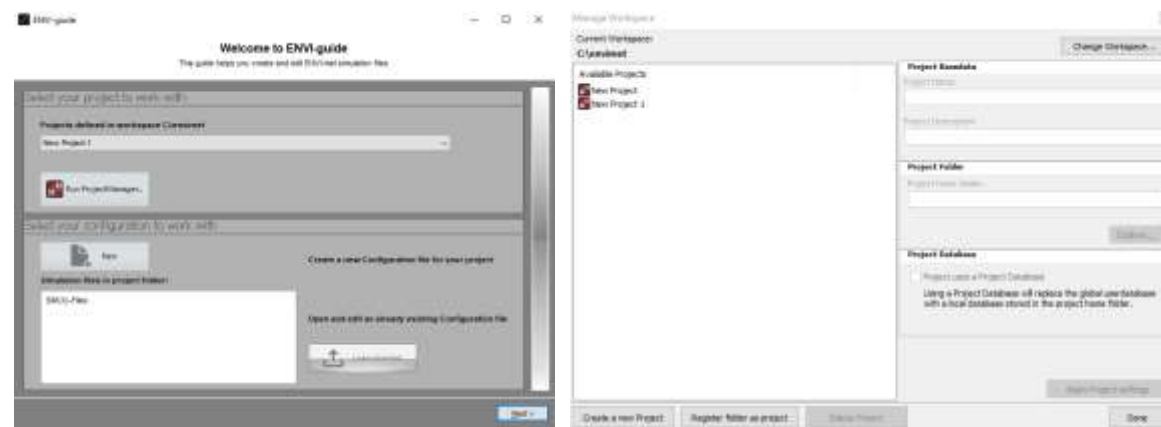
Το λογισμικό Envi-met δεν δίνει την δυνατότητα για ακριβή σχεδίαση των ορίων που ακολουθούν πλάγια φορά αλλά και οδηγεί σε μη ορθοκανονικά αποτελέσματα. Γι' αυτό τον λόγο είναι χρήσιμο να τονιστεί ότι για καλύτερη τοποθέτηση των στοιχείων σχεδιασμού στο κάνναβο, έγινε περιστροφή του μοντέλου 330° από το βορρά και ορίστηκε ως παράμετρος στην εφαρμογή SPACES, έτσι ώστε τα όρια των οικοδομικών τετραγώνων και κτιρίων να είναι παράλληλα ή κάθετα με τις γραμμές του καννάβου. Η περιστροφή του Βορρά φαίνεται στην εικόνα του Πίνακα 4.3-3 στο αριστερο πάνω μέρος.



Σχήμα 4.3-8: Καθορισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μοντέλου

4.3.5. Δημιουργία προσομοίωσης

Μέσω της εφαρμογής **Manage Project and Workspaces** καθορίζεται ο χώρος που θα δημιουργηθούν και θα αποθηκευτούν τα αρχεία προσομοίωσης του μοντέλου (τα αρχικά αρχεία προσομοίωσης, η βάση δεδομένων του μοντέλου και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης). Εφόσον καθοριστεί ο χώρος αποθήκευσης των αρχείων, στην εφαρμογή ENVI-guide ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το αντίστοιχο Project που δημιούργησε και βρίσκεται στο φάκελο αυτό και είτε να δημιουργήσει ένα νέο αρχείο .SIMX ή να επεξεργαστεί ένα υφιστάμενο, διαθέσιμο στο προ-καθορισμένο χώρο αποθήκευσης αρχείων.



Σχήμα 4.3-9: Καθορισμός σημείου αποθήκευσης του μοντέλου προσομοίωσης

Χρήση της εφαρμογής ENVI-guide έγινε η δημιουργία του αρχείου προσομοίωσης (.SIMX). Το αρχείο προσομοίωσης είναι κοινό για όλα τα σενάρια προσομοιώσεων που εφαρμοστήκαν. Αυτό τηρήθηκε με στόχο να δημιουργηθούν συγκρίσιμα αποτελέσματα διαφορετικών συνθηκών του δομημένου περιβάλλοντος στο ίδιο χώρο με ίδιες κλιματικές συνθήκες.

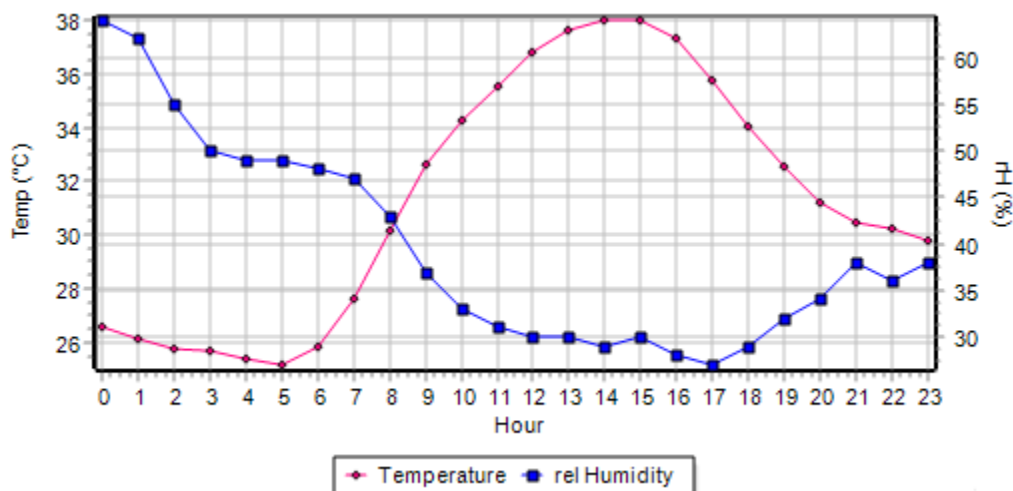
Συνεπώς για τη δημιουργία του αρχείου προσομοίωσης (.SIMX) καθορίστηκαν οι βασικές παράμετροι έναρξης της προσομοίωσης, η ημέρα προσομοίωσης, η ώρα έναρξης και η διάρκεια αυτής και το όνομα προσομοίωσης. Το πλήρες όνομα προσομοίωσης προσδιορίζει την προσομοίωση και χρησιμοποιείται για την δημιουργία ετικετών, ενώ ο καθορισμός μικρότερου ονόματος αξιοποιείται για το προσδιορισμό των αρχείων προσομοίωσης, όπου το ENVI-met προσθέτει κάποια επιπλέον προκαθορισμένα ονόματα. Πριν τον καθορισμό των περαιτέρω μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων προσομοίωσης, επιλέγεται το αρχείο του μοντέλου .INX που δημιουργήθηκε μέσω της εφαρμογής MONDE και SPACES που βρίσκεται διαθέσιμο στο προκαθορισμένο χώρο αποθήκευσης του project. Εκτός των βασικών συνθηκών της προσομοίωσης χρειάζεται να καθοριστούν και οι μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, όπως η ταχύτητα ανέμου, η θερμοκρασία και η υγρασία (βλ. **Πίνακα 4.3-4**)

Πίνακας 4.3-3: Ορισμός αρχικών – βασικών συνθηκών μοντέλου προσομοίωσης

Ημέρα προσομοίωσης	09/08/2020
Ώρα έναρξης της προσομοίωσης:	00:07
Συνολικός χρόνος προσομοίωσης (ώρες):	24 ώρες
Ταχύτητα ανέμου στα 10m από το έδαφος (m/s):	3,2 m/s
Κατεύθυνση ανέμου (σε μοίρες):	29,20°
Θερμοκρασία αέρα(σε Celsius):	T _{max} (15:00): 38 °C T _{min} (05:00): 25.15 °C
Ελάχιστη Σχετική υγρασία στα 2m (%):	H _{max} (17:00): 27% H _{min} (00:00): 64%

Όσον αφορά το χρονικό εύρος διάρκειας και η ώρα εκκίνησης, συνίσταται να μην είναι μικρότερο των 6 ωρών και να ξεκινάει τις βραδινές ή πριν το ξημέρωμα. Αυτό, γιατί τα αποτελέσματα τις πρώτες ώρες της προσομοίωσης δεν είναι τα πλέον αντιπροσωπευτικά αλλά και για να μελετηθεί το εύρος των τιμών των διαφόρων παραμέτρων. Έτσι, επιλέχθηκε η προσομοίωση να ξεκινά στις 00:07 τα ξημερώματα και να έχει διάρκεια 24 ώρες. Στην προκειμένη περίπτωση ως μέρα έναρξης της προσομοίωσης ορίζεται η 9^η Αυγούστου 2019, η οποία βάσει της καταγραφής του μετεωρολογικού σταθμού στο Θησείο αποτέλεσε την θερμότερη ημέρα του έτους.

Η μελέτη προσομοίωσης, όπως προαναφέρθηκε, βασίζεται στην ανάλυση αστικού μικροκλίματος ακραίων συνθηκών θερμοκρασίας, με στόχο το περιορισμό αυτών. Αυτό γιατί, τη θερινή περίοδο τα κύματα καύσωνα σε συνδυασμό με το πυκνοδομημένο αστικό ιστό και την έλλειψη πρασίνου στις πόλεις, οδηγούν στη σταδιακή αλλοίωση της κλιματικής ποιότητας, ενισχύοντας φαινόμενα, όπως αυτό της αστικής θερμικής νησίδας. Γι' αυτό τον λόγο κρίνεται αναγκαία η μελέτη των παραγόντων που διαμορφώνουν το αστικό κλίμα και η εξάλειψη αυτών. Σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, η παρέμβαση με την χρήση αστικού πρασίνου μπορεί να δημιουργήσει βιωσιμότητα στην πόλη, περιορίζοντας τις ακραίες συνθήκες θερμοκρασιών, βελτιώνοντας παράλληλα τις συνθήκες άνεσης μέσα στο πυκνοδομημένο ιστό της πόλης.



Σχήμα 4.3-10: Διάγραμμα απεικόνισης θερμοκρασίας και υγρασίας της 9η Αυγούστου 2019, με χρονικό βήμα μιας ώρας

Ως βασικές – αρχικές συνθήκες της μοντελοποίησης για τις 09/08/2019 ορίζονται τα μικροκλιματικά δεδομένα της ώρας έναρξης της προσομοίωσης βάσει του **Πίνακα 4.3-4**. Έτσι, η ταχύτητα του ανέμου σε απόσταση 10m από το έδαφος ορίζεται ως 3,2 m/s με διεύθυνση βόρειο-βορειοανατολική (29,20°), ενώ η τραχύτητα του εδάφους ορίζεται με συντελεστή 0.01, ως η προκαθορισμένη επιλογή τιμής που δίνει το λογισμικό, για να αποδοθεί η ανομοιομορφία του ανάγλυφου στο αστικό περιβάλλον. Στην συνέχεια, η μέγιστη θερμοκρασία στις 15:00 έχει τιμή 38°C και η ελάχιστη σχετική υγρασία στα 2m στις 17:00 είναι 27%. Ενώ γίνει ο ορισμός των αρχικών – βασικών συνθηκών για την έναρξη της μοντελοποίησης, ορίζονται βάσει των μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού στο Θησείο και οι τιμές διακύμανσης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, ανά μια ώρα. Με τον ορισμό της διακύμανσης των τιμών μέσα στην μέρα, οι αναλύσεις μικρής κλίμακας βελτιστοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, εφόσον καθορίζεται με ακρίβεια η διακύμανση των τιμών στο μικροκλίμα την υφιστάμενη μέρα μελέτης. Με την εντολή *simple forcing*, δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα της διακύμανσης των τιμών της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας ανά μια ώρα στην περιοχή μελέτης (βλ. **Σχήμα 4.3-10**). Τα μετεωρολογικά δεδομένα αποτυπώνονται με χρονικό βήμα 1 ώρας, όπου θα χρησιμοποιηθεί έπειτα και για την ανάλυση του μικροκλίματος μέσω προσομοίωσης στο λογισμικό ENVI-met. Στοχεύοντας στην απόδοση σταθερότητας του μοντέλου, στο πλαίσιο της μελέτης δεν δημιουργήθηκαν *nesting grids*. Ενώ με την επιλογή *simple force* του καθορισμού μετεωρολογικών παραμέτρων στο μοντέλο, ως προκαθορισμένη επιλογή του λογισμικού εφαρμόζει ανοικτές πλευρικές οριακές συνθήκες (LBC).

Επιλέγοντας από το φάκελο που δημιουργήθηκε για το κάθε σενάριο το αρχείο προσομοίωσης (.SIMX), το οποίο λαμβάνει υπόψη το αντίστοιχο μοντέλο – σενάριο (.INX) εκτελείται η προσομοίωση μέσω της εφαρμογής ENVI-core. Προτού ξεκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης (Run Simulation), γίνεται ο έλεγχος της (Test Simulation) για αποφυγή τυχόν σφαλμάτων κατά την δημιουργία του αρχείου εισαγωγής δεδομένων και των παραμέτρων μοντελοποίησης.

4.3.6. Οπτικοποίηση και Ανάλυση προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης οργανώνονται σε υποφακέλους του φακέλου προορισμού της προσομοίωσης. Οι υποφάκελοι αυτοί αφορούν τις παραμέτρους ορισμού του αρχείου δημιουργίας (.INX) και αρχείου προσομοίωσης (.SIM), και οργανώνονται στους υποφακέλους *atmosphere*, *biomet*, *buildings*, *inflow*, *log*, *pollutants*, *radiation*, *receptors*, *soil*, *surface*, *vegetation*. Τα αρχεία αυτά μπορούν να παρουσιαστούν μέσω της εφαρμογής Leonardo. Η παρουσίαση γίνεται μέσω

δημιουργίας χαρτών σε κλίμακα δύο διαστάσεων ανά ζεύγος αξόνων xy , xz , yz , είτε σε τρεις διαστάσεις αναπαράστασης, ή μέσω διαγραμμάτων ανά μία ώρα, είτε χρονοσειρών για κάθε κυψέλη του grid, είτε εξαγωγής τους σε αρχείο .xls.

5. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET

5.1. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται φαίνονται τα 5 σενάρια που εφαρμόστηκαν για τη περιοχή μελέτης με στόχο την βελτίωση των θερμικών συνθηκών σε επίπεδο γειτονίας στην Ακαδημία Πλάτωνος. Τα σενάρια βασίζονται στη υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής μελέτης παραμετροποιώντας σε κάθε ένα από αυτά είτε τα υλικά κατασκευής του δομημένου περιβάλλοντος είτε τα χαρακτηριστικά της βλάστησης. Αναλυτικότερα τα υλικά με τους κωδικούς που χρησιμοποιήθηκαν και η θέση τοποθέτησης των προτεινόμενων ειδών βλάστησης φαίνονται στους πίνακες στην **Ενότητα 5.2**.

- **Σενάριο 1 - Υφιστάμενη κατάσταση (S1-s):**

Το πρώτο σενάριο, αποτελεί την υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής μελέτης βάση του οποίου έγινε και η παραμετρική ανάλυση των κριτηρίων που επιλέχθηκαν και επηρεάζουν το μικροκλίμα της περιοχής

- **Σενάριο 2 – Χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής(S2-s):**

Το δεύτερο σενάριο, υιοθετεί τη κατάσταση της βλάστησης του πρώτου σεναρίου, αλλάζοντας τα υλικά κάλυψης για τα κτίρια και τη κατανομή της εδαφοκάλυψης, ενώ επίσης τα χαρακτηριστικά κτίρια της περιοχής (Σούπερ Μάρκετ και το κτίριο επί της οδού Πλάτωνος, γίνονται «πράσινα», χρησιμοποιώντας πράσινη σκεπή και πρόσοψη. Το χρώμα και η υφή των εξωτερικών επιφανειών του κελύφους του κτιρίου καθορίζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται, καθώς και την ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται το βράδυ προς την ατμόσφαιρα, ρυθμίζοντας έτσι τη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου και κατ' επέκταση τη διακύμανση της θερμοκρασίας που μεταφέρεται στο περιβάλλον.

- **Σενάριο 3 – Επιλογή ειδών υψηλής πυκνότητας βλάστησης (υψηλός δείκτης LAD) (S3-s):**

Το τρίτο σενάριο υιοθετεί τα υλικά κατασκευής και τη κατάσταση της βλάστησης του πρώτου σεναρίου ενισχύοντας αυτή με είδη που έχουν υψηλό δείκτη πυκνότητας φυλλώματος (LAD). Το ύψος και η κόμη του κάθε είδους επιλέχθηκε με βάση το ύψος του όμορου κτιρίου και τη πιθανή κατανομή της γειτονικής βλάστησης, ενώ στη νότια όψη τοποθετήθηκαν κατά κύριο λόγο φυλλοβόλα δένδρα. Λόγω της συμπαγής δομής των δρόμων όπου το πλάτος αυτών δεν ξεπερνά τα 8-7μ επιλέχθηκαν είδη με κυλινδρική ή κωνική κόμη όπου η διάσταση τους στο πλέγμα σχεδίασης του μοντέλου δεν ξεπερνά τις 2,3 κυψέλες. Ο δείκτης LAD για το σενάριο αυτό αφορά σε 1.1 για τα φυλλοβόλα και 2-2.3 για τα κωνοφόρα.

- **Σενάριο 4 – Επιλογή ειδών χαμηλής πυκνότητας βλάστησης (χαμηλός δείκτης LAD) (S4-s):**

Το τέταρτο σενάριο υιοθετεί τα υλικά κατασκευής και τη κατάσταση της βλάστησης του πρώτου σεναρίου ενισχύοντας αυτή σε ίδιες ακριβώς θέσεις με το τρίτο σενάριο με είδη που έχουν χαμηλό δείκτη πυκνότητας φυλλώματος (LAD). Ο δείκτης LAD για το σενάριο αυτό αφορά σε 0.4-07 για τα φυλλοβόλα και 1.4-2 για τα κωνοφόρα.

- **Σενάριο 5 – Επιλογή ειδών υψηλής πυκνότητας βλάστησης (S3) και χρήση ψυχρών υλικών (S2) κατασκευής (S5-s):**

Το πέμπτο σενάριο υιοθετεί τα ψυχρά υλικά κατασκευής του δεύτερου σεναρίου και τη κατάσταση της βλάστησης του πρώτου σεναρίου ενισχύοντας αυτή με είδη του τρίτου σεναρίου όπου χαρακτηρίζονται από υψηλό δείκτη πυκνότητας φυλλώματος (LAD). Το σενάριο αυτό υιοθετώντας τα αποτελέσματα από τα προηγούμενα σενάρια αποτελεί την ιδανική πρόταση εφαρμογής με στόχο τη βελτίωση των μικροκλιματικών παραμέτρων στη περιοχή μελέτης.

Πίνακας 5.1-1: Σενάρια Εφαρμογής Μικροκλιματικής μελέτης περίπτωσης

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ				
		S1-s	S2-s	S3-s	S4-s	S5-s
ΕΙΔΟΣ		Υφιστάμενη κατάσταση	Ψυχρά Υλικά κατασκευής	Πυκνή Βλάστηση	Αραιή Βλάστηση	S2 & S3
ΥΛΙΚΑ ΚΤΙΡΙΩΝ	Τοίχοι	0000CS	0000F1	ΙΔΙΑ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ S1-s		ΙΔΙΑ ΜΕ ΠΡΟΣΟ ΜΟΙΩΣΗ S2
	Σκεπές	000000	0000F1			
		0000R1				
	Πράσινη Πρόσοψη	-	01ANDS			
	Πράσινες σκεπές	-	01ANDS			
Παράθυρα	0000G4	0000G1				
ΥΛΙΚΑ ΕΔΑΦΟ - ΚΑΛΥΨΗΣ	Κεντρικοί δρόμοι	0000ST	0000PL & 0000ST & 0000AR			
	Δρόμοι ήπιας κυκλοφορίας	0000PG	0000BA			
	Ακάλυπτος	0000PL				
	Κτίρια	0000PP	0000PG			
ΒΛΑΣΤΗΣΗ (ΠΛΗΘΟΣ)	LAD : <0.5	9	ΙΔΙΑ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩ ΣΗ S1-s	9	26	ΙΔΙΑ ΜΕ ΠΡΟΣΟ ΜΟΙΩΣΗ S3-s
	LAD : 0.5 – 1.0	8		8	49	
	LAD : 1.0 – 1.5	7		64	33	
	LAD : 1.5 – 2.0	0		0	0	
	LAD : >2	2		36	9	

	ΣΥΝΟΛΟ	26		117	117	
--	---------------	-----------	--	------------	------------	--

5.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Στο **Πίνακα 5.2-1** παρουσιάζονται στιγμιότυπα από τη εφαρμογή SPACES του λογισμικού ENVI-met που δημιουργήθηκαν για την αναπαράσταση του δομημένου περιβάλλοντος, των υλικών κατασκευής, της εδαφοκάλυψης και των ειδών και θέσεων βλάστησης του κάθε Σεναρίου στη περιοχή μελέτης. Οι **Πίνακες 5.2-1** περιλαμβάνουν δυσδιάστατη πληροφορία του χώρου με τα μετρητικά στοιχεία των όγκων των κτιρίων και τους κωδικούς υλικών εδαφοκάλυψης και βλάστησης, ενώ στους **Πίνακες 5.2-6,7,8** αναπαρίστανται η τρισδιάστατη όψη των μοντέλων ανά Σενάριο εφαρμογής.

Για τη περιοχή μελέτης έγινε αναγνώριση και προσομοίωση των ενδεικτικών ειδών βλάστησης σε σχέση με τα διαθέσιμα είδη που έχει η βάση δεδομένων του λογισμικού. Είδη βλάστησης ενσωματώθηκαν σε όλα τα Σενάρια εφαρμογής. Η θέση και οι κωδικοί εφαρμογής εμφανίζονται στους **Πίνακες 5.2-1,4,5**. Συγκεκριμένα, για το Σενάριο 1 (βλ. **Πίνακα 5-2-4**) τοποθετήθηκαν στις αντίστοιχες θέσεις Αργυρόφυλλη Λεύκα, που αποτελεί φυλλοβόλο είδος με μεγάλη ανάπτυξη και χαρακτηριστικό ασημένιο φύλλωμα καθώς επίσης Νερατζιές και Ελιές. Τα υπόλοιπα είδη που επιλέχθηκαν αφορούν τρισδιάστατα ενδεικτικά είδη δένδρων εμπνευσμένα από πραγματικά είδη δέντρου της βάσης δεδομένων του ENVI-met που προσομοιάζουν τα είδη που υπάρχουν στη περιοχή και δεν βρέθηκαν όμοια στη ΒΔ του λογισμικού (βλ. **Πίνακες 5.2-3,4**). Πρόσθετα, για το Σενάριο 3 και 4 τοποθετήθηκαν διάσπαρτα στο πλέγμα Ροβίνιες που αποτελεί Φυλλοβόλο είδος ακακίας με μεγάλη ανάπτυξη, ευρύτητα διαδεδομένο στο αστικό πράσινο της Αθήνας. Όταν χρησιμοποιείται σε δενδροστοιχίες προσφέρει αρκετή σκιά το καλοκαίρι με το φύλλωμά της και επιτρέπει τον ηλιασμό το χειμώνα, όταν τα κλαδιά της μένουν γυμνά. Η οδός Στουρνάρη αποτελεί παράδειγμα όπου διαθέτει ψηλή δενδροστοιχία από ροβίνιες.

Τα ενδεικτικά είδη κρίθηκαν ως καταλληλότερα προς εφαρμογή στη περιοχή μελέτης καθώς η δομή κάποιων διαθέσιμων καθορισμένων – πραγματικών ειδών δένδρων δεν προσάρμοζαν στο πλέγμα εφαρμογής της μελέτης. Ωστόσο το λογισμικό δίνει δυνατότητες παραμετροποίησης αυτών μέσω της εφαρμογής Albergo, ώστε ο χρήστης να δημιουργήσει και προσομοιάσει τις ακριβείς παράμετρους της βλάστησης που επιθυμεί.

Έπειτα σύμφωνα με τα διαθέσιμα υλικά από τις βάσεις δεδομένων του λογισμικού, SOILS και PROFILES και όπως φαίνονται στις δυσδιάστατες κατόψεις της περιοχής μελέτης (**βλ. Πίνακα 5.2-1**) καθορίστηκαν τα υλικά εδαφοκάλυψης και τα υλικά των κάθετων επιφανειών (τοιχοί, σκεπές, παράθυρα). Τα υλικά εδαφοκάλυψης για τα Σενάρια διαφοροποιήθηκαν σε σχέση με την γενική κατηγορία όπου ανήκουν. Οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν αναφέρονται στους Κεντρικούς Δρόμους, στους

Δρόμους ήπιας κυκλοφορίας, στους ακάλυπτους των κτιρίων και στη περιοχή η οποία καλύπτεται από τα κτίρια της περιοχής μελέτης. Τα πεζοδρόμια των δρόμων δεν συμπεριλήφθηκαν στη μοντελοποίηση καθώς το επιτρεπόμενο μέγεθος σχεδίασης (3x3μ) υπερέβαινε το μέγεθος ενός τυπικού πλάτος πεζοδρομίου, δηλαδή τα 1,5μ. Οι συγκεκριμένοι κωδικοί των υλικών που επιλέχθηκαν ανά Σενάριο, μαζί με τις ιδιότητες αυτών, αναλύονται στους **Πίνακες 5.2-2, 3**.

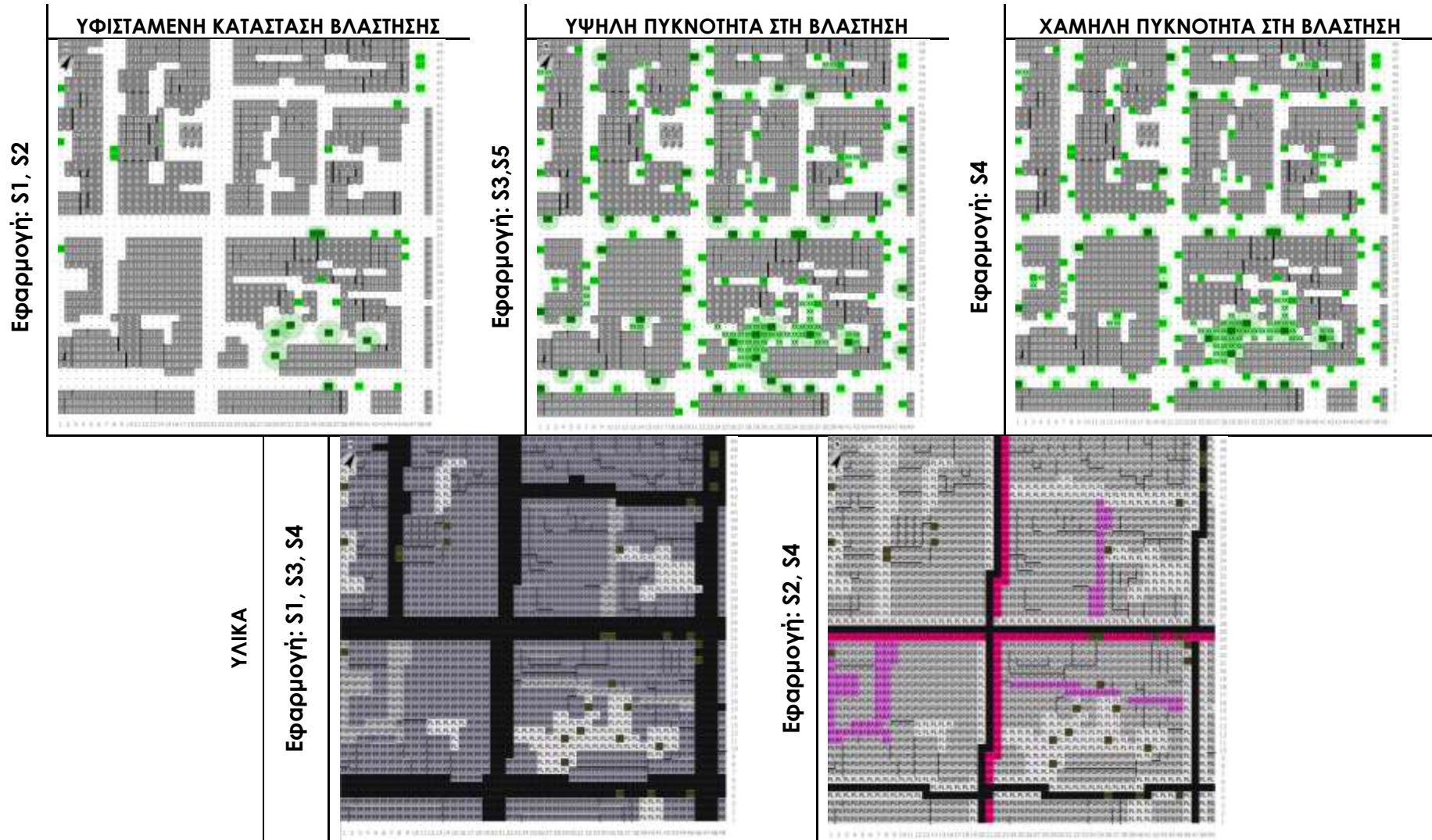
Αναλυτικότερα, η περιοχή μελέτης αποτελεί ένα τυπικό αστικό περιβάλλον όπου το μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται, πλην των δομημένων στοιχείων, από άσφαλτο (*Asphalt Road [ST]*), ενώ το κοινό σε χρήση υλικό κατασκευής οικοδομών στην Αθήνα αποτελεί το οπλισμένο σκυρόδεμα – τσιμέντο (*Concrete slab [CS]*). Για το 1^ο Σενάριο της υφιστάμενης κατάστασης επιλέχθηκαν κοινά υλικά κατασκευής που χαρακτηρίζονται από χαμηλή ανακλαστικότητα και υψηλό συντελεστή εκπομπής. Συγκεκριμένα, για τους κεντρικούς δρόμους επιλέχθηκε άσφαλτος, με συντελεστή χαμηλής ανακλαστικότητας albedo 0.2, ενώ για τους δρόμους ήπιας κυκλοφορίας επιλέχθηκε υλικό τύπου σκυροδέματος πεζοδρομίου με albedo 0.5, ενώ για τον ακάλυπτο χρησιμοποιήθηκε υλικό υψηλότερης ανακλαστικότητας με συντελεστή albedo 0.8. Ομοίως, στους τοίχους των κτιρίων ο συντελεστής ανακλαστικότητας είναι 0.3 ενώ στις σκεπές τα υλικά που επιλέχθηκαν ήταν είτε κοινό τσιμέντο είτε κεραμίδια με μέτρια μόνωση και συντελεστή ανακλαστικότητας 0.31. Τέλος, για τα παράθυρα στη υφιστάμενη κατάσταση, σύμφωνα με τα διαθέσιμα υλικά της ΒΔ του ENVI-met επιλέχθηκε ο τύπος clear float glass.

Τα υλικά κατασκευής της υφιστάμενης κατάστασης (Σενάριο 1) εφαρμόστηκαν αντιστοίχως και στα Σενάρια 3 και 4. Ενώ για τα Σενάρια 2 και 5 τα υλικά που προαναφέρθηκαν αντικαταστάθηκαν σε κάλυψη από «ψυχρά υλικά» όπου το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στις επιφάνειες αυτές ανακλάται περισσότερο, δηλαδή έχουν υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας (albedo). Στα ψυχρά υλικά, η υψηλή ανακλαστικότητα και ο υψηλός συντελεστή εκπομπής συμβάλει τόσο στη μικρότερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας όσο και στην ευκολότερη απομάκρυνση της θερμότητας κατά αντιστοιχία και συνεπώς στη δημιουργία μικρότερων επιφανειακών θερμοκρασιών.

Συγκεκριμένα, στους κεντρικού δρόμους το ποσοστό κάλυψης της ασφάλτου μειώθηκε με τη προσθήκη υλικών με υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας. Συγκεκριμένα περιμετρικά των κτιρίων επί των κεντρικών δρόμων προστέθηκε υλικό τύπου σκυροδέματος πεζοδρομίου με albedo 0.8 αλλά και επί των κεντρικών δρόμων Μύλων και Πλάτωνος υλικό κατασκευής ποδηλατόδρομου με albedo 0.5. Αντιστοίχως, οι δρόμοι ήπιας κυκλοφορίας πεζοδρομήθηκαν με υλικά δρόμου από τούβλα βασάλτη που έχουν συντελεστή ανακλαστικότητας 0.8. Όσον αφορά τα υλικά στις κάθετες επιφάνειες των κτιρίων (τοίχοι και σκεπές) αντικαταστήθηκαν από παθητικούς τοίχους/σκεπές με καλή μόνωση που διαθέτουν συντελεστή ανακλαστικότητας 0.49, ενώ τα παράθυρα με υλικό με προστασία στη ζέστη. Τέλος,

το Σούπερ Μαρκετ και το κτίριο επί των οδών Μύλων και Πλάτωνος μετατράπηκαν σε πράσινα κτίρια και καλύφθηκαν με βλάστηση με υψηλό δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), δηλαδή επικαλυπτόμενων φύλλων, ενώ το υλικό κάλυψης που επιλέχθηκε διαθέτει προφίλ υποστρώματος.

Πίνακας 5.2-1: Κατόψεις υλικών εδάφους και βλάστησης για τα Μοντέλα στη περιοχή μελέτης (SPACES, ENVI-met)



Πίνακας 5.2-2: Υλικά επικάλυψης κάθετων επιφανειών για τα Μοντέλα εφαρμογής (ΒΔ υλικών ENVI-met)

ΚΑΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ											
	Σενάριο	Αναγνωριστικός κωδικός	Όνομασία	Πάχος	Αναγνωριστικός κωδικός υλικού	Απορροφητικότητα	Ικανότητα Μετάδοσης	Ανακλαστικότητα	Συντελεστής εκπομπής	Ειδική Θερμότητα	Θερμική αγωγιμότητα
		Wall ID	Name	Thickness	Material ID	Absorption	Transmission	Reflection	Emissivity	Specific Heat	Thermal Conductivity
Τοίχοι	S1,S3,S4	0000CS	πλάκα σκυροδέματος	0.30	0000C3	0.7	0.0	0.3	0.9	840	0.86
	S2,S4	0000F1	παθητικός τοίχος (καλή μόνωση)	0.49	0000F1	0.42	0.12	0.46	0.9	1209.59	0.87
Σκεπές	S1,S3,S4	000000	Τυπικός τοίχος(μέτρια μόνωση)	0.31	0100IN	0.5	0.0	0.5	0.9	1500	0.07
					0100CO	0.5	0.0	0.5	0.9	850	1.6
	S2,S4	0000F1	παθητικός τοίχος (καλή μόνωση)	0.49	0000F1	0.42	0.12	0.46	0.9	1209.59	0.87
	S1,S3,S4,S5	0000R1	κεραμίδι	0.3	0000R1	0.5	0.0	0.5	0.9	800	0.84
Παράθυρα	S1,S3,S4	0000G4	καθαρή κατηγορία πλωτό λωμένο γυαλί (μία στρώση)	0.3	0000G4	0.05	0.9	0.05	0.9	750	1.05
	S2,S4	0000G1	γυαλί προστασίας από θερμότητα (ένα στρώμα)	0.3	0000G1	0.05	0.9	0.05	0.9	750	1
Πράσινη Πρόσοψη /σκεπή	S2,S4	01ANDS	Τύπος πράσινου υλικού χωρίς κενά μεταξύ των φύλλων								

Πίνακας 5.2-3: Υλικά εδαφοκάλυψης Μοντέλων εφαρμογής (ΒΔ υλικών ENVI-met)

		ΥΛΙΚΑ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ														
	Σενάριο Εφαρμογής	Αναγνωριστικός κωδικός προφίλ	Όνομασία	Ανακλαστικότητα	Συντελεστής εκπομπής	Αναγνωριστικός κωδικός εδαφοκάλυψης	Τεχνικό ό/Φυσικό	Νερό ως σημείο κορεσμού	Χωρητικότητα σε νερό	Σημείο μαρασμού	Δύναμη νερού συγκράτηση των στοιχείων του εδάφους	Υδραυλική αγωγιμότητα	Ογκομετρική θερμική ικανότητα	Παράμετρος των Clapp & Hornberger	Θερμική αγωγιμότητα	
		Profiles ID	Name	Albedo	Emissivity	Soils ID	T/N	Water content at saturation	Water content at field capacity	Water content at wilting point	Matrix potential	Hydraulic Conductivity	Volumetric heat capacity	Clapp & Hornberger Constant	Heat Conductivity	
Κεντρικοί δρόμοι	S1,S3,S4	0000ST	Άσφαλτος	0.2	0.9	AB	T	0	0	0	0	0	2.251	0	0.9	
						LE	N	0.48	0.255	0.179	-0.786	7.2	1.271	5.3	0	
	S2,S4	0000ST	Άσφαλτος	0.2	0.9											
						ZB	T	0	0	0	0	0	2.08	0	1.63	
						SD	N	0.395	0.135	0.068	-0.121	176	1.46	4.05	0	
						LE	N	0.48	0.255	0.179	-0.786	7.2	1.271	5.3	0	
						AB	T	0	0	0	0	0	2.251	0	0.9	
						AK	T	0	0	0	0	0	2.214	0	1.16	
						AB	T	0	0	0	0	0	2.251	0	0.9	
						LE	N	0.48	0.255	0.179	-0.786	7.2	1.271	5.3	0	
Δρόμοι ήπιας κυκλοφορίας	S1,S3,S4	0000PG	πεζοδρόμιο σκυροδέματος (γκρι)	0.5	0.9	ZB	T	0	0	0	0	0	2.08	0	1.63	
						SD	N	0.395	0.135	0.068	-0.121	176	1.46	4.05	0	
						LE	N	0.48	0.255	0.179	-0.786	7.2	1.271	5.3	0	
	S2,S4	0000BA	τούβλα βασάλτη	0.8	0.9	BA	T	0	0	0	0	0	2.386	0	1.73	
						SD	N	0.395	0.135	0.068	-0.121	176	1.46	4.05	0	
						LE	N	0.48	0.255	0.179	-0.786	7.2	1.271	5.3	0	
Ακάλυπτος	S1,S3,S4,S5	0000PL	πεζοδρόμιο σκυροδέματος (light)	0.8	0.9											

ΥΛΙΚΑ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ															
	Σενάριο Εφαρμογής	Αναγνωριστικός κωδικός προφίλ	Όνομασία	Αναλαστικότητα	Συντελεστής εκπομπής	Αναγνωριστικός κωδικός εδαφοκάλυψης	Τεχνικό/Φυσικό	Νερό ως σημείο κορεσμού	Χωρητικότητα σε νερό	Σημείο μαρασμού	Δύναμη νερού συγκράτηση των στοιχείων του εδάφους	Υδραυλική αγωγιμότητα	Ογκομετρική θερμική ικανότητα	Παράμετρος των Clapp & Hornberger	Θερμική αγωγιμότητα
		Profiles ID	Name	Albedo	Emissivity	Soils ID	T/N	Water content at saturation	Water content at field capacity	Water content at wilting point	Matrix potential	Hydraulic Conductivity	Volumetric heat capacity	Clapp & Hornberger Constant	Heat Conductivity
Κτίρια	S1,S3,S4	0000PP	πεζοδρόμιο σκυροδέματος (σε χρήση-παλιό)	0.4	0.9	ZB	T	0	0	0	0	0	2.08	0	1.63
						SD	N	0.395	0.135	0.068	-0.121	176	1.46	4.05	0
						LE	N	0.48	0.255	0.179	-0.786	7.2	1.271	5.3	0
	S2,S4	0000PG	πεζοδρόμιο σκυροδέματος (γκρι)	0.5	0.9										

Πίνακας 5.2-4: Επιλεγμένα Είδη Βλάστησης στο Μοντέλο υφιστάμενης Κατάστασης στη περιοχή μελέτης (Albero, ENVI-met)

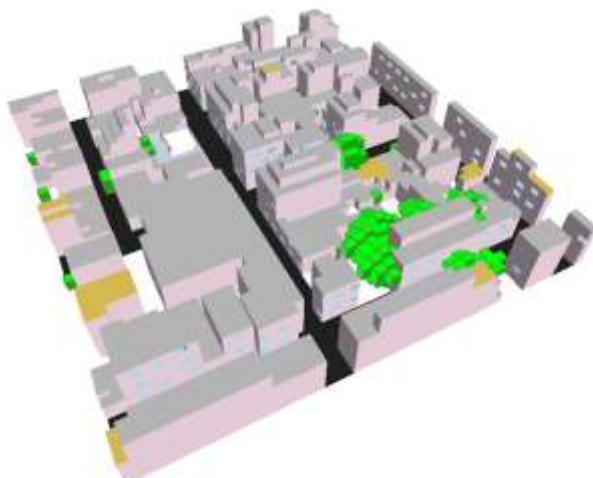
ID	Όνομα	Μέγεθος	Είδος	LAD	Albedo
0000ZI	Citrus aurantium - Νερατζιά	4x1	D	0.7	0.4
0000PA	Populus Alba - Αργυρόφυλλη Λεύκα	7x1.6	D	0.4	0.7
01ASDS	Conic, small trunk, dense , small	5x1	C	2.3	0.12
01HMDS	Heart-shaped, medium trunk, dense , small	5x1	D	1.1	0.18
01SSDS	Spherical, small trunk, dense , small	5x1	D	1.1	0.18
01OMDS	Cylindric, medium trunk, dense , small	5x1	D	1.1	0.18
01ALDM	Conic, large trunk, dense , medium	15x2.3	C	2.3	0.12
01ALSS	Conic, large trunk, sparse, small	5x1	C	1.4	0.12
01ALDS	Conic, large trunk, dense , small	5x1	C	2.3	0.12
01SMSM	Spherical, medium trunk, sparse, medium	15x3.6	D	0.3	0.18
01OLSS	Cylindric, large trunk, sparse, small	5x1	D	0.3	0.18

Πίνακας 5.2-5: Πρόσθετα εναλλακτικά είδη βλάστησης για τα Σενάρια Βλάστησης (Albero, ENVI-met)

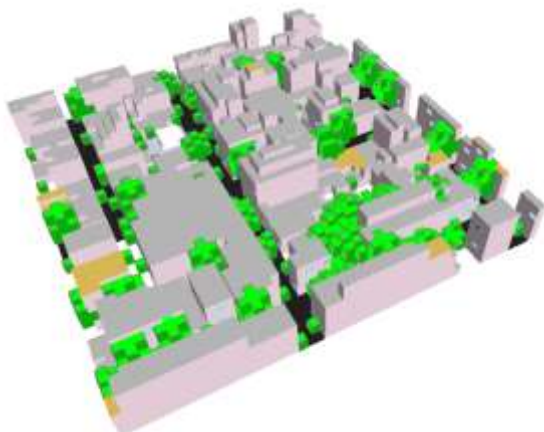
Είδος	Σενάριο 3 (και 5) – Υψηλό LAD			Σενάριο 4 – Χαμηλό LAD		
	Κωδικός	Μέγεθος	LAD	Κωδικός	Μέγεθος	LAD
Φυλλοβόλα - κυλινδρικά	01OMDM	15x3	1.1	0000PA	7x1.6	0.4
	01OSDS	5x1	1.1	0000ZI	4x1	0.7
Κωνοφόρα-Κωνικά	01ASDS	5x1	2.3	01ASSS	5x1	1.4
	01AMDM	15x2.3	2.3	01AMSM	15x2.3	1.4
	00003	12x2.3	2	00003	12x2.3	2

Πίνακας 5.2-6: Τρισδιάστατη άποψη των διαφορετικών Σεναρίων εφαρμογής (SPACES)

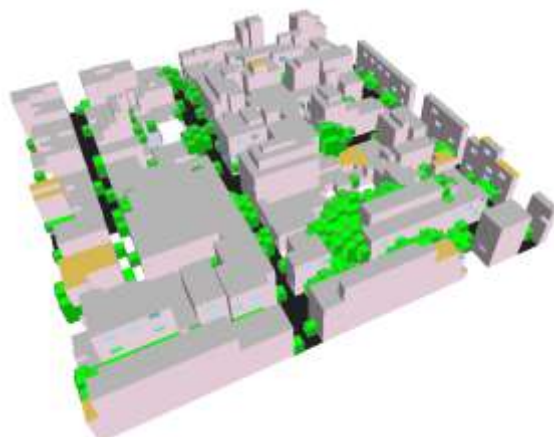
Σενάριο S1 – Υφιστάμενη Κατάσταση



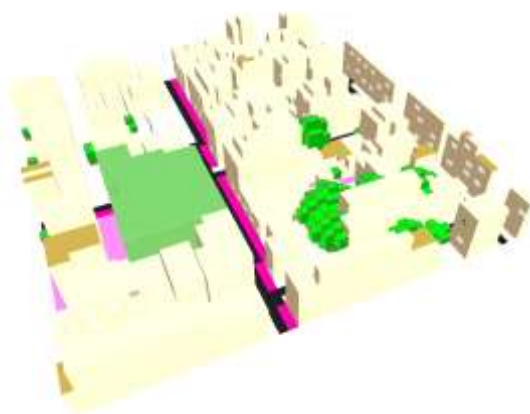
Σενάριο S3 – Υψηλό Δείκτη LAD / υλικά S1



Σενάριο S4 – Χαμηλό Δείκτη LAD / υλικά S1



Σενάριο S2 – Εναλλακτικά Υλικά / βλάστηση S1



Σενάριο S5 – Εναλλακτικά Υλικά / βλάστηση S3

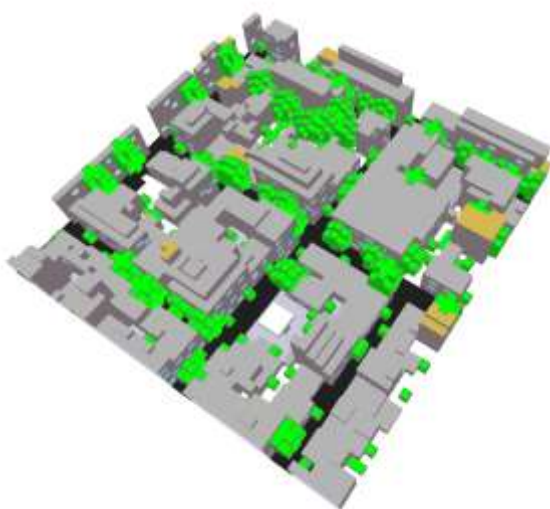


Πίνακας 5.2-7: Τρισδιάστατη άποψη των διαφορετικών Σεναρίων εφαρμογής

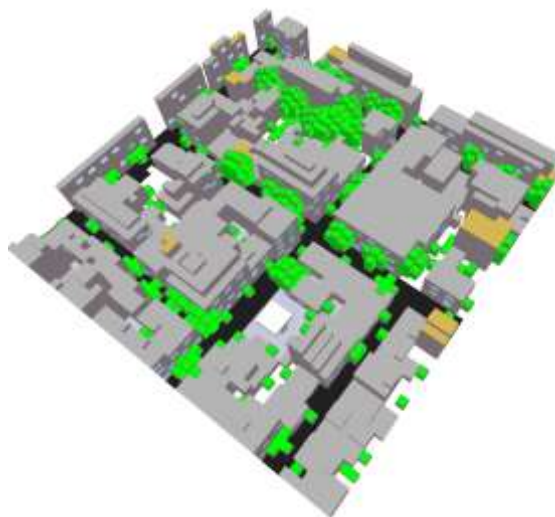
Σενάριο S1 – Υφιστάμενη Κατάσταση



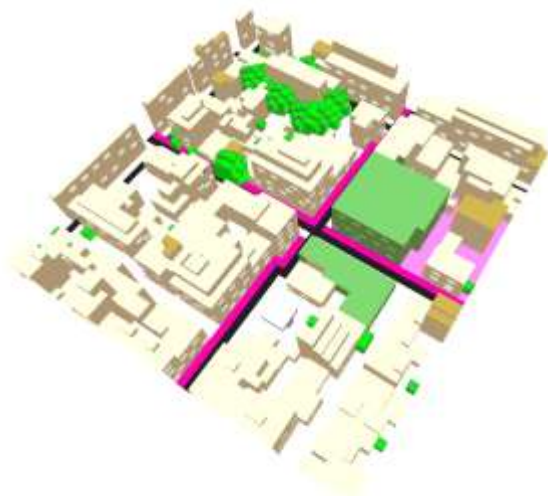
Σενάριο S3 – Υψηλό Δείκτη LAD / υλικά S1



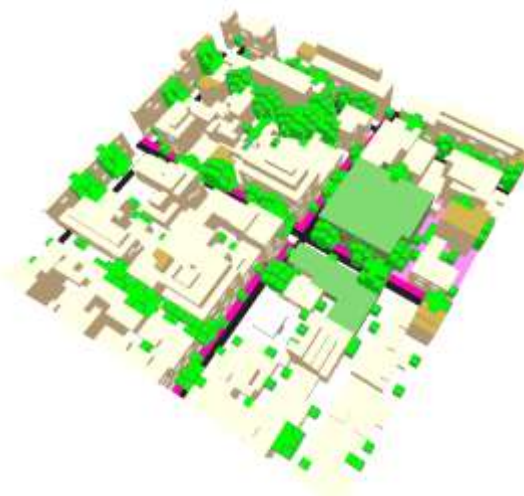
Σενάριο S4 – Χαμηλό Δείκτη LAD / υλικά S1



Σενάριο S2 – Εναλλακτικά Υλικά / βλάστηση S1



Σενάριο S5 – Εναλλακτικά Υλικά / βλάστηση S3

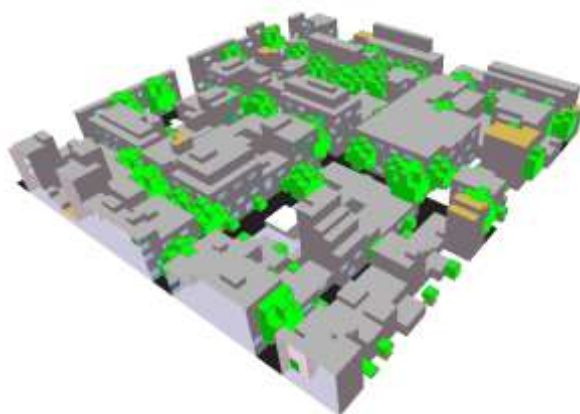


Πίνακας 5.2-8: Τρισδιάστατη άποψη των διαφορετικών Σεναρίων εφαρμογής

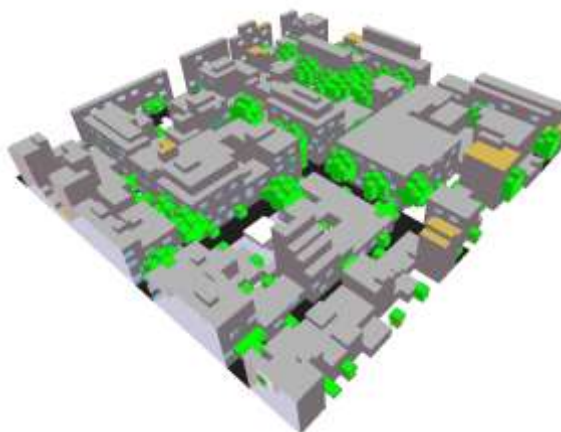
Σενάριο S1 – Υφιστάμενη Κατάσταση



Σενάριο S3 – Υψηλό Δείκτη LAD / υλικά S1



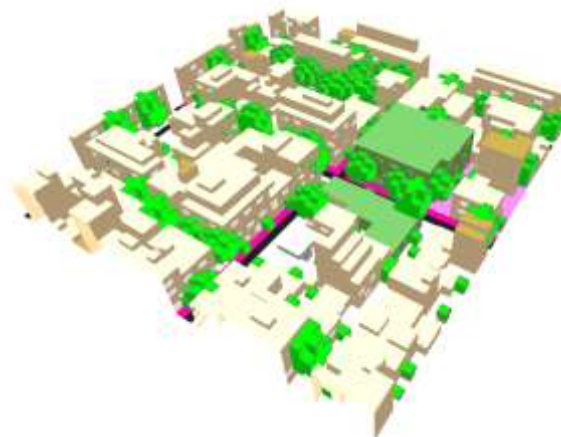
Σενάριο S4 – Χαμηλό Δείκτη LAD / υλικά S1



Σενάριο S2 – Εναλλακτικά Υλικά / βλάστηση S1



Σενάριο S5 – Εναλλακτικά Υλικά / βλάστηση S3



Στις παρακάτω ενότητες αναλύονται τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης εστιάζοντας στη μελέτη της θερμοκρασίας του αέρα στο περιβάλλοντα χώρο σύμφωνα με τα σενάρια που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

5.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών προσομοιώσεων για τα πέντε (5) Σενάρια εφαρμογής στη περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τόσο τα αποτελέσματα από τους υποδοχείς (receptors) που είχαν τοποθετηθεί κατά τον σχεδιασμό των μοντέλων στη εφαρμογή SPACES όσο και τα αποτελέσματα από το πλέγμα σχεδίασης σε επιλεγμένα και συγκεκριμένα επίπεδα – υψόμετρα των μοντέλων. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων οπτικοποιήθηκαν χρήση της εφαρμογής Leonardo του λογισμικού ENVI-met, ενώ η ποσοτική ανάλυση αυτών έγινε μέσω των υπολογιστικών φύλλων του excel και τη δημιουργία διαγραμμάτων. Η οπτικοποίηση έγινε τόσο σε δυσδιάστατες απεικονίσεις σε επιλεγμένα ύψη του μοντέλου όσο και σε τρισδιάστατες απεικονίσεις με τομές επί συγκεκριμένων οδικών αρτηριών.

Συγκεκριμένα, όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα αποτελέσματα των μοντέλων προσομοίωσης χαρακτηρίζονται βάση και του πλέγματος δημιουργίας αυτών. Για τη περιοχή μελέτης του μοντέλου που σχεδιάστηκε και το μέγεθος του πλέγματος διαμορφώνεται ως 49x49x30, ενώ η μέγιστη έκταση της περιοχής μελέτης του μοντέλου διαμορφώνεται ως 147m x 147m x 60m καθώς η διάσταση κάθε κελιού στο οριζόντιο κάρναβο μελέτης ορίζεται στα 3m, ενώ στο κάθετο άξονα τα 2m. Η μορφή του δικτύου των στρωμάτων των κελιών στο κατακόρυφο άξονα ακολουθούν όπως αναφέρθηκε την μέθοδο equidistant, όπου όλα τα στρώματα έχουν το ίδιο ύψος, πλην του χαμηλότερου που χωρίζεται σε 5 υποστρώματα με $dzs=0.2*dz$. Συνεπώς, η ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων ακολουθεί τη μορφή του δικτύου των στρωμάτων των κελιών στο κατακόρυφο άξονα για όλη την έκταση του μοντέλου (147m x 147m).

Η χρήση των 36 υποδοχέων «Receptors» που έγινε σε προηγούμενο βήμα (βλ. **Ενότητα 4.3.4**), έδωσε τη δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων στο κατακόρυφο για όλες τις θέσεις των σημείων των υποδοχέων του καννάβου. Συνεπώς, με την εκτέλεση των προσομοιώσεων η καθύψος ανάλυση των αποτελεσμάτων βασίστηκε στο σύνολο των θέσεων των υποδοχέων όπου για κάθε μία θέση αυτών προκύπτουν αποτελέσματα για όλα τα ύψη στο κατακόρυφο όπως αυτά εμφανίζονται στο **Πίνακα 4.3-3**. Από το σύνολο των 36 υποδοχέων στη ανάλυση των αποτελεσμάτων δεν λήφθηκαν υπόψη οι υποδοχείς που βρίσκονται στα όρια του μοντέλου (R1,10,23-27,R33) καθώς οι τιμές που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις στα όρια του μοντέλου χαρακτηρίζονται από αστάθεια και μπορεί να επηρεάζουν τις τιμές ανάλυσης του μοντέλου. Ομοίως, από την ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων με βάση το πλέγμα μοντελοποίησης εξαιρέθηκαν περιμετρικά από το μοντέλο 4 κυψέλες.

5.3.1. Υψομετρική ανάλυση θερμοκρασίας αέρα στα Σενάρια

Στη παρούσα Ενότητα αναλύεται η μέση κατάσταση της θερμοκρασίας του αέρα, ως η σημαντικότερη παράμετρος που επηρεάζει το μικροκλίμα μιας περιοχής και πώς αυτή διαφοροποιείται καθ' ύψος σύμφωνα με τις τοπικές διαφοροποιήσεις του αστικού μικροκλίματος για τα πέντε σενάρια εφαρμογής. Η θερμοκρασία του αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντική όπως έχει τονιστεί διότι επηρεάζει τις εναλλαγές της υγρασίας και τη μεταφορά θερμότητας από και προς την αστική επιφάνεια. Συνεπώς το πεδίο της θερμοκρασίας και το πεδίο της υγρασίας καθορίζονται από τα πεδία της ακτινοβολίας και του ανέμου. Τέλος, τα πεδία της θερμοκρασίας και της υγρασίας λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης.

Συνεπώς, κατά το σχεδιασμό του μοντέλου προσομοίωσης, όπως περιγράφηκε στην **Ενότητα 4.3-5**, και χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα για τις 9/8/2019 του Μετεωρολογικού Σταθμού στο Θησείο, έγινε ο καθορισμός των αρχικών παραμέτρων έναρξης της προσομοίωσης. Σύμφωνα με τις αρχικές τιμές της θερμοκρασίας του αέρα από το Μετεωρολογικό Σταθμό, στο **Σχήμα 5.3-1** γίνεται η σύγκριση αυτών με τα αποτελέσματα του 1^{ου} σεναρίου της υφιστάμενης κατάστασης, όπως αυτά διαμορφώθηκαν βάση του αστικού μικροκλίματος της περιοχής μελέτης. Από τη σύγκριση φαίνεται ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ακολουθούν τις τιμές του μετεωρολογικού σταθμού. Ωστόσο η αστική μορφολογία της περιοχής του μοντέλου φαίνεται να διαφοροποιεί τις τιμές αυτών.



Σχήμα 5.3-1: Σύγκριση αποτελεσμάτων 1^{ου} Σεναρίου σε σχέση με τις αρχικές τιμές του μετεωρολογικού σταθμού

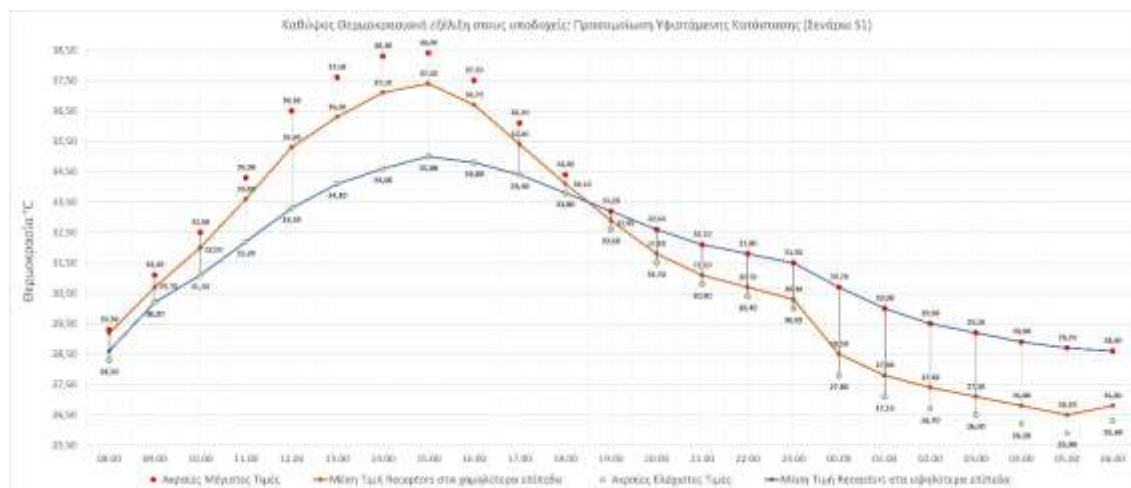
Οι δύο τοποθεσίες διαφοροποιούνται αρκετά τοπολογικά και μορφολογικά καθώς το ανάγλυφο στη υπό μελέτη περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα έντονα αστικό τοπίο,

ενώ η θέση του σταθμού στο Θησείο είναι μεγαλύτερα καθώς βρίσκεται σε υψηλότερο υψόμετρο (107μ από τη στάθμη της θάλασσας) απ' ό τι η περιοχή μελέτης στην Ακαδημία Πλάτωνος (35μ από τη στάθμη της θάλασσάς). Κατά τη διάρκεια της ημέρας η μέγιστες θερμοκρασίες μεταξύ των αποτελεσμάτων προσομοίωσης του μοντέλου και των τιμών του Μετεωρολογικού Σταθμού φαίνεται να ταυτίζονται, ενώ προς το βράδυ οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα από το Μετεωρολογικό Σταθμό τείνουν να είναι μικρότερες. Αυτό συμβαίνει γιατί το σημείο του θερμικού δεκτή του σταθμού βρίσκεται σε σημείο ελεύθερο από το δομημένο περιβάλλον ανοικτό (στο λόφο Νυμφών, Αστεροσκοπείου Θησείου), με την συσσωρευμένη θερμότητα να αποδίδεται γρηγορότερα στον νυχτερινό ουρανό. Τέλος, η θερμοκρασιακή διαφοροποίηση για τις πρωινές και βραδινές ώρες έγκειται στο ότι τα αποτελέσματα από την προσομοίωσης χαρακτηρίζονται από μεγάλη αστάθεια τις πρώτες και τελευταίες ώρες της προσομοίωσης.



Εικόνα 5.3-1: Θέση και απόσταση Μετεωρολογικού Σταθμού στο Θησείο σε σχέση με την περιοχή μελέτης

Σύμφωνα με το **Σχήμα 5.3-2** και την υψομετρική ανάλυση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης για την υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής μελέτης διαπιστώνεται η σημασία βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος για την εν λόγω περιοχή η οποία αποτελεί μια περιοχή με πυκνή δόμηση αλλά και την απουσία στοιχείων πρασίνου στις βασικές οδικές αρτηρίες. Συγκεκριμένα, η μέση μέγιστη θερμοκρασία για τα χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα του μοντέλου είναι 37,4°C το μεσημέρι (14:00-15:00) ενώ σημειικά παρατηρήθηκε να αυξάνεται στους 38,4°C.



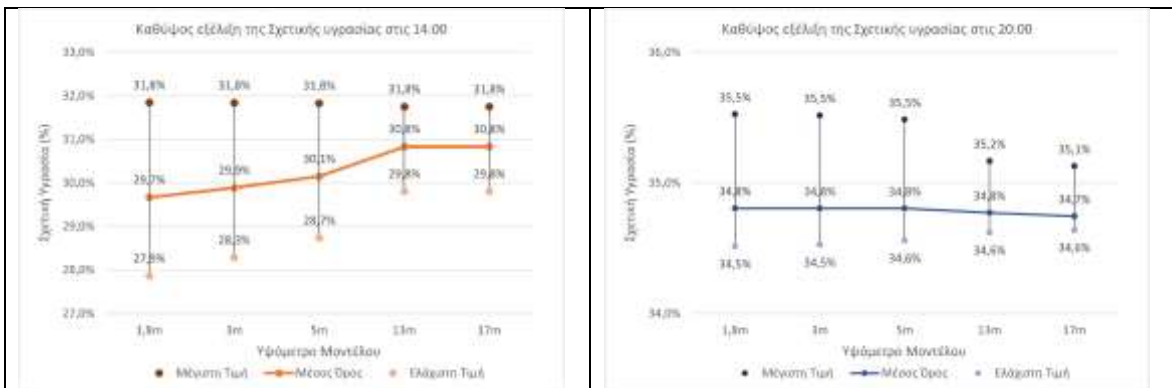
Σχήμα 5.3-2: Θερμικές Συνθήκες Υπάρχουσας Κατάστασης - Σενάριο 1

Παρατηρώντας όμως τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα διάφορα εναλλακτικά μοντέλα εφαρμογής και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από τους υποδοχείς προκύπτει ότι η θερμοκρασία του αέρα εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο σε όλα τα σενάρια εφαρμογής τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και για τα διάφορα υψομετρικά επίπεδα πληροφορίας (βλ. **Σχήμα 5.3-2,4,5,6,7**). Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία φαίνεται να αυξάνεται από το πρωί προς το μεσημέρι με τις μέγιστες τιμές αυτής να διαπιστώνονται στις 14:00-15:00 το μεσημέρι, ενώ ακολούθως, η θερμοκρασία αρχίζει να φθίνει μετά τις 15:00 τόσο για τα χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα του μοντέλου όσο και για τα υψηλότερα.

Πρόσθετα, αυτό που παρατηρείται τόσο στο μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης όσο και στα παραμετρικά εναλλακτικά σενάρια εφαρμογής είναι ότι η θερμοκρασιακή διακύμανση κατά τη διάρκεια της μέρας (24h), για τα υψηλότερα υψομετρικά επίπεδα του μοντέλου, όπου δεν υπάρχει δομημένο περιβάλλον παρουσιάζει σταθερή τάση εξέλιξης, ενώ αντίθετα με την παρουσία δομημένου περιβάλλοντος ή εμποδίων (π.χ. βλάστηση) στα χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα των μοντέλων η θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση κατά τη διάρκεια της μέρας, με ακραίες τιμές να καταγράφονται τις μεσημεριανές ώρες. Συνεπώς, φαίνεται ότι η αστική μορφολογία και οι επιμέρους παράμετροι που καθορίζουν την θερμική της συμπεριφορά του περιβάλλοντος και έχουν ως αποτέλεσμα καθ ύψος διαφοροποιήσεις κατά τη διάρκεια της μέρας.

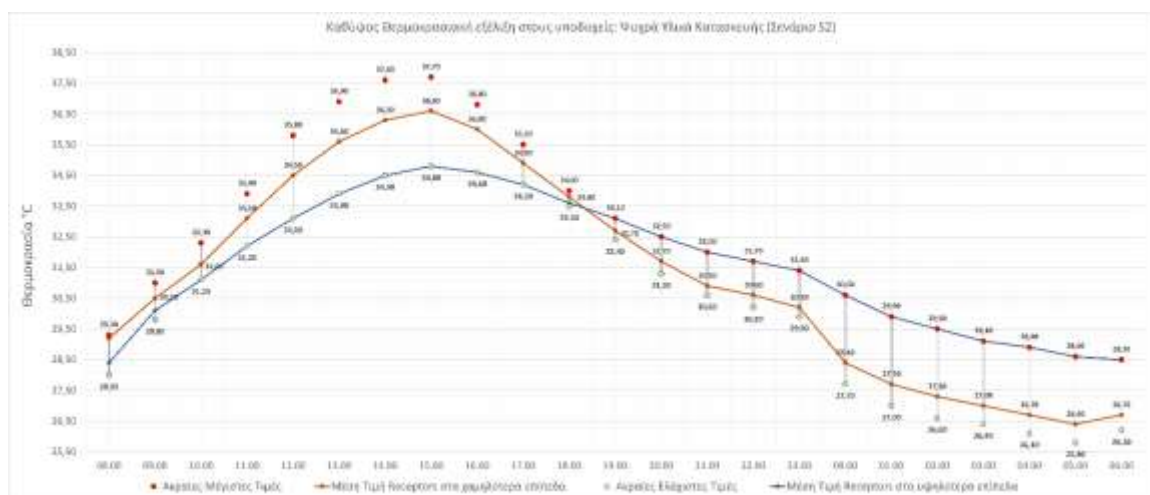
Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το **Σχήμα 5.3-2** για το μοντέλο του 1^{ου} Σεναρίου η μέση θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα μεταξύ μεσημέρι στις 15:00 και βράδυ στις 20:00, για τα χαμηλότερα στρώματα, είναι μειωμένη κατά $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ για τα υψηλότερα στρώματα κατά $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η επίδραση της αστικής μορφολογίας και των υλικών εδαφοκάλυψης φαίνεται να επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη θερμοκρασία του αέρα στα χαμηλότερα στρώματα, καθώς οι επιφάνειες υπερθερμαίνονται, όταν εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας

του αέρα, ενώ οι δομημένοι όγκοι λειτουργούν ως αδιαπέραστο εμπόδιο στην πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας, που μπορεί να την ανακλάσει, να την απορροφήσει ή να τη επανεκπέμψει.



Σχήμα 5.3-3:Καθ' ύψος εξέλιξη της σχετικής υγρασίας στο υφιστάμενο μοντέλο για τις 14:00 το μεσημέρι και 20:00 το βράδυ

Παρατηρώντας την εξέλιξη της σχετικής υγρασίας όπως αυτή διαστρωματώνεται καθ' ύψος στο μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης για δύο φάσεις μέσα στην ημέρα, συμπεραίνεται ότι τις μεσημεριανές ώρες η σχετική υγρασία αυξάνεται καθ' ύψος, δηλαδή κυμαίνεται από 29,7% στα χαμηλότερα επίπεδα έως και 30,8% στα υψηλότερα, ενώ για τις βραδινές ώρες παραμένει σχεδόν σταθερή (34,8%) καθ' ύψος στο μοντέλο (βλ. **Σχήμα 5.3-3**). Γι' αυτό τον λόγο η θερμοκρασία φαίνεται να εξελίσσεται σε σταθερό ρυθμό στα υψηλότερα υψομετρικά επίπεδα, ενώ αντιθέσεις και αυξομειώσεις παρουσιάζονται στα χαμηλότερα στρώματα.



Σχήμα 5.3-4: Χρήση Ψυχρών Υλικών Κατασκευής – Σενάριο 2

Αναλύοντας τα αποτελέσματα από τα εναλλακτικά σενάρια εφαρμογής και παρατηρώντας το **Σχήμα 5.3-4**, η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής μπορεί να μειώσει τη μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα στο μικροκλίμα της περιοχής στις 15:00 στους 36,6°C, με τοπικά ακραίες τιμές στους 37,7°C. Ενώ η μέση

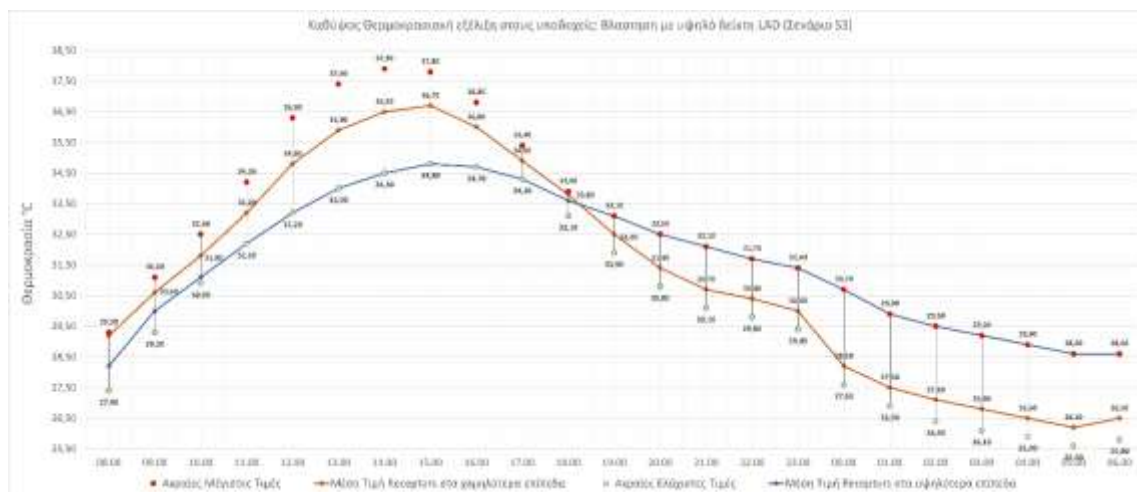
Θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα μεταξύ μεσημέρι στις 15:00 και βράδυ στις 20:00, για τα χαμηλότερα στρώματα, είναι μειωμένη κατά 4,9°C, ενώ για τα υψηλότερα στρώματα κατά 2,3 °C

Παρακάτω στο **Σχήμα 5.3-5** και **5.3-6** παρουσιάζονται η καθ' ύψος εξέλιξη της θερμοκρασίας στα δύο εναλλακτικά μοντέλα βλάστησης που εφαρμόστηκαν στη περιοχή μελέτης. Η χρήση βλάστησης με είδη που έχουν υψηλή πυκνότητα σε φύλλωμα μπορεί να μειώσει τη μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα στο μικροκλίμα της περιοχής στις 15:00 στους 36,7°C, με τοπικά ακραίες τιμές στους 37,8°C. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής (Σενάριο 2) βελτιώνει της συνθήκες θερμοκρασίας στο μικροκλίμα λίγο περισσότερο τις πρωινές-μεσημεριανές ώρες σε σχέση με το μοντέλο εφαρμογής της βλάστησης με υψηλό δείκτη πυκνότητας LAD. Ωστόσο αυτό αντιστρέφεται για τις απογευματινές ώρες, καθώς η παρουσία βλάστησης υποδεικνύει ότι μετά τις 19:00 βοηθά περισσότερο στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα.

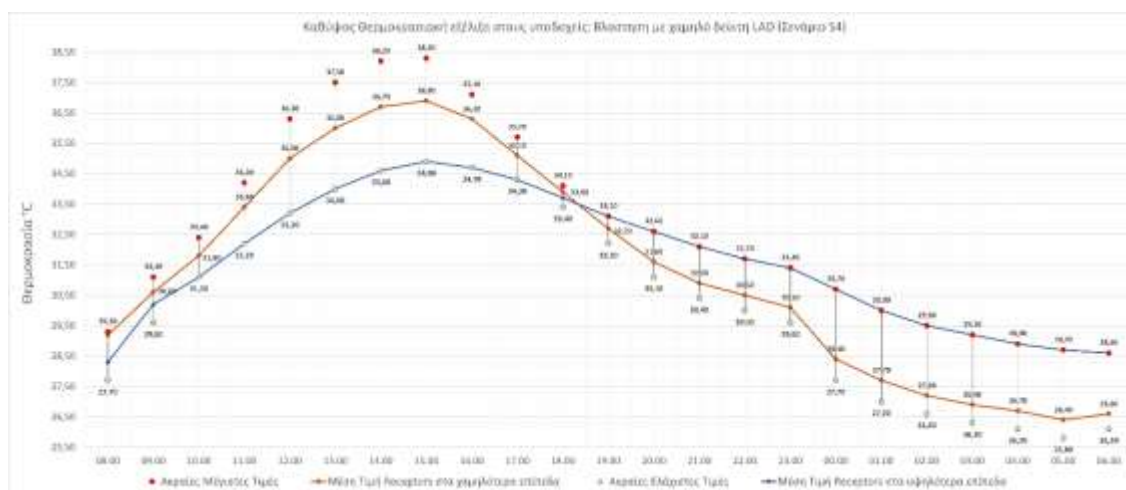
Η μέση θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα μεταξύ μεσημέρι στις 15:00 και βράδυ στις 20:00, για τα χαμηλότερα στρώματα στο 3^ο Σενάριο εφαρμογής, είναι μειωμένη κατά 4,1°C, ενώ για τα υψηλότερα στρώματα κατά 2,3 °C. Ενώ η μέση θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα μεταξύ μεσημέρι στις 15:00 και βράδυ στις 20:00, για τα χαμηλότερα στρώματα του 4^{ου} Σεναρίου, είναι μειωμένη κατά 4,3°C, ενώ για τα υψηλότερα στρώματα κατά 2,3 °C. Από το παραπάνω προκύπτει ότι η βλάστηση με υψηλό δείκτη πυκνότητας σε φύλλωμα δημιουργεί ευνοϊκότερες θερμοκρασιακά συνθήκες κατά τη διάρκεια της ημέρας στη περιοχή μελέτης με μια τάξη μείωσης 0,10-0,20°C σε σχέση με τη ύπαρξη βλάστησης με χαμηλό δείκτη πυκνότητας.

Αντίστοιχα, η χρήση βλάστησης με είδη που έχουν χαμηλή πυκνότητα σε φύλλωμα μπορεί να μειώσει τη μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα στο μικροκλίμα της περιοχής στις 15:00 στους 36,9°C, με τοπικά ακραίες τιμές στους 38,3°C. (βλ. **Σχήμα 5.3-6**).

Συνεπώς, η ύπαρξη βλάστησης χαμηλή σε πυκνότητα μπορεί να μειώσει 0,5°C κατά μέσο όρο τη θερμοκρασία του αέρα τις μεσημεριανές ώρες σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο κατανομής, η ύπαρξη βλάστησης υψηλή σε πυκνότητα κατά 0,7°C, ενώ η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής κατά 0,8°C.



Σχήμα 5.3-5: Χρήση διαφορετικών πυκνοτήτων στη Βλάστηση – Σενάριο 3 με υψηλό δείκτη LAD



Σχήμα 5.3-6: Χρήση διαφορετικών πυκνοτήτων στη Βλάστηση – Σενάριο 4 με χαμηλό δείκτη LAD

Μελετώντας συνολικά τα αποτελέσματα από τους υποδοχείς των μοντέλων και εφαρμόζοντας σε μια πρόταση βελτίωσης μικροκλίματος τις παραμέτρους αλλαγής ψυχρών υλικών και υιοθέτηση βλάστησης με υψηλή πυκνότητα σε φύλλωμα, προκύπτει ότι η μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα στο μικροκλίμα της περιοχής στις 15:00 μπορεί να μειωθεί στους 36°C, με τοπικά ακραίες τιμές στους 37,2°C (βλ. **Σχήμα 5.3-7**). Συνεπώς, με τη εφαρμογή του 5^ο Σεναρίου μπορεί να μειώσει 1,4°C κατά μέσο όρο τη θερμοκρασία του αέρα τις μεσημεριανές ώρες σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο κατανομής. Ενώ παράλληλα η μέση θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα μεταξύ μεσημέρι στις 15:00 και βράδυ στις 20:00, για τα χαμηλότερα στρώματα, είναι μειωμένη κατά 4,7°C, ενώ για τα υψηλότερα στρώματα κατά 2,3 °C



Σχήμα 5.3-7: Πρόταση Βελτίωσης Μικροκλίματος (Χρήση ψυχρών υλικών και υψηλή πυκνότητα σε βλάστηση)- Σενάριο 5

Σε συνέχεια των όσον περιγράφηκαν παραπάνω και σύμφωνα με το συγκεντρωτικό **Πίνακα 5.3-1** για τη μέση θερμοκρασία στα υψηλότερα και χαμηλότερα υψομετρικά στρώματα των μοντέλων για τις 15:00 και 20:00, η εξέλιξη της θερμοκρασίας του αέρα στα υψηλότερα επίπεδα δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τα διάφορα παραμετρικά σενάρια που εφαρμόστηκαν στη περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία στις 15:00 κυμαίνεται σταθερά στους 34,7°C - 35°C, ενώ στις 20:00 στους 32,4°C - 32,6°C. Αντιθέτως στα χαμηλότερα επίπεδα η θερμοκρασία του αέρα φαίνεται να επηρεάζεται σε σχέση με το παραμετρικό μοντέλο εφαρμογής που υλοποιήθηκε. Η χρήση ψυχρών υλικών μπορεί το μεσημέρι να μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα κατά 0,8°C αλλά το βράδυ δεν δημιουργεί θερμοκρασιακή μείωση σε σύγκριση με τα μοντέλα βλάστησης που συμβάλουν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας στη μείωση της θερμοκρασίας στα χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα. Πρόσθετα, στα μοντέλα βελτίωσης του μικροκλίματος (S2-5) φαίνεται ότι η υψομετρική διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ χαμηλότερων και υψηλότερων στρωμάτων να μειώνεται, καθώς μειώνεται και η θερμοκρασία που υπάρχει και στα χαμηλότερα επίπεδα. Για παράδειγμα η θερμοκρασιακή διακύμανση μεταξύ υψηλότερων και χαμηλότερων στρωμάτων στις 15:00 για το 1^ο Σενάριο είναι 2,4°C, ενώ στο 5^ο Σενάριο είναι 1,3°C.

Πίνακας 5.3-1: Συγκεντρωτικός Πίνακας αποτελεσμάτων της μέσης θερμοκρασίας του αέρα στα παραμετρικά σενάρια εφαρμογής για τις 15:00 και 20:00

	Χαμηλότερα στρώματα (ΧΣ)				Υψηλότερα στρώματα (ΥΣ)		15:00 - 20:00		15:00	20:00
	15:00		20:00		15:00	20:00	ΧΣ	ΥΣ		
S1	-	37,4 (38,4)	-	31,8	35	32,6	5,6	2,4	2,4	0,8
S2	0,8°C	36,6 (37,7)	0,1°C	31,7	34,8	32,5	4,9	2,3	1,8	0,8
S3	0,7°C	36,7 (37,8)	0,4°C	31,4	34,8	32,5	4,1	2,3	1,9	1,1
S4	0,5°C	36,9 (38,3)	0,2°C	31,6	34,9	32,6	4,3	2,3	2	1
S5	1,4°C	36 (37,2)	0,5°C	31,3	34,7	32,4	4,7	2,3	1,3	1,1

Αναλυτικότερα, γίνεται περιγραφή στις επόμενες ενότητες όπου και γίνεται καθ' ύψος σύγκριση μέσω σχημάτων και απεικονίσεων ώστε να γίνει καλύτερα αντιληπτή η χωρική κατανομή και διαφοροποίηση των τιμών της θερμοκρασίας.

Στο παρακάτω **Πίνακα 5.3-2** εμφανίζεται αναλυτικότερα μέσω διαγραμμάτων η υψομετρική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας για τα πέντε παραμετρικά σενάρια που εφαρμόστηκαν στη περιοχή μελέτης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία αυξάνεται σταθερά από τις 6:00 το πρωί μέχρι τις 15:00 το μεσημέρι, ενώ η πτώση αυτής υφίσταται σταδιακά μετά τις 15:00.

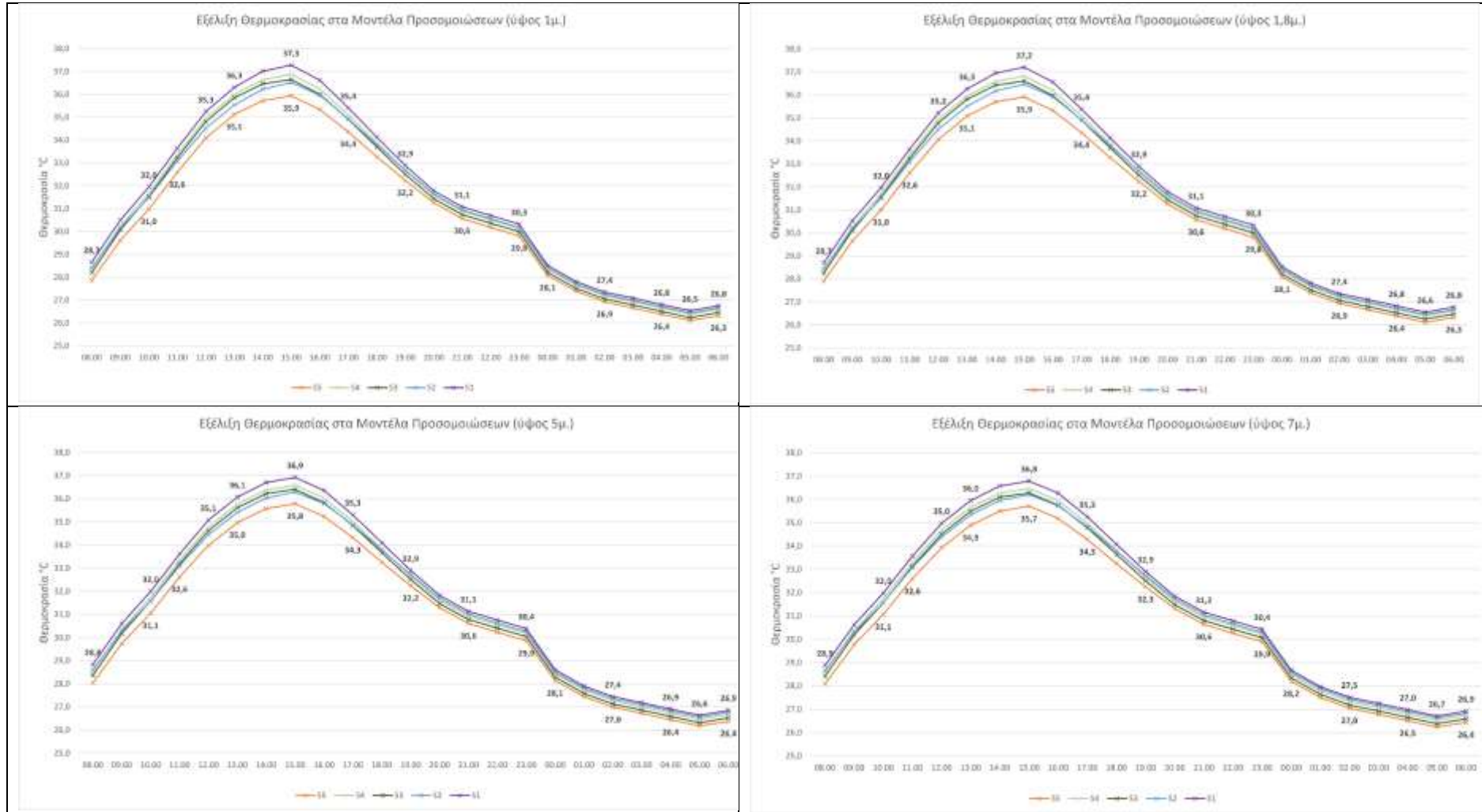
Αναλυτικότερα, μέχρι τα 13μ. υψομέτρου η θερμοκρασιακή εξέλιξη φαίνεται να διαφοροποιείται περισσότερο μεταξύ των παραμετρικών σεναρίων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Για υψόμετρα μεταξύ 13-29μ. η παραμετρική διαφοροποίηση μεταξύ των μοντέλων εφαρμογής με τη επιλογή διαφορετικών σεναρίων κάλυψης κάθετων και οριζόντιων επιφανειών φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο τις ώρες επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας εστιάζοντας μεταξύ 11:00-17:00, ενώ για τα υψηλότερα στρώματα (33-59μ.) η θερμοκρασία φαίνεται να εξισώνεται χωρίς μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των μοντέλων.

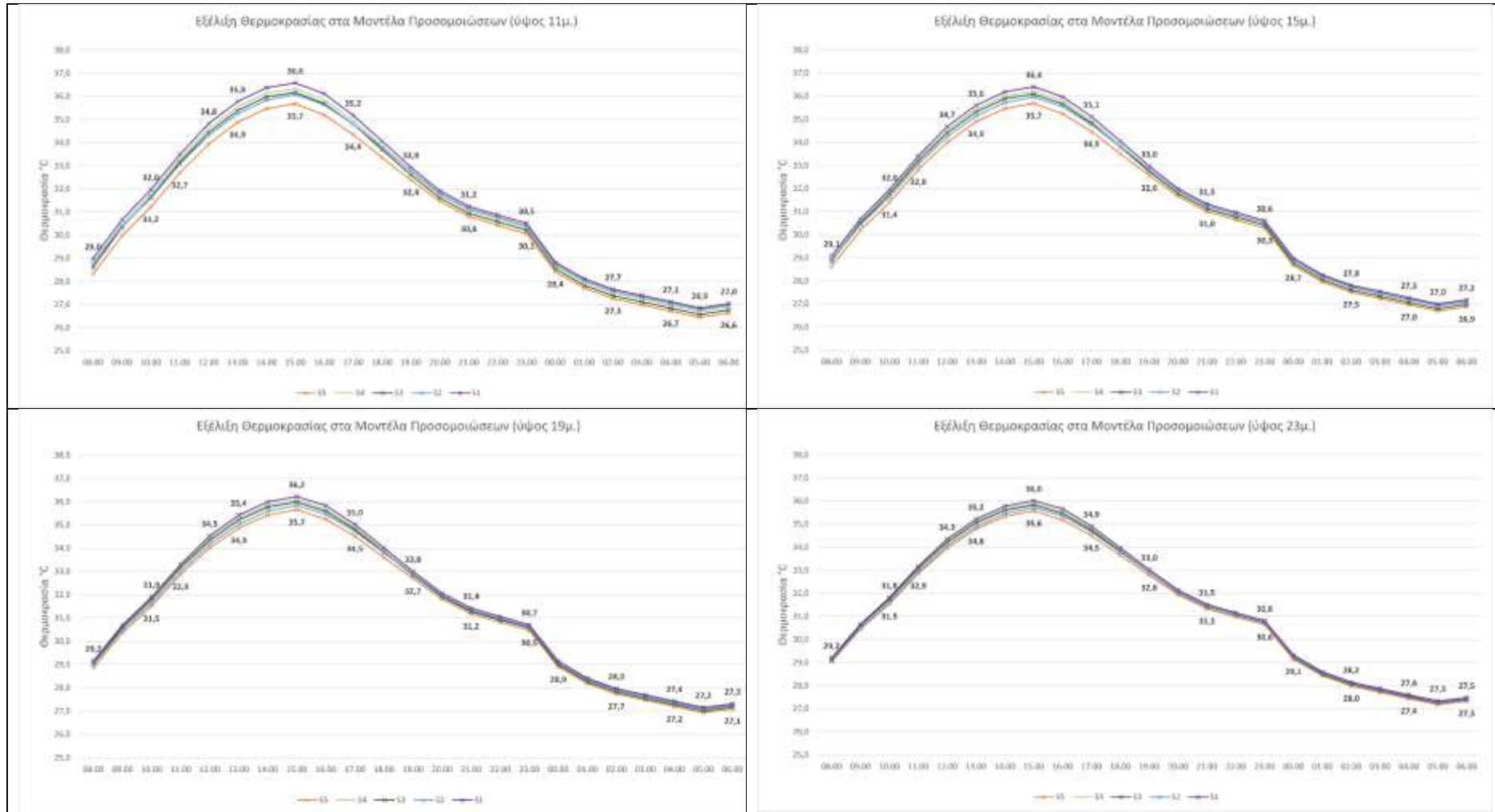
Αξιολογώντας χωρικά το μοντέλο η αστική μορφολογία φαίνεται να είναι αυτή που επηρεάζει και τη καθ' ύψος θερμοκρασιακή εξέλιξη μεταξύ των παραμετρικών σεναρίων για τη διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα, όπως αποτυπώθηκε στα διαγράμματα αποτελεσμάτων, τα 13μ. υψομέτρου είναι το μέσο όριο επίδρασης όπου και διαφοροποιούνται θερμοκρασιακά οι τιμές μεταξύ των παραμετρικών σεναρίων για όλη τη διάρκεια της ημέρα, καθώς το μέσο υψόμετρο των κτιρίων του μοντέλου φτάνει τα 15μ.

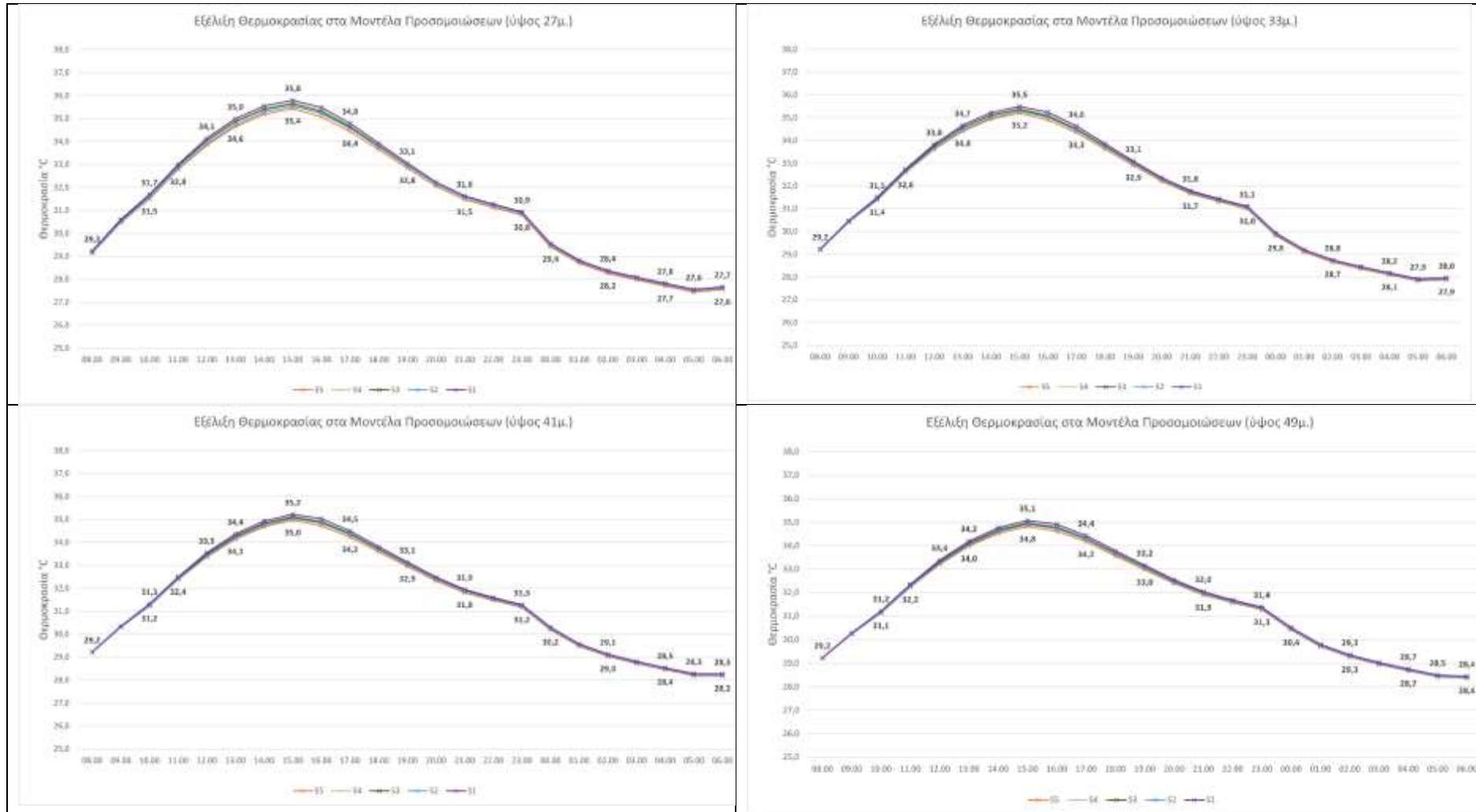
Από τα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται συγκριτικά η θερμοκρασιακή βελτίωση του μικροκλίματος των τεσσάρων παραμετρικών σεναρίων εφαρμογής σε σχέση με το 1^ο Σενάριο μοντελοποίησης της υφιστάμενης κατάστασης. Όπως διαπιστώθηκε το 5^ο Σενάριο είναι εκείνο που καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας βελτίωσε θερμοκρασιακά τις θερμικές συνθήκες στη περιοχή μελέτης. Ωστόσο, ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των υπόλοιπων παραμετρικών σεναρίων (S2-S3-S4) σε σχέση με τη θερμοκρασιακή βελτίωση που μπορούν να προσφέρουν στη περιοχή μελέτης καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα, για το μέσο υψομετρικό όριο επίδρασης (13μ.) των παραμετρικών σεναρίων φαίνεται χαρακτηριστικά ότι για τη χρονική διάρκεια 11:00-16:00, η θερμοκρασιακή βελτίωση που επιφέρει η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής (2^ο Σενάριο) σε σχέση με την εφαρμογή παρόδιας βλάστησης υψηλή σε πυκνότητα φυλλώματος (3^ο Σενάριο) είναι μεγαλύτερη, ενώ η εφαρμογή βλάστησης χαμηλή σε πυκνότητα φυλλώματος (4^ο Σενάριο) συγκριτικά δεν λειτουργεί βελτιωτικά. Ο χαρακτήρας επίδρασης των παραμετρικών μοντέλων εφαρμογής φαίνεται να διαφοροποιείται από τις 16:00 μέχρι τις 18:00 όπου και τα τρία παραμετρικά μοντέλα (S2-S3-S4) βελτιώνουν θερμοκρασιακά το μοντέλο με

παρόμοιο τρόπο. Μετά τις 18:00, η θερμοκρασιακή βελτίωση του μοντέλου προέρχεται πρωταρχικά από τα μοντέλα βλάστησης και δευτερευόντως από την εφαρμογή ψυχρών υλικών, ενώ συγκριτικά η θερμοκρασιακή βελτίωση που επιφέρει το 3^ο Σενάριο είναι σταθερά καλύτερη του 4^{ου} Σεναρίου.

Πίνακας 5.3-2: Διαγράμματα σύγκρισης της μέσης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με το υψόμετρο καταγραφής

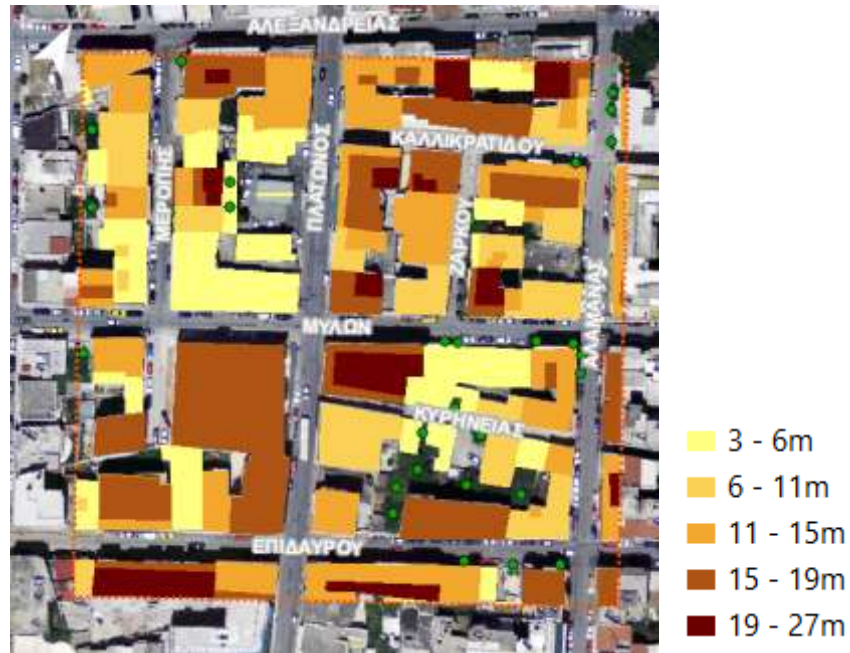
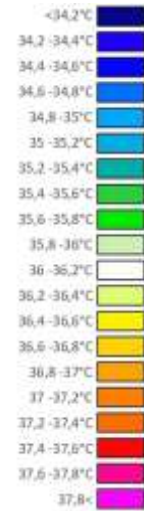






5.3.2. Δυσδιάστατη απεικόνιση αποτελεσμάτων ανά υψόμετρο

Στο παρακάτω **Πίνακα 5.3-4** απεικονίζεται η καθ' ύψος χωρική κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα για τα πέντε παραμετρικά μοντέλα εφαρμογής της περιοχής μελέτης για τη θερμοκρασιακή εξέλιξη αυτής μέχρι το όριο επίδρασης της αστικής μορφολογίας (15-17μ.) αλλά και για τις 14:00 το μεσημέρι όπου παρατηρείται έντονη θερμοκρασιακή διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών υλικών και επιφανειών κάλυψης των σεναρίων. Στοχεύοντας στην αναλυτικότερη αποτύπωση των θερμοκρασιακών διαφοροποιήσεων εντός του δομημένου περιβάλλοντος στην περιοχή μελέτης στην Ακαδημία Πλάτωνος, η χωρική απεικόνιση των αποτελεσμάτων έγινε με ταξινόμηση των τιμών σε 20 θερμοκρασιακές κλάσεις με ισοδιάσταση 0,20°C.



Σχήμα 5.3-8: Αστική μορφολογία δομημένου περιβάλλοντος στη περιοχή μελέτης (ύψη κτιρίων)

Από τις παρακάτω εικόνες (βλ. **Πίνακα 5.3-4**) στο 1^ο Σενάριο φαίνεται ότι η θερμοκρασιακή υποβάθμιση της περιοχής για τις 14:00 γίνεται κυρίως στη βορειοανατολική πλευρά του μοντέλου, ως η περιοχή που είναι εκτεθειμένη περισσότερο στη ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα οι οδοί Καλλικρατίδου, Μύλων, Επιδαύρου και Αλαμάνας θερμοκρασιακά να κυμαίνονται μεταξύ 37,4 – 37,8°C στο ύψος κίνησης του ανθρώπου (1-1,8μ), ενώ η πυκνή δομή των όγκων επί της ΒΑ οδού Μύλων και οι στενοί δρόμοι επί της Ζάρκου να διατηρεί υψηλές θερμοκρασίες (36,8 – 37,4°C) και σε υψηλότερα επίπεδα (>5-9μ). Αντιθέτως, βορειοδυτικά του μοντέλου στις 14:00 η θερμοκρασία του μοντέλου μειώνεται καθ' ύψος καθώς δεν διατηρείται

αναλόγως το έντονα δομημένο περιβάλλον, εφόσον το όριο στο ύψος των κτιρίων είναι ~9μ. Η ύπαρξη βλάστησης επί του ακάλυπτου χώρου του οικοδομικού τετραγώνου επί των οδών Κυρηναίας, Μύλων και Επιδαύρου μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα στους 36,4 – 36,8°C επηρεάζοντας και το ύψος της οδού Μύλων. Ενώ ο ελεύθερος χώρος που προκύπτει λόγω χωρικής δομής του πρατηρίου διανομής καυσίμων συμβάλλει ευνοϊκά στο μοντέλο με θερμοκρασία 36 – 36,4°C.

Η θερμοκρασιακή χωρική κατανομή που περιγράφηκε για τη υφιστάμενη κατάσταση διατηρείται αναλόγως και στα υπόλοιπα παραμετρικά σενάρια θερμοκρασιακής βελτίωσης για τη περιοχή μελέτης.

Μελετώντας τη ύπαρξη ψυχρών υλικών κάλυψης κάθετων και οριζόντιων επιφανειών στο μοντέλο του 2^ο Σεναρίου διαπιστώνεται ότι οι οδοί Καλλικρατίδου, Μύλων, Επιδαύρου και Αλαμάνας θερμοκρασιακά να κυμαίνονται μεταξύ 37,2 – 37,6°C στο ύψος κίνησης του ανθρώπου (1-1,8μ), ενώ η πυκνή δομή των όγκων επί της ΒΑ οδού Μύλων να μην επηρεάζει καθ' ύψος τη θερμοκρασία (>5-9μ) και να διατηρεί τη θερμοκρασία στους 36,8°C. Αντιστοίχως, στους στενούς δρόμους επί της Ζάρκου η θερμοκρασία με τη χρήση ψυχρών υλικών κυμαίνεται στους 35,8-36,4°C. Παράλληλα, η δημιουργία δύο πράσινων κτιρίων επί των οδών Μερόπης, Μύλων και Πλάτωνος οδηγεί στη θερμοκρασιακή βελτίωση του γύρω περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, για υψόμετρο 1μ. - 5μ. η θερμοκρασία επί της οδού Μερόπης είναι πλέον 35,4-35,8°C (από 36,2-36,6°C, στο S1), επί της οδού Μύλων είναι πλέον 36,2-36,6°C (από 37-37,4°C) και επί της οδού Πλάτωνος είναι πλέον 35,8-36°C (από 36,4-36,8°C). Συνεπώς, η ύπαρξη 2 πράσινων κτιρίων στη περιοχή δημιουργεί μείωση της θερμοκρασίας στη γύρω περιοχή περίπου κατά 0,8°C.

Η θερμοκρασιακή μεταβολή του μοντέλου όταν εφαρμόζονται ψυχρά υλικά διαπιστώνεται παρατηρώντας τους δρόμους Μύλων (ανατολικά), Ζάρκου, Καλλικρατίδου και Επιδαύρου όπου η επίδραση των πράσινων κτιρίων είναι μικρότερη. Συγκεκριμένα, για υψόμετρο 1μ. - 5μ. η θερμοκρασία επί της οδού Μύλων (ανατολικά) όπως και επί της οδού Επιδαύρου είναι πλέον 37,2-37,4°C (από 37,4-37,8°C, στο S1), επί της οδού Ζάρκου είναι πλέον 36-36,4°C (από 36,8-37°C) και επί της οδού Καλλικρατίδου είναι πλέον 36,4-36,6 °C (από 37-37,2°C). Συνεπώς, η χρήση ψυχρών υλικών επιφάνειας στο μοντέλο μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία της γύρω περιοχή περίπου κατά 0,4°C, ενώ για τους δρόμους ήπιας κυκλοφορίας (Ζάρκου, νότια της Μερόπης, Κυρηναίας) που πεζοδρομήθηκαν με υλικά δρόμου από τούβλα βασάλτη που έχουν συντελεστή ανακλαστικότητας 0.8, η θερμοκρασιακή μείωση για ύψος 1,8μ μπορεί να είναι περίπου 0,6°C.

Επιπλέον, η ύπαρξη βλάστησης επί του ακάλυπτου χώρου του οικοδομικού τετραγώνου και σε συνδυασμό με την εφαρμογή ψυχρών υλικών επί των οδών Κυρηναίας, Μύλων και Επιδαύρου μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα στους 35,8-36°C (από 36,4 – 36,8°C) επηρεάζοντας και το ύψος της οδού Μύλων. Ενώ ο ελεύθερος

χώρος που προκύπτει λόγω χωρικής δομής του πρατηρίου διανομής καυσίμων συμβάλει ευνοϊκά στο μοντέλο με θερμοκρασία 35,6-35,8°C (από 36 – 36,4°C). Συνεπώς, υλοποιείται μια θερμοκρασιακή μείωση της τάξεως 0,6-0,8°C.

Παράλληλα, βορειοδυτικά του μοντέλου στις 14:00 η θερμοκρασία του μοντέλου επίσης μειώνεται καθ' ύψος στους 35,4-35,8°C (από 36-36,4°C) καθώς δεν διατηρείται αναλόγως το έντονα δομημένο περιβάλλον, εφόσον το όριο στο ύψος των κτιρίων είναι ~9μ.

Όσον αφορά τα παραμετρικά μοντέλα βλάστησης ενδιαφέρον δείχνει η σύγκριση μεταξύ των δύο σε σχέση με το βαθμό θερμοκρασιακής βελτίωσης που προσφέρουν στο δομημένο χώρο της περιοχής βάσει της πυκνότητας του φυλλώματος που εφαρμόζεται σε καθένα από αυτά. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα απεικόνισης στο **Πίνακα 5.3-4** η θερμοκρασία διαφοροποιείται σημειακά μεταξύ των μοντέλων βλάστησης, γι' αυτό τον λόγο η ανάλυση βασίζεται στο **Πίνακα 5.3-3** όπου μετά από την ανάλυση των αποτελεσμάτων φαίνεται πως η θερμοκρασία εξελίσσεται καθ' ύψος του μοντέλου ανά οδική αρτηρία.

Συνολικά για τα δύο μοντέλα βλάστησης υλοποιείται μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα χώρου σε σχέση με το μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης, ενώ μεγαλύτερη θερμοκρασιακή μείωση παρατηρείται στο 3^ο σενάριο όπου εφαρμόζονται δένδρα υψηλής πυκνότητας σε φύλλωμα. Υψομετρικά παρατηρείται επίσης μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας στα χαμηλότερα στρώματα (1,8μ-5μ) σε σύγκριση με ανώτερα στρώματα (9-13μ). Συνεπώς, το ύψος και το σχήμα των δένδρων και η φυλλική επιφάνεια αυτών σε κάθε περίπτωση μπορεί να επηρεάσει τη θερμοκρασία του αέρα στα παραμετρικά μοντέλα βλάστησης σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια εφαρμογής.

Συγκεκριμένα, στους κύριους οδικούς άξονες (Πλάτωνος, Μύλων, Επιδαύρου) και σε υψόμετρο μικρότερο των 5μ, η παρουσία βλάστησης υψηλή σε πυκνότητα μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία κατά 0,5-0,7°C, ενώ η παρουσία βλάστησης χαμηλή σε πυκνότητα κατά 0,3-0,4°C. Η προσθήκη πλήθους ειδών δένδρων σε μικρούς και στενούς δρόμους δεν ήταν δυνατή και γι' αυτό τον λόγο στους δρόμους ήπιας κυκλοφορίας (Μερόπης, Ζάρκου, Καλλικρατίδου, Κυρηνείας) εντός του δομημένου περιβάλλοντος η παρουσία βλάστησης με πυκνό φύλλωμα συμβάλει στη θερμοκρασιακή μείωση κατά 0,3-0,5 °C, ενώ με αραιό φύλλωμα κατά 0,2-0,3°C.

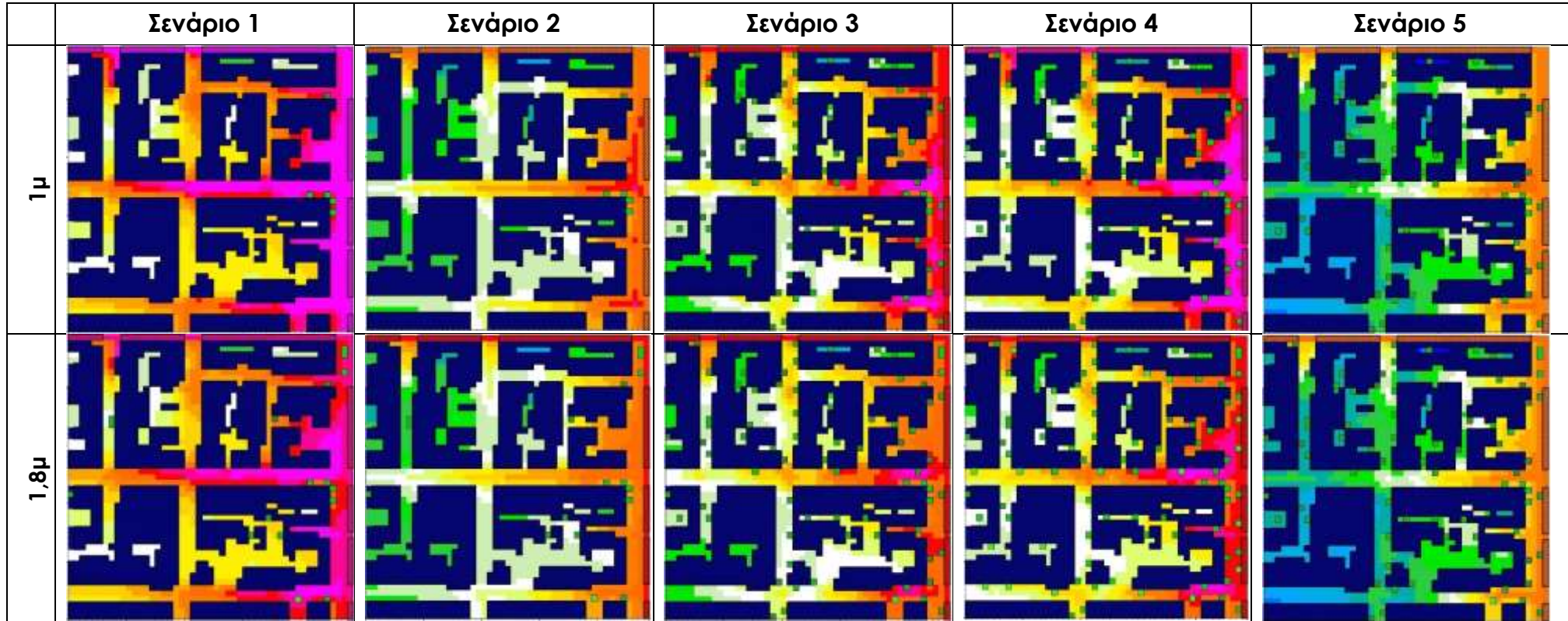
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του **Πίνακα 5.3-3** και αναλύοντας χωρικά το βέλτιστο μοντέλο εφαρμογής στη περιοχή μελέτης που υιοθετεί την αλλαγή των συμβατικών υλικών με ψυχρά υλικά κατασκευής και τοποθέτηση βλάστησης με υψηλή πυκνότητα φυλλώματος είναι εμφανής η θερμοκρασιακή μείωση σε όλη την έκταση του μοντέλου.

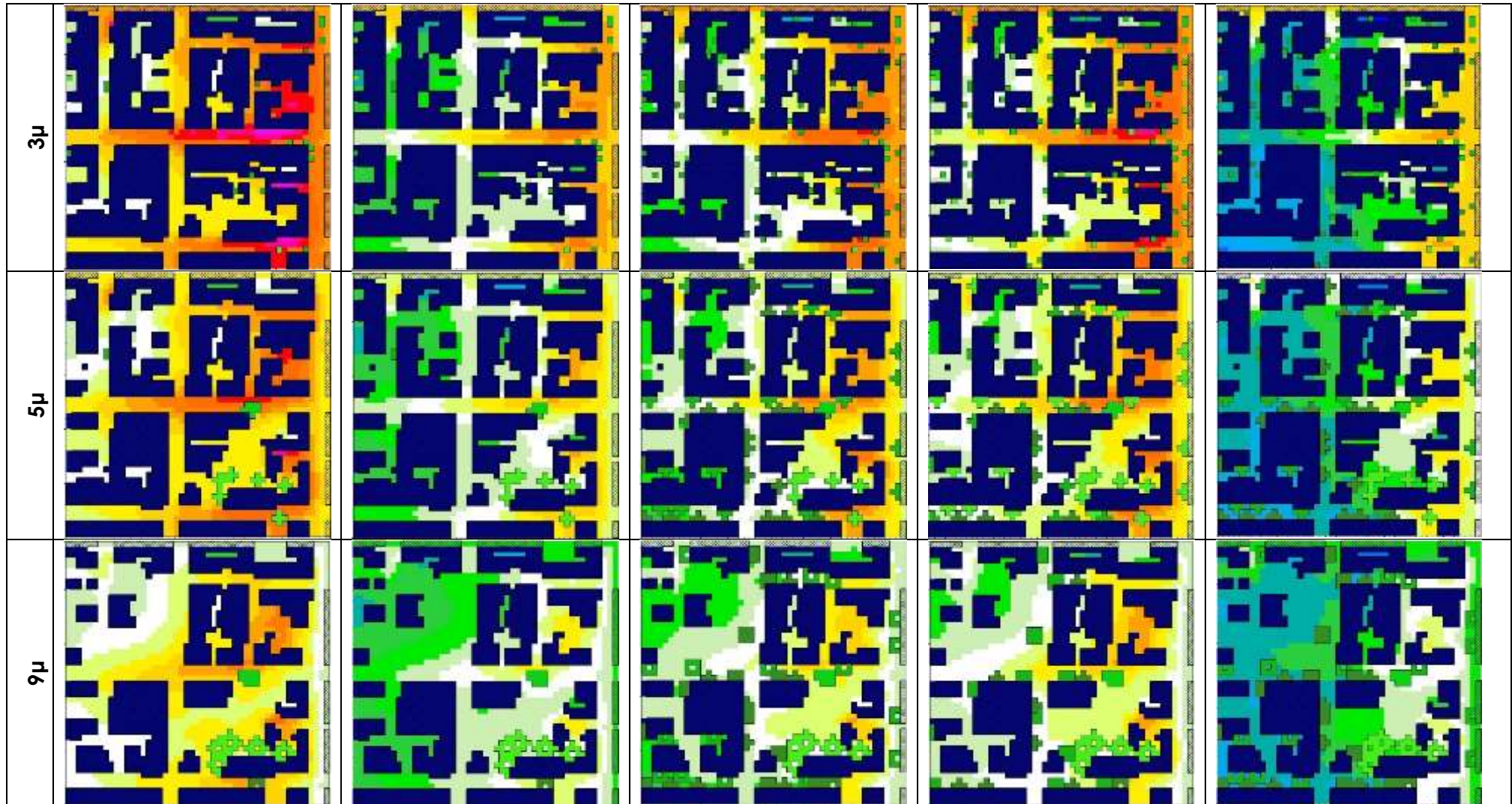
Πίνακας 5.3-3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μείωσης της θερμοκρασίας ανά οδική αρτηρία (14:00)

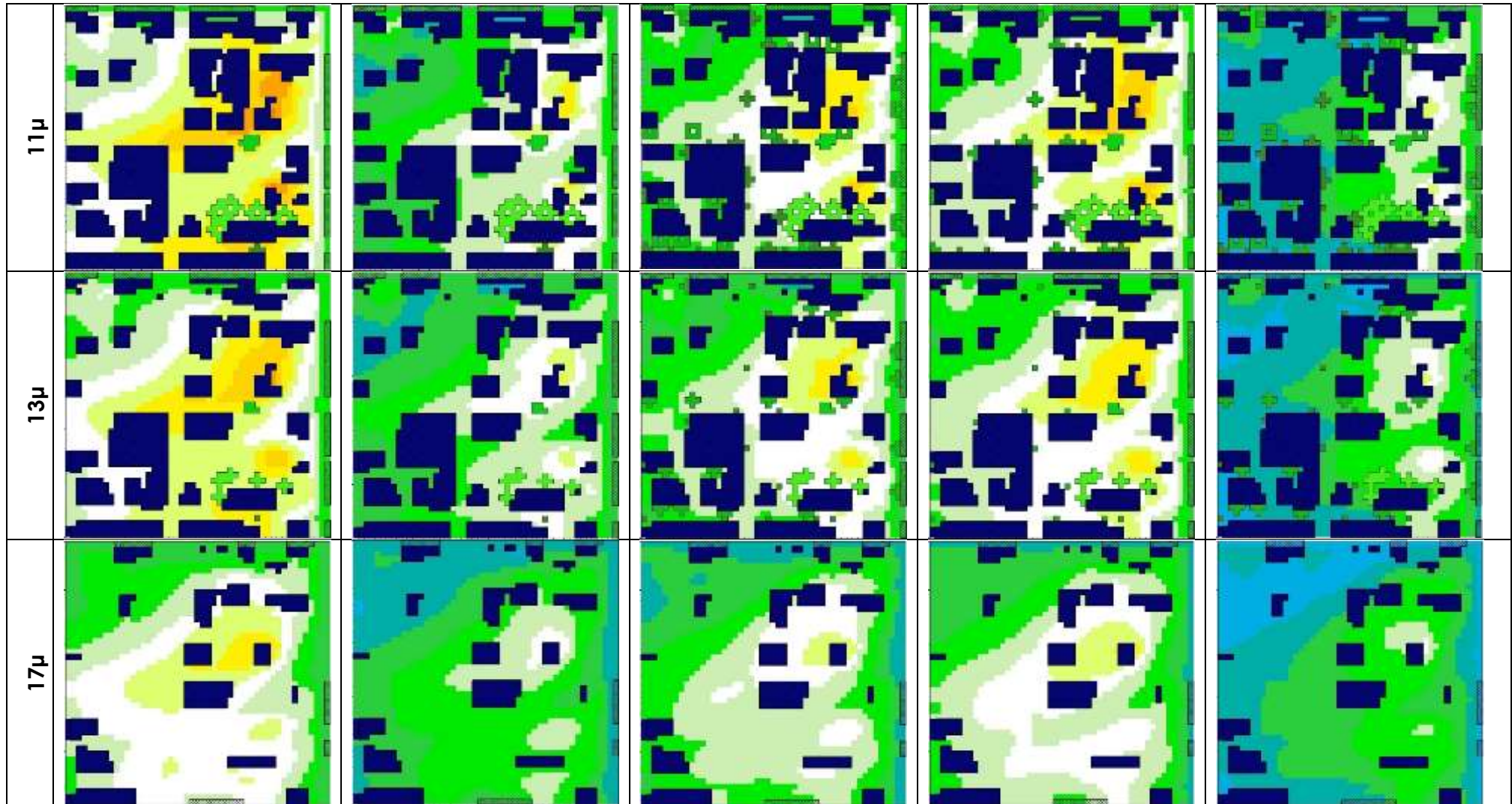
	1.8m				5m				9m				13m			
	CH_1-2	CH_1-3	CH_1-4	CH_1-5	CH_1-2	CH_1-3	CH_1-4	CH_1-5	CH_1-2	CH_1-3	CH_1-4	CH_1-5	CH_1-2	CH_1-3	CH_1-4	CH_1-5
Πλάτωνος	0,8	0,5	0,4	1,2	0,7	0,5	0,3	1,1	0,6	0,4	0,3	1,0	0,5	0,4	0,2	0,8
Μύλων	0,8	0,6	0,4	1,4	0,7	0,5	0,3	1,2	0,5	0,4	0,3	1,0	0,5	0,3	0,2	0,8
Επιδαύρου	0,8	0,7	0,4	1,5	0,6	0,6	0,4	1,3	0,5	0,6	0,3	1,1	0,4	0,4	0,2	0,8
Ζάρκου	0,8	0,4	0,2	1,1	0,7	0,3	0,2	1,0	0,6	0,3	0,2	0,9	0,5	0,2	0,1	0,7
Καλλικρατίδου	0,8	0,4	0,3	1,2	0,7	0,4	0,3	1,0	0,5	0,4	0,2	0,8	0,4	0,3	0,1	0,7
Κυρηναίας	0,7	0,3	0,2	0,9	0,6	0,2	0,2	0,8	0,5	0,2	0,1	0,7	0,4	0,2	0,1	0,5
Μερόπης	0,8	0,5	0,3	1,2	0,6	0,4	0,3	1,0	0,6	0,4	0,2	0,9	0,5	0,3	0,2	0,7
Αλαμάνας	0,5	0,3	0,2	0,7	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,3
Ακάλυπτος - Ανοικτός Χ.	0,6	0,4	0,2	0,9	0,5	0,3	0,2	0,8	0,5	0,3	0,2	0,7	0,4	0,2	0,1	0,6
Κτίριο	2,7	0,8	0,5	3,4	2,6	0,8	0,4	3,3	2,3	0,7	0,4	2,9	-1,8	-0,6	-0,3	-2,3

Συγκεκριμένα, για υψόμετρο 1μ. - 5μ. η θερμοκρασία επί της οδού Μύλων είναι ανατολικά 36-36,8°C (από 37,4-37,8°C) και δυτικά 35-35,8°C (από 36,8-37,4°C), με θερμοκρασιακή μείωση 1-1,6°C. Παράλληλα, η θερμοκρασιακή μείωση για υψόμετρο 1,8-5μ για όλες τις υπόλοιπες οδούς είναι άνω του 1°C και υπό περιπτώσεις (Επιδαύρου) φτάνει η θερμοκρασιακή μείωση γίνεται κατά 1,5°C.

Πίνακας 5.3-4: Καθύψος απεικόνιση αποτελεσμάτων κατανομής της θερμοκρασίας για τα διαφορετικά σενάρια εφαρμογής (14:00)

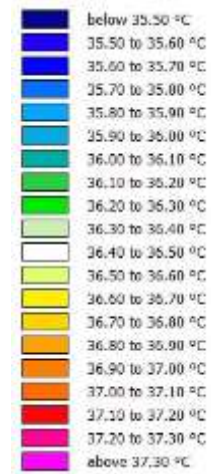






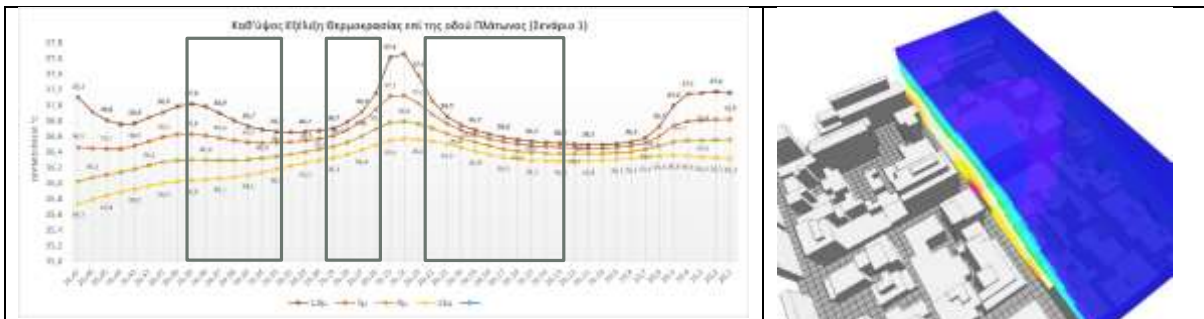
5.3.3. Τρισδιάστατη απεικόνιση αποτελεσμάτων

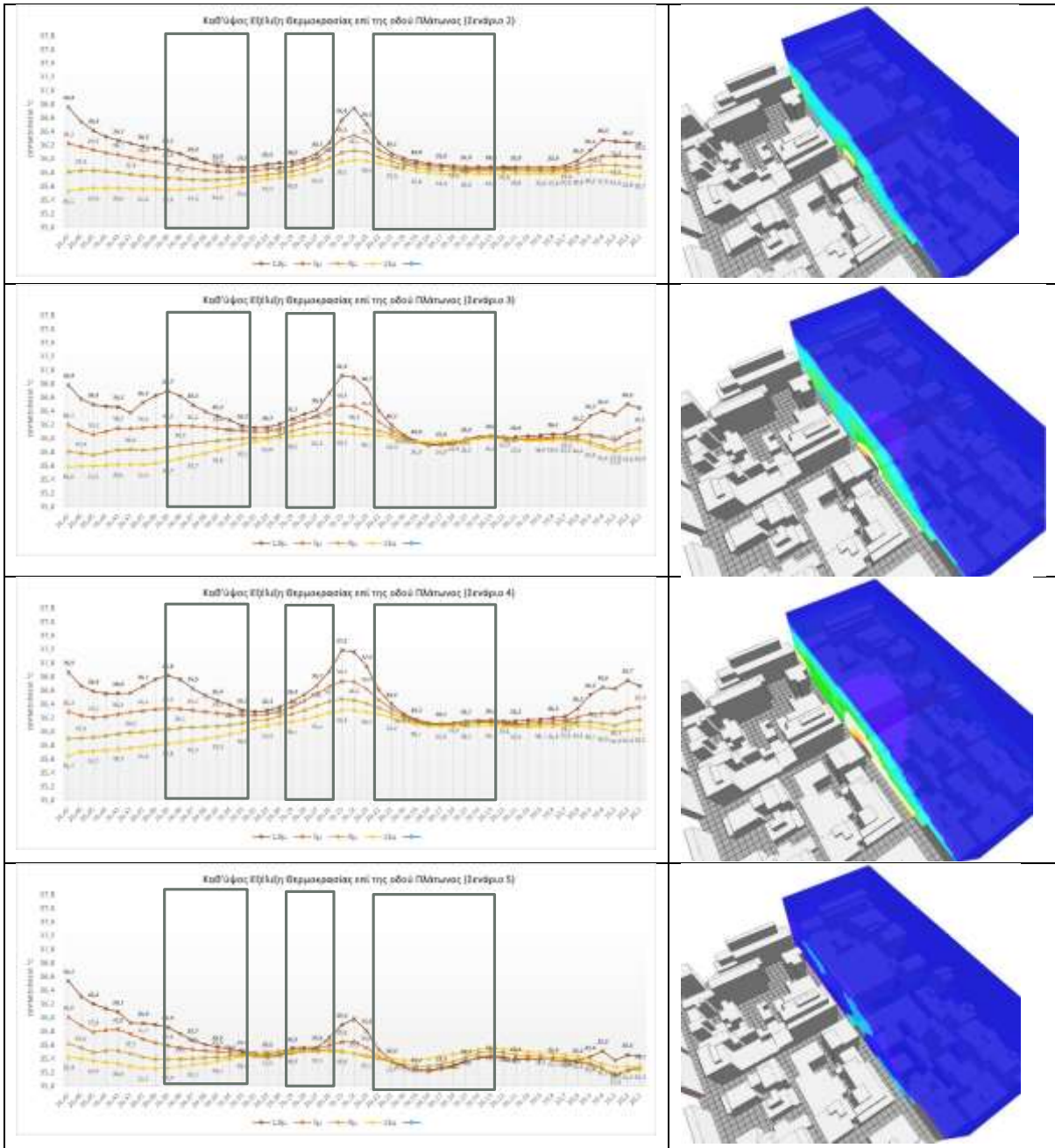
Στο παρακάτω **Πίνακα 5.3-5** παρουσιάζεται ανά παραμετρικό σενάριο εφαρμογής για το δρόμο Πλάτωνος διαγράμματα με τη καθ' ύψος εξέλιξη της θερμοκρασίας του αέρα για τα ύψη 1,8μ, 5μ, 9μ και 13 για τις 14:00 το μεσημέρι αλλά και η τρισδιάστατη απεικόνιση της θερμοκρασιακής κατανομής σε τομή της οδικής αρτηρίας. Στοιχώντας στην αναλυτικότερη αποτύπωση των θερμοκρασιακών διαφοροποιήσεων εντός του δομημένου περιβάλλοντος στην περιοχή μελέτης στην Ακαδημία Πλάτωνος, η χωρική απεικόνιση των αποτελεσμάτων έγινε με ταξινόμηση των τιμών σε 20 θερμοκρασιακές κλάσεις με ισοδιάσταση 0,10°C.



Συγκεκριμένα, επί την οδό Πλάτωνος στις θέσεις 20,3-5 είναι η συμβολή με την οδό Επιδαύρου, ενώ στις θέσεις 20,23-25 με την οδό Μύλων και στις θέσεις 20,41-42 με την οδό Καλλικρατίδου. Μεταξύ των θέσεων 20,5-22 βρίσκονται κτίρια και συγκεκριμένα το κτίριο που σχεδιάστηκε με πράσινη πρόσοψη (φυτοκάλυψη χωρίς κενά ανάμεσα στα φυλλάσματα) όπως αυτή δίνεται στο λογισμικό Envi-met, ενώ στις θέσεις 20,26-29 είναι το Σούπερ Μάρκετ και έπειτα στις θέσεις 20,33-39 το πρατήριο υγρών καυσίμων. Από τα διαγράμματα επί της οδού Πλάτωνος φαίνεται η επίδραση της αστικής μορφολογίας στη εξέλιξη της θερμοκρασίας, καθώς επί τη συμβολή των οδικών αρτηριών και περισσότερο στη συμβολή με την οδό μύλων η θερμοκρασία του αέρα είναι αυξημένη σε σχέση με τη θερμοκρασία που υπάρχει κοντά στα κτίρια του μοντέλου. Η χρήση πράσινης πρόσοψης στο κτίριο επί της οδού Πλάτωνος αλλά και το Σούπερ Μάρκετ μειώνει τη θερμοκρασία στη πρόσοψη κατά 0,6-0,7°C, ενώ επί της οδού Μύλων η ύπαρξη δυο γειτονικών πράσινων κτιρίων στην περιοχή μειώνει τη θερμοκρασία από 37,2°C - 37,5°C σε 36,3°C - 36,6°C, δηλαδή κατά 0,6-0,9°C συνεπώς επιβεβαιώνεται η μέση μείωση των 0,8°C που αναφέρθηκε παραπάνω.

Πίνακας 5.3-5: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αέρα επί της οδού Πλάτωνος





5.3.4. Συγκριτικά αποτελέσματα βελτίωσης μικροκλίματος

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, στο παρακάτω Σχήμα και Πίνακες αποτυπώνονται με διαγράμματα σύγκρισης η καθ' ύψος θερμοκρασιακή βελτίωση που δημιουργείται σε σχέση με το σενάριο της υφιστάμενης κατάστασης καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποδίδεται στο μέσο ύψος κίνησης του ανθρώπου δηλαδή τα 1μ -1,5μ.

Σύμφωνα με το **Σχήμα 5.3-9** που εμφανίζεται για δύο υψομετρικά στρώματα η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας και σε σχέση με το **Πίνακα 5.3-6** που αποτυπώνεται για όλα τα υψόμετρα η θερμοκρασιακή διαφοροποίηση. Η εφαρμογή

των μοντέλων βλάστησης δημιουργεί μεγαλύτερη θερμοκρασιακή μείωση της θερμοκρασίας στα χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα (της τάξης 0,5°C - 0,7°C για το 3^ο Σενάριο και 0,3°C - 0,4°C για το 4^ο Σενάριο) για το χρονικό διάστημα μεταξύ 13:00-17:00. Ενώ για τα υψηλότερα υψομετρικά επίπεδα η μείωση της θερμοκρασίας είναι χαμηλότερη καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή 0,3°C - 0,4°C για το 3^ο Σενάριο και 0,2°C - 0,1°C για το 4^ο Σενάριο. Αντιθέτως, η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στο περιβάλλοντα χώρο από τη χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής εστιάζει το χρονικό διάστημα όπου και υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή από τις 7:00 μέχρι τις 18:00. Κατά το χρονικό διάστημα 7:00-18:00 η μείωση κυμαίνεται μεταξύ 0,3°C έως και 0,8°C, με τις υψηλότερες μειώσεις να παρουσιάζονται το διάστημα 12:00-16:00. Τη υπόλοιπη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή τις βραδινές ώρες η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής δεν προκαλεί κάποια θερμοκρασιακή μείωση σε σχέση με το μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης.

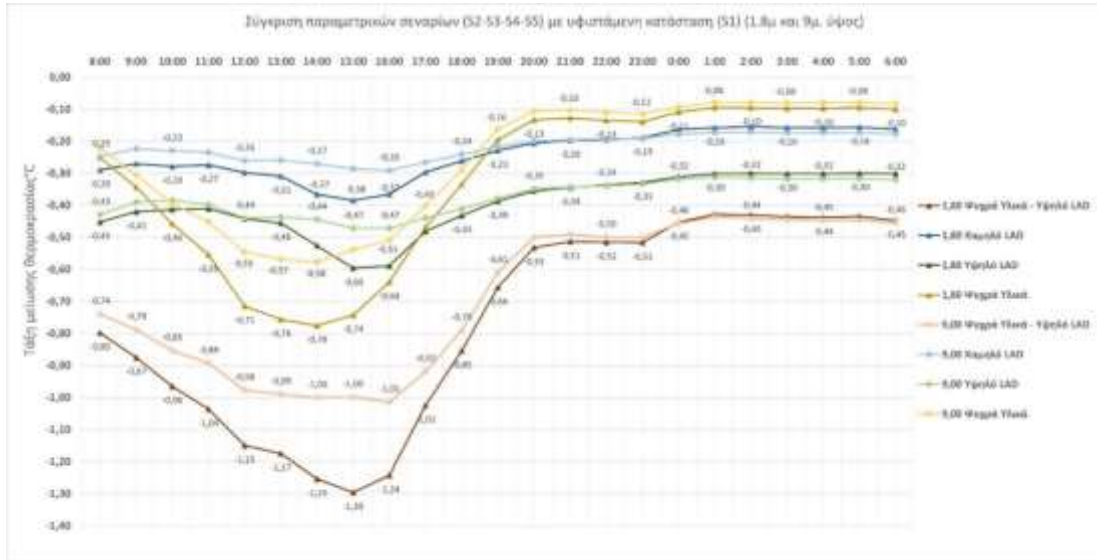
Πίνακας 5.3-6: Καθ' ύψος θερμοκρασιακή σύγκριση παραμετρικών σεναρίων εφαρμογής με τις συνθήκες της υφιστάμενης κατάστασης (Σενάριο 1)

Υψος (μ)	9:00				12:00				13:00				14:00				15:00				18:00				21:00			
	S2	S3	S4	S5	S2	S3	S4	S5	S2	S3	S4	S5	S2	S3	S4	S5	S2	S3	S4	S5	S2	S3	S4	S5	S2	S3	S4	S5
0,2																												
0,6																												
1																												
1,4																												
1,8																												
3																												
5																												
7																												
9																												
11																												
13																												
15																												
17																												
19																												
21																												
23																												
25																												
27																												
29																												
33																												
37																												
41																												
45																												
49																												
53																												
57																												
59																												

Πρόσθετα, για υψόμετρα άνω των 17μ και για όλα τα παραμετρικά σενάρια εφαρμογής παρατηρείται ελάχιστη (<0,2°C) ή και μηδαμινή θερμοκρασιακή μείωση. Τέλος, το 5^ο παραμετρικό σενάριο εφαρμογής, υιοθετώντας τα χαρακτηριστικά του 2^ο και 3^ο Σεναρίου βοηθάει ολοκληρωτικά στη καθ' ύψος θερμοκρασιακή μείωση της περιοχής μελέτης σε σχέση με τις τιμές που εκτιμήθηκαν στο μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης.

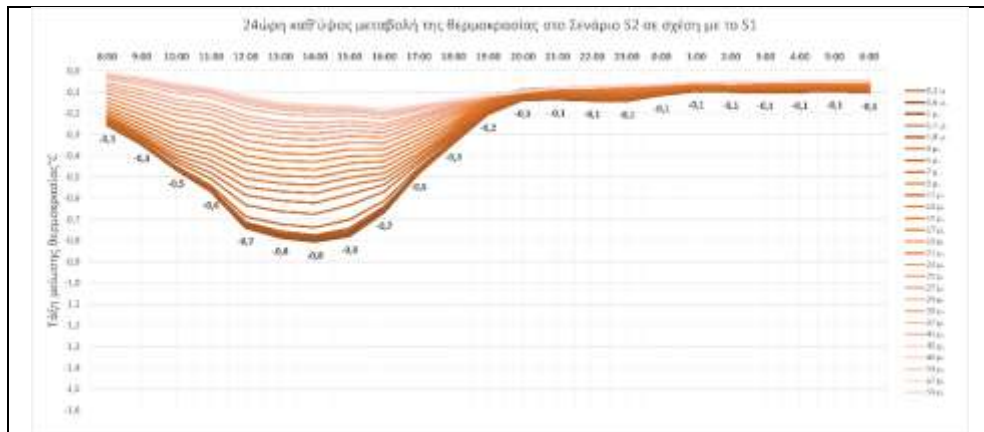
Συγκεκριμένα, υπάρχει συνεχόμενη καθ' ύψος θερμοκρασιακή μείωση (έως και σε υψόμετρο 25μ) από το πρωί μέχρι και τις 18:00 το απόγευμα. Κατά το χρονικό διάστημα 7:00-18:00 η μείωση κυμαίνεται μεταξύ 0,7°C έως και 1,4°C, με τις υψηλότερες μειώσεις να παρουσιάζονται το διάστημα 12:00-17:00. Τη υπόλοιπη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή τις βραδινές ώρες η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής

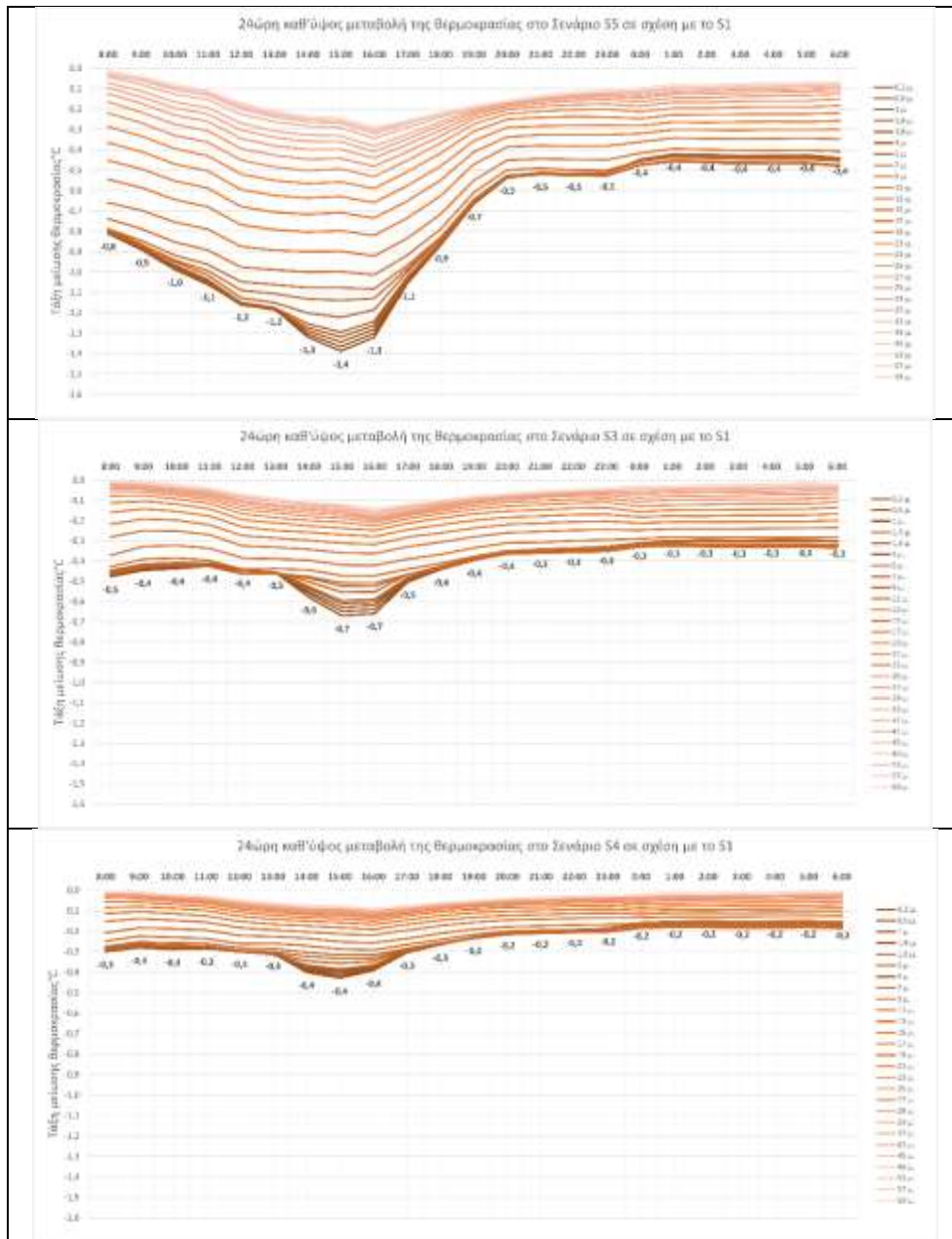
σε συνδυασμό με τη παρουσία βλάστησης με υψηλή πυκνότητα φυλλώματος οδηγεί σε ένα σταθερό εύρος με καθύψος μείωσης που κυμαίνεται μεταξύ των 0,3°C - 0,5°C. Επιπλέον, εντός του κρίσιμου ωραρίου το μεσημέρι (12:00-15:00) μέχρι και το ύψος των 11μ η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να είναι έως και 1°C.



Σχήμα 5.3-9: Καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας για τα 1,8μ και 9μ στα παραμετρικά σεναρία εφαρμογής σε σχέση με το υφιστάμενο για τη διάρκεια της ημέρας

Πίνακας 5.3-7: Καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας στα παραμετρικά σεναρία εφαρμογής σε σχέση με το υφιστάμενο για τη διάρκεια της ημέρας





5.3.5. Ανάλυση δείκτη θερμικής άνεσης για τα παραμετρικά σενάρια

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την κλιματική ποιότητα σε σχέση με την αίσθηση του χρήστη στον αστικό χώρο είναι η θερμική άνεση. Με την επίτευξη θερμικής άνεσης, διασφαλίζεται ότι ο άνθρωπος δεν θα νιώθει ούτε πολύ ζεστή ούτε πολύ κρύο, δηλαδή οι παράγοντες της θερμοκρασίας, υγρασίας, ανεμοροής και ηλιακής ακτινοβολίας θα βρίσκονται στα επιτρεπτά όρια άνεσης. Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης Ψύξης και Κλιματισμού (πρότυπο ASHRAE 55-92, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ο άνθρωπος δεν επιθυμεί καμία θερμική

αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες. Συνεπώς, η θερμική άνεση είναι μια σύνθετη έννοια, καθώς επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Το θερμικό περιβάλλον αρχικά χαρακτηρίζεται από τις φυσικές παραμέτρους, της θερμοκρασίας του αέρα, της ταχύτητας του ανέμου, της σχετικής υγρασίας, της μέσης θερμοκρασίας της ακτινοβολίας, οι οποίες καθορίζουν και τον βαθμό αίσθησης θερμικής άνεσης. Οι φυσικές αυτοί παράμετροι διαφοροποιούνται ανάλογα με την χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Ο χώρος επιδρά βάσει της αστικής μορφολογίας του, λαμβάνοντας υπόψη τα υλικά στις επιφάνειες, το ανάγλυφο αλλά και την σκίαση, που συμπεριλαμβάνεται στη χρονική μεταβλητότητα. Οι φυσικές παράμετροι όμως δεν είναι οι μόνες που καθορίζουν την θερμική άνεση. Παράγοντες που έχουν να κάνουν με τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα οργανικοί, που αφορούν το φύλο, την ηλικία και τα φυλετικά χαρακτηριστικά αλλά και προσωπικοί, το επίπεδο δραστηριότητας, ο μεταβολικός τους ρυθμός και ο ρουχισμός είναι επίσης καθοριστικοί για την θερμική άνεση. Συνεπώς, για τον καθορισμό της θερμικής άνεσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα ένα σύνολο περιβαλλοντικών και προσωπικών παραμέτρων (Καρβούνης, 2011).

Για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιούνται δείκτες που ενσωματώνουν το σύνολο, ή μέρος, της παραπάνω πληροφορίας. Ο δείκτης Αναμενόμενης Μέσης Αποδοχής (Predicted Mean Vote, PMV) αφορά την συσχέτιση της θερμικής άνεσης και του θερμικού αισθήματος, συνδέοντας τα επίπεδα περιβαλλοντικών παραμέτρων με τα επίπεδα δραστηριότητας και ρουχισμού. Η κλίμακα που έχει συνταχθεί είναι μεταξύ του -3 (αίσθηση κρύου) και του +3 (ζέστη), με το 0 να αποτελεί την ουδέτερη κατάσταση, ενώ θεωρείται αποδεκτό για τον δείκτη το εύρος τιμών από -0.5 έως 0.5.

Παρακάτω στο **Πίνακα 5.3-9** απεικονίζεται η κατανομή του δείκτη θερμικής άνεσης ανά σενάριο εφαρμογής για το μέσο ύψος κίνησης του ανθρώπου, δηλαδή τα 1,8μ για δύο αντιπροσωπευτικές χρονικές στιγμές της ημέρας, το μεσημέρι και το απόγευμα. Συγκεκριμένα, για τις 14:00 οι συνθήκες θερμικής άνεσης στο μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης (S1) και του μοντέλου χρήσης ψυχρών υλικών (S2) είναι αυξημένες (~4,6 της κλίμακας του PMV), ενώ αισθητή βελτίωση των συνθηκών άνεσης υπάρχουν στην βόρειοανατολική πλευρά των κτιρίων, δηλαδή ~3,6-3,8 στο 1^ο Σενάριο και 3,8 - 4 στο 2^ο Σενάριο. Στο 1^ο Σενάριο οι συνθήκες θερμικής άνεσης φαίνονται καλύτερες από το 2^ο Σενάριο, καθώς η χρήση ψυχρών υλικών αυξημένης ανακλαστικότητας μπορούν μεν να μην απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και να μην αποθηκεύουν στη μάζα τους μεγάλα ποσά θερμότητας, αλλά δημιουργούν θερμική όχληση στον περιβάλλοντα χώρο τους. Όταν αναφέρεται σε άκρως δυσμενείς θερμικές συνθήκες (Matzarakis 2000), η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται ως η σημαντικότερη μετεωρολογική παράμετρος στον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, γιατί εμπεριέχει το σύνολο των ακτινοβολιών μεγάλου και μικρού μήκους κύματος, άμεσες και ανακλούμενες (Thorsson et al 2007). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

αναφέρεται στη μέση θερμοκρασία όλων των αντικειμένων που περιβάλλουν το ανθρώπινο σώμα. Αυτό αποδεικνύεται και από τον **Πίνακα 5.3-8** όπου η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας στο σενάριο εφαρμογής ψυχρών υλικών (S2), δηλαδή η μέση θερμοκρασία όλων των αντικειμένων που περιβάλλουν το ανθρώπινο σώμα είναι αυξημένη στις 14:00 κατά 5,8-8,7°C, ενώ στις 17:00 είναι μειωμένη κατά 1-2°C, καθώς η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικά χαμηλότερη.

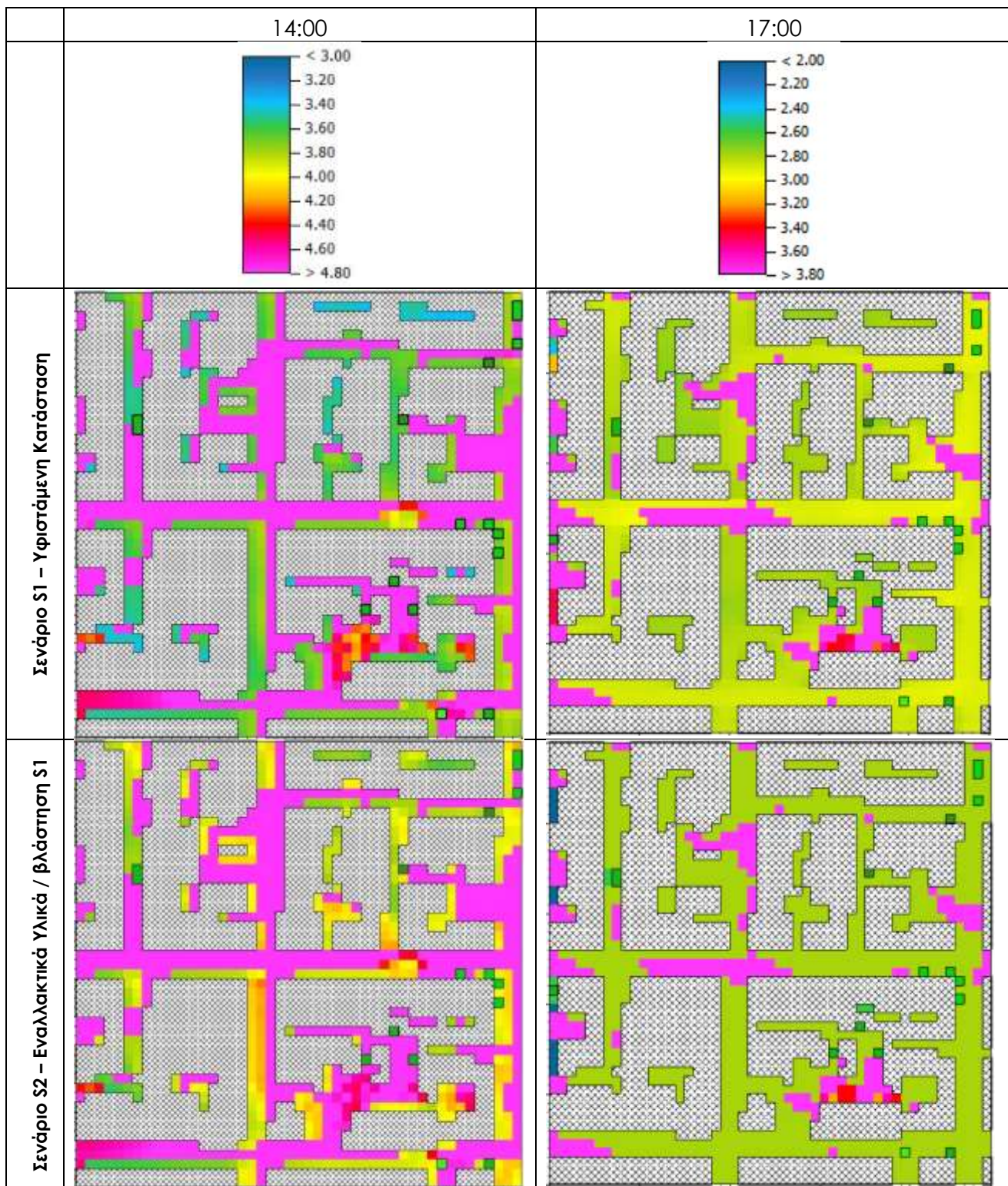
Για αυτόν τον λόγο ο συνδυασμός ψυχρών υλικών με κατάλληλους όγκους φύτευσης για σκίαση και εξατμισοδιαπνοή λειτουργούν πολύ θετικά στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος τη θερινή περίοδο. Συνεπώς σύμφωνα με τον **Πίνακα 5.3-9**, η πυκνότητα φυλλώματος στη βλάστηση επηρεάζει αισθητά τα αποτελέσματα θερμικής άνεσης που ο άνθρωπος μπορεί να βιώσει το μεσημέρι, καθώς η χωροθέτηση βλάστησης με πυκνό φύλλωμα μπορεί να βελτιώσει τοπικά τις συνθήκες θερμικής άνεσης σε σχέση με τη βλάστηση σε αραιό φύλλωμα. Παράλληλα, παρατηρείται ότι τα κωνοφόρα δένδρα απορροφούν περισσότερο το θερμικό φορτίο του περιβάλλοντα χώρου σε σχέση με τα φυλλοβόλα δένδρα, δημιουργώντας ευνοϊκότερες συνθήκες πλησίον αυτών. Τέλος, οι παραμετρικές ιδιότητες που υιοθετήθηκαν στο 5^ο Σενάριο δεν φαίνεται να διαφοροποιούν περισσότερο την θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος από αυτή που παρουσίασε η προσθήκη υψηλής πυκνότητας βλάστησης (~3-3,4), καθώς ο συνδυασμός ψυχρών υλικών και όγκων βλάστησης δημιουργεί για τις 14:00 θερμικά όμοιες συνθήκες με αυτές της εφαρμογής των συμβατικών υλικών σε συνδυασμό με βλάστηση. Αντιθέτως, αυτό αλλάζει για τις 17:00 το απόγευμα, όπου οι θερμικές συνθήκες στο 5^ο Σενάριο φαίνονται κατά πολύ βελτιωμένες σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Σε αυτό οφείλεται ότι η επίδραση της ακτινοβολίας που είναι μικρότερη και επομένως και η επίδραση της ανακλαστικότητας των υλικών για την διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα η βλάστηση υψηλή πυκνότητας ενισχύει μέσω της εξατμισοδιαπνοή τη μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα χώρου.

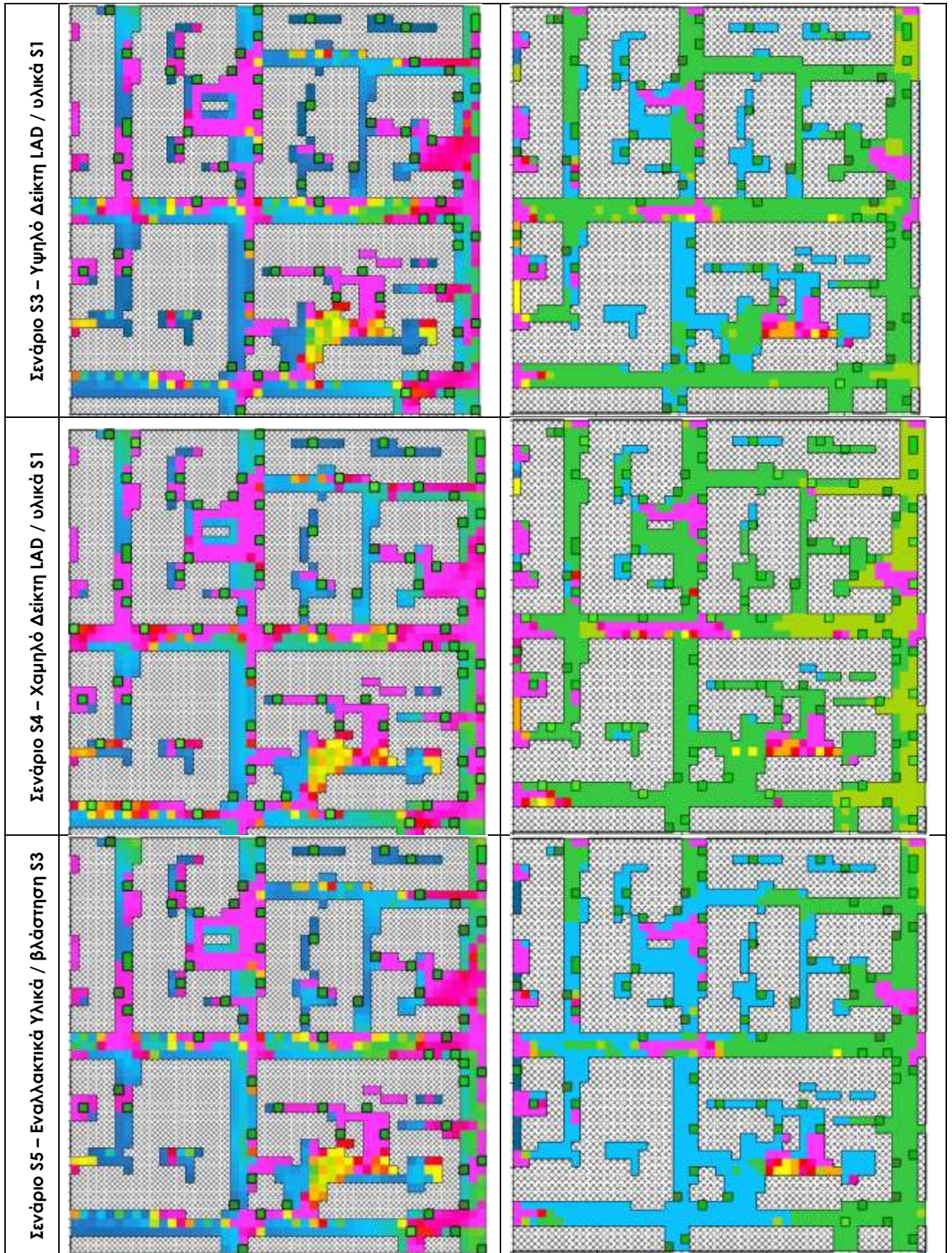
Έτσι, οι συνθήκες θερμικής άνεσης εντός του δομημένου περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης βελτιώνονται από το μεσημέρι στις 14:00 προς το απόγευμα στις 17:00, καθώς σύμφωνα με το δείκτη PMV η τιμή θερμικής άνεσης στο 1^ο Σενάριο είναι 2,8-3 (από ~4,6 στις 14:00). Θερμική βελτίωση συνθηκών υφίσταται και το μοντέλο χρήσης ψυχρών υλικών. Ενώ, για τις 17:00 το απόγευμα δεν παρατηρείται η θερμική βελτίωση συνθηκών στην βόρειοανατολική πλευρά των κτιρίων. Σε σύγκριση με τις 14:00 το μεσημέρι, οι θερμικές συνθήκες που διαμορφώνονται για το 5^ο Σενάριο στις 17:00 είναι σταθερές σε όλη την έκταση του μοντέλου και κυμαίνονται 2,6-2,3 της κλίμακας PMV, ενώ στις 14:00 η βελτιωτικές συνθήκες στην άνεση διαμορφώνονται τοπικά βάσει της παρουσίας βλάστησης.

Πίνακας 5.3-8: Διαγράμματα απεικόνισης σύγκρισης της ανακλαστικότητας των υλικών σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας στις 14:00 (Σενάρια S1 – S2)



Πίνακας 5.3-9: Διαγράμματα απεικόνισης του δείκτη θερμικής άνεσης για σενάρια εφαρμογής για το ύψος κίνησης του ανθρώπου (1,8μ) στις 14:00 και 17:00





5.4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της μελέτης περίπτωσης και αφού έγινε η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προκύπτουν συμπεράσματα τα οποία αφορούν τόσο στη διαδικασία όσο και στα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Όπως έχει αναφερθεί, μια σημαντική επίπτωση της αστικής ανάπτυξης στο περιβάλλον είναι η αστική υπερθέρμανση. Συνεπώς, είναι σημαντική η υιοθέτηση πρακτικών αποτελεσματικής αντιμετώπισης της υπερθέρμανσης του αστικού περιβάλλοντος για την αποφυγή φαινομένων όπως της Αστικής Θερμικής νησίδας. Στις μεθόδους αντιμετώπισης θερμικών ζητημάτων στις πόλεις είναι η χρήση ψυχρών υλικών και ενίσχυση του περιβάλλοντα χώρου με βλάστηση ή η χρήση κατάλληλων μέσων για την πώση της θερμοκρασίας (ηλιοπροστασία, σκίαση, τοίχοι μάζας κτλ.). Για αυτόν τον λόγο, στη περιοχή μελέτης εφαρμόστηκαν και μελετήθηκαν 5 σενάρια, εκ των οποίων τα 4 βασίστηκαν στο σενάριο προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης της περιοχής μελέτης παραμετροποιώντας κάθε ένα από αυτά είτε μέσω αλλαγής των υλικών κατασκευής του δομημένου περιβάλλοντος (παθητική ψύξη μέσω τεχνικών ψυχρών υλικών) είτε μέσω ενίσχυσης του χώρου με βλάστηση. Η υψηλή ανακλαστικότητα και ο υψηλός συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας των ψυχρών υλικών βοηθούν, ώστε οι επιφάνειες να απορροφούν λιγότερη θερμότητα και να παραμένουν ψυχρότερες από τις επιφάνειες με συμβατικά υλικά, ενώ η βλάστηση συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα, το 1^ο Σενάριο συνθέτει τη υφιστάμενη κατάσταση των υλικών και της ποσότητας πρασίνου όπου υπάρχει ήδη στη περιοχή, το 2^ο Σενάριο προκύπτει από την αλλαγή των συμβατικών υλικών του 1^ο Σεναρίου με ψυχρά υλικά κατασκευής και τη δημιουργία δύο πράσινων κτιρίων, το 3^ο και 4^ο Σενάριο υιοθετούν τις θερμικές ιδιότητες των συμβατικών υλικών αλλά παραμετροποιώντας σε ποσότητα και ποιότητα τα είδη φύτευσης (είδη με υψηλή ή αραιή πυκνότητα στη βλάστηση), ενώ το 5^ο Σενάριο αποτελεί μια σύνθεση του 2^ο και 3^ο Σεναρίου και πρόκειται για την ιδανική πρόταση εφαρμογής με στόχο τη μέγιστη βελτίωση των μικροκλιματικών παραμέτρων στη περιοχή μελέτης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της μελέτης είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι τόσο η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής όσο και η επιλογή διαφορετικών ειδών και πυκνοτήτων σε φύλλωμα στη βλάστηση συνέβαλλαν στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα ειδικά τις μεσημβρινές ώρες που η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή.

Η πρόταση επανασχεδιασμού με την αλλαγή των συμβατικών υλικών με ψυχρά υλικά υψηλά σε ανακλαστικότητα (πεζοδρόμηση με υλικά δρόμου από τούβλα βασάλτη, η δημιουργία ποδηλατόδρομου, η χρήση θερμικά μονωμένων τοίχων) βελτίωσε σημαντικά τη θερμοκρασία αέρα στους δρόμους της περιοχής μελέτης στην Ακαδημία Πλάτωνος. Αυτό συμβαίνει γιατί η κτιριακή μάζα λειτουργεί ως αποθήκη

θερμότητας, ενώ οι κτιριακοί όγκοι εμποδίζουν την κίνηση του ανέμου, μειώνοντας την έντασή του. Έτσι, τα κτίρια κατά τη διάρκεια της ημέρας αποθηκεύουν θερμότητα –κυρίως στις εξωτερικές τους επιφάνειες– με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τους. Στη συνέχεια, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες των κτιρίων αποκτά τη θερμοκρασία τους, μεταφέροντας κατόπιν αυτή τη θερμότητα στις γειτονικές μάζες του. Έτσι, κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων εκπέμπουν τη θερμότητά τους με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, εμποδίζοντας τον αέρα να ψυχθεί ικανοποιητικά (Κολοκότσα Δ. κα, 2011).

Η μελέτη εστιάζει στις μεσημβρινές ώρες όπου είναι και εκείνες που η συνεισφορά των εναλλακτικών σεναρίων εφαρμογής συμβάλλουν στην μικροκλιματική βελτίωση των συνθηκών ενός θερμικά υποβαθμισμένου χώρου. Η απουσία βλάστησης και η χρήση συμβατικών υλικών κατασκευής στις κάθετες και οριζόντιες επιφάνειες (Σενάριο 1) οδηγούν σχεδόν σε ακραίες συνθήκες προκαλώντας θερμική δυσφορία στους χρήστες και σταδιακά τη πιθανή αποφυγή χρήσης ενός χώρου.

Η παρουσία φυτών και δέντρων, η θέση, το είδος, η ποσότητα αυτών αλλά και η δημιουργία πράσινων κτιρίων παίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των μικροκλιματικών συνθηκών. Συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα της μελέτης προκύπτει ότι η χρήση φυτών με υψηλή πυκνότητα σε φυλλική επιφάνεια επιδρά πιο αποτελεσματικά στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα από την επιλογή ειδών με αραιό φύλλωμα. Η βλάστηση -δέντρα, θάμνοι, ακόμη και καλλωπιστικά φυτά- συμβάλλει στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής μειώνει την θερμοκρασία του αέρα το καλοκαίρι. Η χρήση της βλάστησης στον εξωτερικό χώρο ρυθμίζει το μικροκλίμα του άμεσου περιβάλλοντος, μειώνοντας σημαντικά τις υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες. Παράλληλα, η φύτευση μπορεί να αποτελέσει στρατηγικής σημασίας συμβολή για τον περιορισμό των αερίων ρύπων και μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρα, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως από κλιματισμό και τη ανάκτηση ενός υγιούς και αισθητικά ευχάριστου περιβάλλοντος για τους κατοίκους των πόλεων.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μελέτης:

- ✓ Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί σημαντική παράμετρο που επηρεάζει το μικροκλίμα μιας περιοχής, ενώ φαίνεται να διαφοροποιείται καθ' ύψος σύμφωνα με τις τοπικές διαφοροποιήσεις του αστικού μικροκλίματος αλλά και το παραμετρικό μοντέλο εφαρμογής.
- ✓ Η θερμοκρασία του αέρα εξελίσσεται με όμοιο τρόπο σε όλα τα σενάρια εφαρμογής κατά τη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή η θερμοκρασία αυξάνεται από το πρωί προς το μεσημέρι με τις μέγιστες τιμές αυτής να διαπιστώνονται στις 14:00-15:00 το μεσημέρι, ενώ ακολούθως, η θερμοκρασία αρχίζει να φθίνει μετά τις 15:00 τόσο για τα χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα του μοντέλου όσο και για τα υψηλότερα.

- ✓ Για τα διαφορετικά υψηλότερα υψομετρικά επίπεδα του μοντέλου, η θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα εξελίσσεται με σταθερό ρυθμό και χωρίς έντονες αυξομειώσεις (στις 15:00 κυμαίνεται σταθερά στους 34,7°C - 35°C, ενώ στις 20:00 στους 32,4°C - 32,6°C), ενώ για τα χαμηλότερα παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση κατά τη διάρκεια της μέρας.
- ✓ Μέχρι τα 13μ. υψόμετρου η θερμοκρασιακή εξέλιξη φαίνεται να διαφοροποιείται περισσότερο μεταξύ των παραμετρικών σεναρίων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Για υψόμετρα μεταξύ 13-29μ. η παραμετρική διαφοροποίηση φαίνεται να υφίσταται περισσότερο τις ώρες επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας εστιάζοντας μεταξύ 11:00-17:00, ενώ για τα υψηλότερα στρώματα (33-59μ.) η θερμοκρασία φαίνεται να εξισώνεται χωρίς μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των μοντέλων.
- ✓ Τα 13μ. υψόμετρου είναι το μέσο όριο επίδρασης όπου και διαφοροποιούνται θερμοκρασιακά οι τιμές μεταξύ των παραμετρικών σεναρίων για όλη τη διάρκεια της ημέρα, καθώς το μέσο υψόμετρο των κτιρίων του μοντέλου φτάνει τα 15μ. Συνεπώς, η αστική μορφολογία φαίνεται να είναι αυτή που επηρεάζει και τη καθ' ύψος θερμοκρασιακή εξέλιξη.
- ✓ Αντίστοιχα, το ύψος της βλάστησης αλλά και η φυλλική επιφάνεια αυτής επιδρά μέχρι το ύψος των 9μ περίπου, δημιουργώντας σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας, όπως αυτό αναλύθηκε στη μελέτη της βλάστησης κοντά στο πράσινο κτίριο
- ✓ Βορειοδυτικά του μοντέλου στις 14:00 η θερμοκρασία του μοντέλου μειώνεται καθ' ύψος καθώς δεν διατηρείται αναλόγως το έντονα δομημένο περιβάλλον, εφόσον το όριο στο ύψος των κτιρίων είναι ~9μ.
- ✓ Η βλάστηση με υψηλό δείκτη πυκνότητας σε φύλλωμα δημιουργεί ευνοϊκότερες θερμοκρασιακά συνθήκες κατά τη διάρκεια της ημέρας στη περιοχή μελέτης σε σχέση με τη ύπαρξη βλάστησης με χαμηλό δείκτη πυκνότητας.
- ✓ Ενώ, η αλλαγή ψυχρών υλικών και η υιοθέτηση βλάστησης με υψηλή πυκνότητα σε φύλλωμα αποτελεί την πλέον βέλτιστη πρόταση βελτίωσης μικροκλίματος καθώς συμβάλει περισσότερο από τα άλλα σενάρια στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα.
- ✓ Το 2^ο Σενάριο βελτιώνει της συνθήκες θερμοκρασίας στο μικροκλίμα λίγο περισσότερο τις πρωινές-μεσημεριανές ώρες (11:00-16:00) σε σχέση με το 3^ο Σενάριο. Ενώ, από τις 16:00 μέχρι τις 18:00 φαίνεται ότι τα τρία παραμετρικά μοντέλα (S2-S3-S4) βελτιώνουν θερμοκρασιακά το μοντέλο με παρόμοιο τρόπο. Ωστόσο αυτό αντιστρέφεται για τις απογευματινές ώρες, καθώς η παρουσία βλάστησης υποδεικνύει ότι μετά τις 18:00 συμβάλει στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα ενώ η χρήση ψυχρών υλικών δεν συμβάλλουν.
- ✓ Η βελτιωτικές συνθήκες από τα ψυχρά υλικά συνάδουν με τις ώρες επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή από τις 7:00 μέχρι τις 18:00. Κατά το χρονικό διάστημα 7:00-18:00 η καθύψος μείωση κυμαίνεται μεταξύ 0,3°C έως και 0,8°C, με τις υψηλότερες μειώσεις να παρουσιάζονται το διάστημα 12:00-16:00. Τη

υπόλοιπη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή τις βραδινές ώρες η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής δεν προκαλεί κάποια θερμοκρασιακή μείωση σε σχέση με το μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης.

- ✓ Τα μοντέλα βλάστησης δημιουργούν μεγαλύτερη θερμοκρασιακή μείωση της θερμοκρασίας στα χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα (της τάξης $0,5^{\circ}\text{C}$ - $0,7^{\circ}\text{C}$ για το 3ο Σενάριο και $0,3^{\circ}\text{C}$ - $0,4^{\circ}\text{C}$ για το 4ο Σενάριο) για το χρονικό διάστημα μεταξύ 13:00-17:00. Ενώ για τα υψηλότερα υψομετρικά επίπεδα η μείωση της θερμοκρασίας είναι χαμηλότερη καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή $0,3^{\circ}\text{C}$ - $0,4^{\circ}\text{C}$ για το 3ο Σενάριο και $0,2^{\circ}\text{C}$ - $0,1^{\circ}\text{C}$ για το 4ο Σενάριο.
- ✓ Συγκεκριμένα, η ύπαρξη βλάστησης χαμηλή σε πυκνότητα (4^ο Σενάριο) μπορεί να μειώσει $0,5^{\circ}\text{C}$ κατά μέσο όρο τη θερμοκρασία του αέρα τις μεσημεριανές ώρες σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο κατανομής (1^ο Σενάριο), η ύπαρξη βλάστησης υψηλή σε πυκνότητα (3^ο Σενάριο) κατά $0,7^{\circ}\text{C}$, η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής (2^ο Σενάριο) κατά $0,6$ - $0,8^{\circ}\text{C}$, ενώ ο συνδυασμός ψυχρών υλικών και πυκνής βλάστησης (5^ο Σενάριο) κατά $1,4^{\circ}\text{C}$ κατά μέσο όρο.
- ✓ Ομοίως, τις βραδινές ώρες, η εφαρμογή του 2^{ου} Σεναρίου μειώνει τη θερμοκρασία κατά $0,1^{\circ}\text{C}$, του 4^{ου} Σεναρίου κατά $0,2^{\circ}\text{C}$, του 3^{ου} Σεναρίου κατά $0,4^{\circ}\text{C}$ και του 5^{ου} Σεναρίου κατά $0,5^{\circ}\text{C}$.
- ✓ η ύπαρξη 2 πράσινων κτιρίων στη περιοχή δημιουργεί μείωση της θερμοκρασίας στη γύρω περιοχή περίπου κατά μέσο όρο $0,8^{\circ}\text{C}$. Συγκεκριμένα, η χρήση πράσινης πρόσοψης στο κτίριο επί της οδού Πλάτωνος αλλά και το Σούπερ Μαρκετ μειώνει τη θερμοκρασία στη πρόσοψη κατά $0,6$ - $0,7^{\circ}\text{C}$, ενώ επί της οδού Μύλων η ύπαρξη δυο γειτονικών πράσινων κτιρίων στην περιοχή μειώνει τη θερμοκρασία $0,6$ - $0,9^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Σε σχέση με το υψόμετρο, η χρήση ψυχρών υλικών επιφάνειας στο μοντέλο και για ύψος μικρότερο των 5μ μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία της γύρω περιοχής περίπου κατά $0,6$ - $0,8^{\circ}\text{C}$
- ✓ Για τα μοντέλα βλάστησης, στους κύριους οδικούς άξονες (Πλάτωνος, Μύλων, Επιδαύρου) και σε υψόμετρο μικρότερο των 5μ, το 3ο Σενάριο μειώνει τη θερμοκρασία κατά $0,5$ - $0,7^{\circ}\text{C}$, ενώ το 4ο Σενάριο κατά $0,3$ - $0,4^{\circ}\text{C}$. Η προσθήκη πλήθους ειδών δένδρων σε μικρούς και στενούς δρόμους δεν ήταν δυνατή και γι' αυτό το λόγο στους δρόμους ήπιας κυκλοφορίας (Μερόπης, Ζάρκου, Καλλικρατίδου, Κυρηνείας) εντός του δομημένου περιβάλλοντος η βλάστηση του 3ου Σεναρίου συμβάλει στη θερμοκρασιακή μείωση κατά $0,3$ - $0,5^{\circ}\text{C}$, ενώ του 4ου Σεναρίου κατά $0,2$ - $0,3^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Στο 5ο Σενάριο, υπάρχει συνεχόμενη καθύψος θερμοκρασιακή μείωση (έως και σε υψόμετρο 25μ) από το πρωί μέχρι και τις 18:00 το απόγευμα. Κατά το χρονικό διάστημα 7:00-18:00 η μείωση κυμαίνεται μεταξύ $0,7^{\circ}\text{C}$ έως και $1,4^{\circ}\text{C}$, με τις υψηλότερες μειώσεις να παρουσιάζονται το διάστημα 12:00-17:00. Τη υπόλοιπη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή τις βραδινές ώρες η χρήση ψυχρών υλικών κατασκευής σε συνδυασμό με τη παρουσία βλάστησης με υψηλή πυκνότητα φυλλώματος οδηγεί σε ένα σταθερό εύρος με καθύψος μείωση που κυμαίνεται μεταξύ των $0,3^{\circ}\text{C}$ - $0,5^{\circ}\text{C}$. Επιπλέον, εντός του κρίσιμου

- ωραρίου το μεσημέρι (12:00-15:00) μέχρι και το ύψος των 11μ η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να είναι έως και 1°C.
- ✓ Στο 5ο Σενάριο, για υψόμετρο 1μ. - 5μ. η μείωση της θερμοκρασία επί της οδού Μύλων ανατολικά είναι 1-1,4°C και δυτικά (υπό την επίδραση του πράσινου κτιρίου και της παρόδιας βλάστησης) είναι 1,6-1,8°C. Η θερμοκρασιακή μείωση για τις υπόλοιπες οδούς είναι άνω του 1°C και υπό περιπτώσεις (Επιδαύρου) η θερμοκρασιακή μείωση γίνεται κατά 1,5°C.
 - ✓ Για τα μοντέλα βελτίωσης του μικροκλίματος (S2-5) φαίνεται ότι η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των χαμηλότερων και υψηλότερων στρωμάτων μειώνεται ανάλογα με τις βελτιωτικές συνθήκες που επιφέρει το κάθε παραμετρικό μοντέλο στα χαμηλότερα επίπεδα, με αποτέλεσμα τη μείωση της καθ' ύψος θερμοκρασιακής διακύμανσης.
 - ✓ Όσον αφορά την θερμική άνεση, στο 1^ο Σενάριο οι συνθήκες θερμικής άνεσης φαίνονται καλύτερες τις μεσημεριανές ώρες από το 2^ο Σενάριο, καθώς η χρήση ψυχρών υλικών αυξημένης ανακλαστικότητας μπορούν μεν να μην απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και να μην αποθηκεύουν στη μάζα τους μεγάλα ποσά θερμότητας, αλλά δημιουργούν θερμική όχληση στον περιβάλλοντα χώρο τους. Για αυτόν τον λόγο, στο 5^ο Σενάριο αποδεικνύεται ότι ο συνδυασμός ψυχρών υλικών με κατάλληλους όγκους φύτευσης για σκίαση και εξατμισοδιαπνοή λειτουργούν πολύ θετικά στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος τη θερινή περίοδο (Tsoka et al, 2018).
 - ✓ Μείωσης της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου. Συγκεκριμένα, το 5ο Σενάριο εφαρμογής δημιουργεί τις ευνοϊκότερες θερμοκρασιακές συνθήκες, με μείωση κατά 3°C περίπου ενώ το 2ο σενάριο κατά 2°C, το 3ο κατά 1,2°C και το 4ο κατά 0,9°C.

5.5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτέλεσε η μελέτη του αειφορικού σχεδιασμού των αστικών κέντρων και συγκεκριμένα μιας πυκνοδομημένης περιοχής στην Ακαδημία Πλάτωνος που χαρακτηρίζεται από απουσία βλάστησης και στενούς δρόμους. Στόχος της μελέτης αποτέλεσε η θερμική βελτίωση του χώρου για συνθήκες ακραίων θερμοκρασιών που υφίστανται το καλοκαίρι εντός πόλεων. Η εκτίμηση των συνθηκών άνεσης των κατοίκων μεταξύ διαφορετικών διαμορφώσεων του χώρου έγινε μέσω προσομοιώσεων του μικροκλίματος με το λογισμικό ENVI-met. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα συγκεκριμένα αυτά επιστημονικά ζητήματα βρίσκονται κάτω από συνεχή μελέτη, έρευνα και ανάπτυξη.

Αναφορικά με το λογισμικό ENVI-met, μέσω του πλήθος προσομοιώσεων και μετά τον έλεγχο και την αξιολόγηση αποτελεσμάτων που προέκυψαν, κρίθηκε ως ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την θερμική ανάλυση αστικών περιοχών. Στα πλεονεκτήματά του ανήκει το γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως, τόσο

από ερευνητές όσο και από αρχιτέκτονες και μηχανικούς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το εν λόγω λογισμικό (μοντέλο) είναι απλό στη χρήση του για τη εφαρμογή μοντέλων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι μετά από κάθε προσομοίωση διατίθενται μία πληθώρα δεδομένων για την περιοχή μελέτης, τα οποία μπορούν να οπτικοποιηθούν είτε με δυσδιάστατες ή τρισδιάστατες απεικονίσεις είτε να επεξεργαστούν από τους χρήστες και μέσω διαγραμμάτων και να προκύψουν συγκριτικά συμπεράσματα για την υπό μελέτη περιοχή. Συνεπώς, για όλους τους παραπάνω λόγους ενδείκνυται η χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού για μελλοντικές μελέτες – έρευνες βιοκλιματικών αναπλάσεων περιοχών καθώς και για το σχεδιασμό νέων χώρων.

Επιπρόσθετα, για την αποφυγή των όποιων ανακρίβειών και σφαλμάτων του λογισμικού, προτείνεται οι μελετητές να πραγματοποιούν προσομοιώσεις σε περιοχές απλής σχετικά γεωμετρίας, με στόχο επίσης την αποφυγή προβλημάτων σύγκλισης και μη «λογικών» αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα στη περιοχή μελέτης περιορίζονται χωρικά, λόγω του μεγέθους του μοντέλου, ενώ στα όρια αυτού δημιουργούνται μη σταθερές συνθήκες και γι' αυτό το λόγο χρειάζεται να δίνεται σχεδιαστικά μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής στα όρια του μοντέλου.

Παράλληλα, προτείνεται στη συνέχεια αν αυτό είναι δυνατόν να γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με επιτόπιες μετρήσεις στις περιοχές μελέτης. Ομοίως, η κλίμακα σχεδίασης παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στη επίτευξη ακρίβειας στο σχεδιασμό του μοντέλου όσο και ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων χωρικής κατανομής στο μοντέλο. Για αυτό τον λόγο προτείνεται ανάλογα την επιθυμητή ακρίβεια και τη περιοχή μελέτης, ο σχεδιασμός να γίνεται σε πλέγμα με μέγεθος κυψέλης 1x1x1m έως και 3x3x3m.

Τα τελευταία χρόνια το ENVI-met γνώρισε μια σειρά σημαντικών ενημερώσεων, την ταχύτητα υπολογισμού της διεπαφής και τις διαθέσιμες επιλογές σχεδίασης. Στις σημαντικότερες ενημερώσεις του λογισμικού ανήκει η εφαρμογή MONDE που δίνει ευελιξία στο σχεδιασμό τρισδιάστατων μοντέλων και αντικαθιστά τη χρονοβόρα διαδικασία παραγωγής μοντέλων από τη σχεδιαστική εφαρμογή SPACES. Ο επεξεργαστής MONDE αποτελεί εργαλείο που μπορεί να μετατρέψει γεωμετρίες που βασίζονται σε διανυσματικά δεδομένα σε αρχείο .INX, το οποίο αξιοποιείται άμεσα για την υλοποίηση της προσομοίωσης, ενώ μπορεί να παραμετροποιηθεί με ευκολία από τον χρήστη για την δημιουργία μοντέλων χώρου. Ωστόσο, οι τρεις βασικοί περιορισμοί του Monde είναι ότι το σχεδιαστικό περιβάλλον του είναι λίγο πολύπλοκο και γι' αυτό το λόγο ενδείκνυται ο σχεδιασμός του μοντέλου χρήση αυτού το εργαλείου. Ωστόσο, διαθέτει διαλειτουργικές δυνατότητες και επιτρέπει την εισαγωγή εξωτερικών διανυσματικών αρχείων που έχουν δημιουργηθεί σε περιβάλλον GIS ή σχεδιαστικά προγράμματα όπως το AutoCAD. Παράλληλα, το MONDE δεν διαθέτει σχεδιαστικές δυνατότητες στο τρισδιάστατο χώρο, περιορίζοντας έτσι τον χρήστη στη δυσδιάστατη μοντελοποίηση. Γι' αυτό το λόγο η εφαρμογή SPACES πρέπει να έρχεται συμπληρωματικά με την εφαρμογή MONDE. Επιπλέον, τα επιφανειακά υλικά

καταχωρούνται με μη-αυτόματο ή ημιαυτόματο τρόπο χρήση των αναγνωριστικών κωδικών τους από την αντίστοιχη βάση δεδομένων ως περιγραφικός πίνακας της κάθε οντότητας.

5.6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, αλλά και τη σύγχρονη τάση – αναγκαιότητα που επικρατεί για στροφή στην «αιθροική ανάπτυξη», με απώτερο στόχο την περαιτέρω προστασία του πλανήτη δεδομένης και της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, προτείνεται παρακάτω μια σειρά από θέματα για μελλοντική διερεύνηση στη μικροκλιματική μοντελοποίηση.

Κατά την ανάγνωση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, η αξιοπιστία του προγράμματος κρίνεται ικανοποιητική και συνίσταται η χρήση του για τη μελέτη και τη διαμόρφωση του μικροκλίματος υπαίθριων χώρων. Ωστόσο, για μεγαλύτερη ευκρίνεια και ακρίβεια μετρήσεων, η χρήση του προγράμματος προτείνεται να συνοδεύεται από επί τόπου μετρήσεις στον εκάστοτε προς μελέτη χώρο, είτε μέσω in-situ μετρήσεων των μετεωρολογικών παραμέτρων είτε των υλικών κατασκευής των δομικών στοιχείων κάθετων και οριζόντιων επιφανειών ή της συμβολής της βλάστησης, ως στοιχείο ελέγχου της ανεμορροής, προστασίας από την ηλιακή ακτινοβολία, ηχοπροστασίας, και της ποιότητας του αέρα. Έτσι τα αποτελέσματα του προγράμματος θα έχουν ελάχιστη απόκλιση από την πραγματικότητα και συνεπώς θα επιβεβαιώνεται και η αξία εφαρμογής τους σε προτάσεις ανάπλασης του δομημένου περιβάλλοντος.

Αναφορικά με το ζήτημα της μελέτης της επίδρασης που ασκεί ο προσανατολισμός, η γεωμετρία, η τοπογραφική διαμόρφωση, τα υλικά των επιφανειών, η βλάστηση κλπ μιας περιοχής, προτείνεται στο μέλλον οι μελετητές να κάνουν χρήση της παραμετρικής ανάλυσης των διάφορων αστικών υπαίθριων χώρων, με αποτέλεσμα την εξαγωγή όχι μόνο ωφέλιμων, αλλά και ποσοτικοποιημένων συμπερασμάτων. Επίσης, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η μελέτη συγκεκριμένων και παγιωμένων προβλημάτων που έχει δημιουργήσει η σύγχρονη δόμηση όπως για παράδειγμα το πρόβλημα της αστικής χαράδρας και να αναζητηθούν εναλλακτικές λύσεις.

Το ENVI-met διαθέτει ακόμη βάσεις δεδομένων που αφορούν στη βλάστηση, στα υλικά των επιφανειών, στο έδαφος και τη σύσταση αυτού. Στο σημείο αυτό προτείνεται να εμπλουτιστούν οι συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων με περισσότερα είδη φυτών και υλικά, με τη βοήθεια φυσικά εξειδικευμένων γεωπόνων, βοτανολόγων, γεωλόγων, φυσικών και άλλων σχετικών επιστημόνων, οι οποίοι και θα αποδώσουν τα πραγματικά χαρακτηριστικά στα φυτά και τις σωστές ιδιότητες στα υλικά, με απώτερο στόχο την επιπλέον αύξηση της χρησιμότητας του λογισμικού. Διερευνητική μεθοδολογία εφαρμογής των μοντέλων προσομοίωσης θα αποτελούσε επιπλέον

συνδυαστικά και η χρήση αρχιτεκτονικών λογισμικών όπως το Rhino και το Sketchup που μέσω των πρόσφατων διαλειτουργικών πρόσθετων εφαρμογών τους στηρίζουν τη μετατροπή της γεωμετρίας των μοντέλων σε περιοχές μοντέλων που ανταποκρίνονται στα αρχεία εισόδου του λογισμικού ENVI-met. Η μεθοδολογία αυτή θα ενίσχυε διαλειτουργικά τα διαδεδομένα σχεδιαστικά λογισμικά με ένα μικροκλιματικό μοντέλο προσομοίωσης.

Το λογισμικό επιπλέον προσφέρει στοιχεία τα οποία αφορούν κυρίως στους δείκτες θερμικής άνεσης P.M.V. και C.P., οι οποίοι είναι και οι περισσότερο διαδεδομένοι. Για αυτό τον λόγο θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να μελετηθούν και συσχετιστούν περαιτέρω για τα διάφορα σενάρια, οι περιβαλλοντικές παράμετροι, (η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η υγρασία και ο άνεμος) και οι προσωπικοί (ένδυση και ρυθμός μεταβολισμού) που επηρεάζουν την απόκριση του ανθρώπου στο εκάστοτε θερμικό περιβάλλον. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας διαφοροποιείται από τη θερμοκρασία του αέρα, γιατί είναι πρωτίστως υπεύθυνη για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας, πράγμα που θα παρουσίαζε ενδιαφέρον προς ανάλυση. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται ως η σημαντικότερη μετεωρολογική παράμετρος στον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, ιδιαίτερα όταν αναφέρεται σε άκρως δυσμενείς θερμικές συνθήκες (Matzarakis 2000) γιατί εμπεριέχει το σύνολο των ακτινοβολιών μεγάλου και μικρού μήκους κύματος, άμεσες και ανακλούμενες (Thorsson et al 2007).

Εν κατακλείδι, προτείνεται στο μέλλον να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνα και μελέτη του μικροκλίματος της ευρύτερης περιοχής της Ακαδημίας Πλάτωνος (615 στρ), δεδομένης και της σπουδαιότητας και της αρχαιολογικής σημασίας της περιοχής, με τη συμπερίληψη του Αρχαιολογικού Άλσους, του Βιομηχανικού πάρκου αλλά και των κεντρικών αρτηριών όπου αυτή οροθετείται. Σε συνέχεια αυτού, η μικροκλιματική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Ακαδημίας Πλάτωνος θα ήταν σημαντικό να συσχετιστεί σε σχέση και με τους στόχους που θέτει η πολεοδομική μελέτη εφαρμογής για μέρος της περιοχής. Κάποιοι από τους βασικούς στόχους αποτελούν τόσο η δημιουργία «διαδρομών» σύνδεσης, που αφορούν κυρίως πεζούς και ποδηλάτες, με σημαντικούς δημόσιους χώρους, πόλους κοινωνικής δραστηριότητας και συγκοινωνιακές εξυπηρετήσεις όσο και η βελτίωση του μικροκλίματος και της βιοκλιματικής συμπεριφοράς της περιοχής μελέτης με αύξηση των ελεύθερων χώρων πρασίνου, δημόσιων και ιδιωτικών, μείωση της επιφάνειας αμιγούς χρήσης οχημάτων

Περαιτέρω, μια ενδιαφέρουσα μελέτη θα περιλάμβανε την παραμετρική ανάλυση διαφορετικών παρεμβάσεων στην υπάρχουσα κατάσταση, όπως χρήση διαφορετικών υλικών κατασκευής με διαφορετική ανακλαστικότητα, συγκεκριμένα είδη βλάστησης που να ανταποκρίνονται σε πραγματικά είδη που μπορούν να προσαρμοστούν στο αστικό περιβάλλον, δημιουργία μεμονωμένων πράσινων

κτιρίων ή πράσινων σκεπών, πάρκων «τσέπης», αξιοποίηση του ακάλυπτου χώρου των οικοδομικών τετραγώνων καθώς η μελέτη των μικροκλιματικών συνθηκών σε διαφορετικές εποχές του χρόνου σε σχέση με την επιλογή φυλλοβόλων ή αειθαλή δένδρων. Πρόσθετα, με τη βοήθεια του λογισμικού και προκειμένου να αναλυθεί η έκθεση του ανθρώπου και του περιβάλλοντα χώρου στους διάφορους τύπους ατμοσφαιρικών ρύπων, προτείνεται να ενσωματωθούν στη περιοχή μελέτης μοντέλα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και διασποράς, δημιουργώντας επίσης προφίλ εκπομπών βάσει τυπικών συντελεστών εκπομπών για οχήματα και η εφαρμογή μιας ολιστικής προσομοίωσης του μικροκλίματος. Η σωστή ποσότητα ηλιακού φωτός αποτελεί επίσης βασικό παράγοντα για ένα βιώσιμο αστικό περιβάλλον, καθώς η έλλειψη αυτού μπορεί να δημιουργήσει δυσάρεστες συνθήκες και για αυτό τον λόγο θα μπορούσε να ενισχυθεί η παρούσα μελέτη με τη ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τέλος, το αστικό μικροκλίμα και οι διαδικασίες ανταλλαγής ενέργειας σε επίπεδο κτιρίου αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα αλληλεπίδρασης. Για το σχεδιασμό και τη κατασκευή βιώσιμων κτιρίων, είναι σημαντικό να γίνεται κατανοητό πως το περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει τη ενεργειακή κατανάλωση του κτιριακού τομέα. Συνεπώς, για τη περιοχή μελέτης θα μπορούσαν να δημιουργηθούν μοντέλα υψηλής ανάλυσης για τη μεταφορά θερμότητας και υγρασίας στην πρόσοψη του κτιρίου και τη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων για τη θερμοκρασία του τοίχου και του εσωτερικού χώρου. Με τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ENVI-met μπορούν να δημιουργηθούν δεδομένα καιρού για αστικό μικροκλίμα και να αξιοποιηθούν περαιτέρω σε μια ενεργειακή προσομοίωση από εξειδικευμένα λογισμικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δήμος Αθηναίων, Διεύθυνση Σχεδίου Πόλεως, Τμήμα Πολεοδομικού Σχεδιασμού (Σεπτέμβριος 2009) Μελέτη Πολεοδομικού Ανασχεδιασμού της γειτονιάς Ακαδημίας Πλάτωνος και της περιοχής που περιβάλλει τη γειτονιά και το Αρχαιολογικό Άλσος - Α' Φάση.

Δήμος Αθηναίων, Διεύθυνση Σχεδίου Πόλεως, Τμήμα Πολεοδομικού Σχεδιασμού (Μάρτιος 2012) Μελέτη Πολεοδομικού Ανασχεδιασμού της γειτονιάς Ακαδημίας Πλάτωνος στη 4η Δημοτική Κοινότητα - Β' Φάση.

Διανέοσις (2017). "[Επιπτώσεις της Κλιματικής αλλαγής στη ανάπτυξη](#)"

Ενοποίηση Αρχαιολογικών Χώρων Αθήνας (Ε.Α.Χ.Α.) Α.Ε. (2009) Διερεύνηση των κυκλοφοριακών επιπτώσεων από επεμβάσεις στο οδικό δίκτυο πέριξ του Αρχαιολογικού Χώρου της Ακαδημίας Πλάτωνος.

ΚΑΠΕ, 2004. «Σχεδιασμός Υπαιθριων Αστικών Χώρων με βιοκλιματικά κριτήρια», Έργο RURORS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces), ISBN: 960-86907-2-2

ΚΑΠΕ, 2002. "Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής", Σεπτέμβριος 2002

Κίκηρα Μ., 2006. "Βιοκλιματικός Σχεδιασμός υπαίθριων αστικών χώρων" στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE), Εφαρμογές Τεχνολογιών Εξοικονόμησης και Ηλιακής Ενέργειας στα Κτίρια

Καρβούνης Α., Μητράκα Ζ., Μπενάς Ν. και Χρυσουλάκης Ν. (2011) 'Πληροφορίες σχετικά με την κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο και παράμετροι που την καθορίζουν', στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) Πρόγραμμα Βιοκλιματικών Αναβαθμίσεων Δημόσιων Ανοικτών Χώρων. Οδηγός Μελετών, http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf

Κολοκότσα Δ. κα, 2011. «Τα ψυχρά υλικά και ο ρόλος τους στο δομημένο περιβάλλον», Τεχνικές Σελίδες <https://www.neotexrodos.gr/wp-content/uploads/2013/09/psixra.pdf>

Μακροπούλου, Μ. και Γοσποδίνη, Α. (2010), 'Αστικές Αναπλάσεις και δημόσιοι υπαίθριοι χώροι στην Ελλάδα: Η περίπτωση του αεροδρομίου Ελληνικό στην Αθήνα', στο Η. Μπεριάτος και Μ. Παπαγεωργίου (επ.), Χωροταξία – Πολεοδομία - Περιβάλλον στον 21ο αιώνα, Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (2011). “Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων”, Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο. ΤΕΕ 20702-5/2010, Α' Έκδοση, Ιανουάριος 2011

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (2011). “Κλίμα και Εσωτερικό Περιβάλλον. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων”, Θεματική Ενότητα ΔΕ3, Έκδοση Α, Ιούνιος 2011
Α. Τσολάκη, Ε.Πετράκη, ΕΜΠ. Αστικό μικροκλίμα, ποιότητα εξωτερικού - εσωτερικού. περιβάλλοντος και βιοκλιματική αντιμετώπιση προβλημάτων. Οι περιπτώσεις του Ψυρρή και των υπόσκαφων κατασκευών σε Ελλάδα και Τουρκία

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Γενική Διεύθυνση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας της Ατμόσφαιρας (2016). “[Εθνική Στρατηγική για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή](#)”

Abdi, Babak, Ahmad Hami, and Davoud Zarehaghi. 2020. “Impact of Small-Scale Tree Planting Patterns on Outdoor Cooling and Thermal Comfort.” *Sustainable Cities and Society* 56 (May): 102085. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102085>.

Alchapar, N. L., & Correa, E. N. (2016). The use of reflective materials as a strategy for urban cooling in an arid “OASIS” city. *Sustainable Cities and Society*, 27, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.015>

Asef, S M, O Tolba, and A Fahmy, 2020. “The effect of Leaf Area Index and Leaf Area Density on Urban Microclimate”

Ashtiani A, Mirzaei PA, Haghghat F, 2014. Indoor thermal condition in urban heat island: comparison of the artificial neural network and regression methods prediction. *Energy Build* 2014, 76:597-604.

Bretz, S., & Akbari, H. (1997). Long-term performance of high albedo roof coatings. *Energy and Buildings*, 25(2), 159–167. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788\(96\)01005-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(96)01005-5)

Bruse, M. and Flerer, H. (1998) Simulating surface-plant-air interactions inside urban ENVironments with a three dimensional numerical model, *ENVironmental Modelling & Software* ,13, pp. 373-384

Bruse, M. 2004a ENVI-met documentation <http://www.ENVI-met.com/documents/ENVI-met30.PDF>. 16.04.2015 ,.

Bruse, M.,2004b ENVI-met implementation of the Jacobs A - gs Model to calculate the stomata conductance http://ENVI-met.com/documents/new_a_gs.pdf.15.04.2015.

Bruse, M. 2004c ENVI-met 3.0: Updated Model Overview <http://www.ENVI-met.com/documents/papers/overview30.pdf>.17.04.2015 ,.

- Bruse, M. ,2007 ENVI-met implementation of the gas/ particle dispersion and deposition model PDDM <http://ENVI-met.com/documents/sources.PDF>. 13.04.2015.
- Bruse, M. 2015a ENVI-met <http://www.ENVI-met.info/hg2e/doku.php?id=intro:modelconcept>.17.04.2015
- Bottema, M., 1993. Wind Climate and Urban Geometry, Ph.D. Thesis, FAGO, Technical University of Eindhoven,
- Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I., 2004. Passive cooling of outdoor urban spaces: The role of materials. *Solar Energy*, 77(2), 231–249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.005>
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., Mauri, E. and Vandentorren, S. (2011), Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *Int. J. Climatol.*. Vol. 31, pp. 313–323. ESPON Climate, 2011. Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies, Final report.
- Donny Koerniawan Weijun Gao, M., 2015. The Simulation Study of Thermal Comfort in Urban Open Spaces of Commercial Area Using ENVIMet Software, (September).
- El-Bardisy, W. M., Fahmy, M., & El-Gohary, G. F. (2016). Climatic sensitive landscape design: Towards a better microclimate through plantation in public schools, Cairo, Egypt. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 216, 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.029>.
- Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Synnefa, A., Vassilakopoulou, K., Papadopoulou, K., Pavlou, K., Santamouris, M., Papaioannou, M. and Lagoudaki, A. (2011), 'Improving the microclimate in urban areas: a case study in the centre of Athens', *Building Services Engineering Research and Technology*
- Hami, A., Abdi, B., Zarehaghi, D., & Maulan, S. B. (2019). Assessing the thermal comfort effects of green spaces: A systematic review of methods, parameters, and plants' attributes. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101634. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101634>
- Huang, J.M.; Chen, L.C., 2020. A Numerical Study on Mitigation Strategies of Urban Heat Islands in a Tropical Megacity: A Case Study in Kaohsiung City, Taiwan. *Sustainability*, 12, 3952.
- Huttner, S., 2012. Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, 147. Retrieved from <http://ubm.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2012/3112/>
- Jin, C., Bai, X., Luo, T., & Zou, M. (2018). Effects of green roofs' variations on the regional thermal environment using measurements and simulations in Chongqing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 223–237. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.002>.

John R. Goulding, et al. (1994), Ενεργειακός Σχεδιασμός. Εισαγωγή για Αρχιτέκτονες, επιμ. Ερωτόκριτος Π. Τσίγκας, Θεσσαλονίκη: Μαλλιάρης Α. – Παιδεία Α.Ε., 1994

Kyriakodis, G. E., & Santamouris, M., 2018. Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates - Results from a large scale urban mitigation project. *Urban Climate*, 24, 326–339. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.002>

Kim, Jaekyoung, Sang Yeob Lee, and Junsuk Kang. 2020. "Temperature Reduction Effects of Rooftop Garden Arrangements: A Case Study of Seoul National University." *Sustainability* 12 (15): 6032. <https://doi.org/10.3390/su12156032>.

Kleerekoper, L., Van Esch, M. and Salcedo, T. B. (2012) 'How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect', *Resources, Conservation and Recycling*

Lee, H., Mayer, H., & Kuttler, W. (2020). Impact of the spacing between tree crowns on the mitigation of daytime heat stress for pedestrians inside E-W urban street canyons under Central European conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126558. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126558>.

Lee, H., & Mayer, H. (2016). Validation of the mean radiant temperature simulated by the Ray-Man software in urban environments. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1775–1785. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1166-3>.

Lee, H., Mayer, H., & Schindler, D. (2014). Importance of 3-D radiant flux densities for outdoor human thermal comfort on clear-sky summer days in Freiburg, Southwest Germany. *Meteorologische Zeitschrift*, 23(3), 315–330

Lee, H., Holst, J., & Mayer, H. (2013). Modification of human-biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons. *Advances in Meteorology* 312572. <https://doi.org/10.1155/2013/312572>

Lee, D.H.; Lee, E.J.; Kim, J.H.; Yoon, D.Y., 2013. An Experimental Study on the surface Temperature Depending on Green Roof Vegetation. *Korean Sol. Energy Soc.*, 11, 91–94.

Matzarakis A. (2000). Modelling of radiation fluxes in urban areas and their relevance to thermal conditions of humans. *Third Symposium on the urban ENVironment*. 163-164.

Milosevic, D. D., Bajanski, I. V., & Savic, S. M. (2017). Influence of changing trees locations on thermal comfort on street parking lot and footways. *Urban Forestry & Urban Greening*, 23, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.011>

Mirzaei, Parham A. 2015. "Recent Challenges in Modeling of Urban Heat Island." *Sustainable Cities and Society* 19 (December): 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>.

Mirzaei PA, Haghghat F, 2010. Approaches to study Urban Heat Island – abilities and limitations. *Build Environ* 2010, 45(10):2192-2201.

Oke, T.R. (1976) The distance between canopy and boundary layer urban heat islands, *Atmosphere*

Perini, K., Chokhachian, A., & Auer, T. (2018). Green streets to enhance outdoor comfort. *Nature based strategies for urban and building sustainability*. Butterworth-Heinemann 119–129. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00011-2>.

Qin, Y., 2015. Urban canyon albedo and its implication on the use of reflective cool pavements. *Energy Buildings*, 96, 86–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.005>

Rui, Liyan, Riccardo Buccolieri, Zhi Gao, Elisa Gatto, and Wowo Ding. 2019a. "Study of the Effect of Green Quantity and Structure on Thermal Comfort and Air Quality in an Urban-like Residential District by ENVI-Met Modelling." *Building Simulation* 12 (2): 183–94. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0498-9>.

Santamouris M. and Assimakopoulos D. (Eds.) (1996) *Passive Cooling of Buildings*, James and James, London

Santamouris M and Cartalis C, 2015. Building resilient cities to climate change. *Optimization and Its Applications*, pp. 141 – 159

Santamouris M and Kolokotsa D, 2015. On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and ENVironmental quality of vulnerable population in Europe. *Energy and Buildings*, vol. 98

Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, G., Argiriou, A., Assimakopoulos, D.N., 2001. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy*. Vol. 70, pp. 201–216.

Santamouris, M. 2007. Heat island research in Europe: The state of the art. *Advances in building energy research*. Vol. 1, pp. 123–150.

Simon, H., Kropp, T., Sohni, F., & Bruse, M., 2018. Downscaling Climate Models : Running Nested Simulations In The Microclimate Model ENVI-met A Case Study Using WUDAPT2ENVI-met Simulation Data. *Plea* 2018, (December), 6.

Simon, Helge, & Bruse, M., 2015. SIMULATION OF INDOOR CLIMATE WITH FAÇADE DYNAMICS & BUILDING – ATMOSPHERE INTERACTION, (July 2017).

Sodoudi, S., Zhang, H., Chi, X., Müller, F., & Li, H. (2018). The influence of spatial configuration of green areas on microclimate and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.002>.

Spagnolo, J. and de Dear, R. (2003) 'A Field Study of Thermal Comfort in Outdoor and Semi-Outdoor ENVironments in Subtropical Sydney Australia', *Building and ENVironment*

Su, W., Zhang, Y., Yang, Y., & Ye, G. (2014). Examining the impact of greenspace patterns on land surface temperature by coupling LiDAR data with a CFD model. *Sustainability*, 6, 6799–6814. <https://doi.org/10.3390/su6106799>.

Synnefa, A., Santamouris, M., & Livada, I. A., 2005. Study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80,968–981. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2005.08.00>

Taha H., 2013. The potential for air-temperature impact from large-scale deployment of solar photovoltaic arrays in urban areas. *Solar Energy*, 91:358-367.

T. R. Oke (1995), *Boundary Layer Climates*, London and New York: Routledge

Thorsson S., Lindberg F., Eliasson I. and Holmer B. (2007). Different methods for estimating thw mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *Int Journal of Climatology* 27:1983-1993

Toparlak, Y., Blocken, B., Maiheu, B., & van Heijst, G. J. F. (2017). A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1613–1640. doi:10.1016/j.rser.2017.05.248

Tsilini, Vasiliki, Sotiris Papantoniou, Dionysia-Denia Kolokotsa, and Efraxia-Aithra Maria. 2015. "Urban Gardens as a Solution to Energy Poverty and Urban Heat Island." *Sustainable Cities and Society* 14 (February): 323–33. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.006>.

Tsoka, S., A. Tsikaloudaki, and T. Theodosiou. 2018. "Analyzing the ENVI-Met Microclimate Model's Performance and Assessing Cool Materials and Urban Vegetation Applications—A Review." *Sustainable Cities and Society* 43 (November): 55–76. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>.

Unal, M., Uslu, C., Cilek, A., & Altunkasa, M. F. (2018). Microclimate analysis for street tree planting in hot and humid cities. *Digital landscape architecture 2018 – Expanding the boundaries: Landscape architecture in a big data world*. 34–42. <https://doi.org/10.4627/537642004>

Wong JKW, Lau LS-K, 2013. From the 'urban heat island' to the 'green island'? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat Int*, 39:25-35.

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. *Building and Environment*, 130, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.014>.

Zinzi, M., & Agnoli, S., 2012. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques

for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings*, 55, 66–76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.024>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



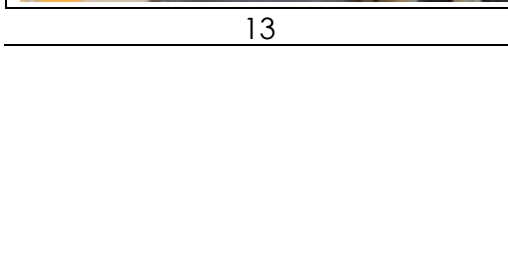
11



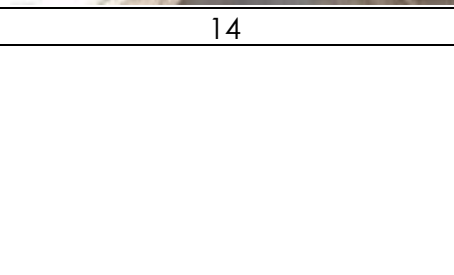
12



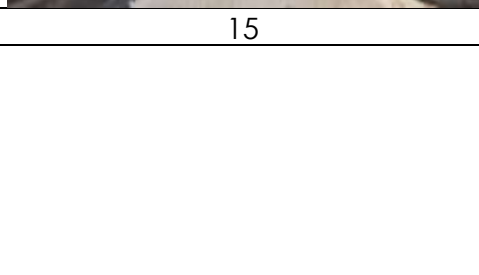
13



14



15



16

