

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
“ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΠΛΑΣΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ
ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΧΩΡΩΝ ”

ΤΣΑΓΔΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

A.M: 2007050038

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΜΕΛΗ :ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ

ΜΙΧΑΗΛ ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ



Ευχαριστίες

Ευχαριστώ την Κυρία Διονυσία Κολοκοτσά, επίκουρο καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης καθώς και τον Κωνσταντίνο Γομπάκη για την βοήθεια τους στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Ίδρυμα, όπως επίσης και στα άτομα που ήταν πάντα δίπλα μου σε όλο το πέρασ των φοιτητικών μου χρόνων στα Χανιά. Τον Γιάννη Χατά ,τον Χαράλαμπο Λαγουδάκη, τον Βαγγέλη Ντάνο, την Έλενα Προβατά και τον Δημήτρη Ξυλά .

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 40% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Η αναζήτηση τρόπων για περιορισμό της υπέρμετρης κατανάλωσης ενέργειας και βελτίωσης των συνθηκών θερμικής άνεσης έχει οδηγήσει σε αναθεώρηση του τρόπου κατασκευής και λειτουργίας των κτιρίων. Η χρήση μοντέλων προσομοίωσης είναι πλέον απαραίτητη για να αποτιμηθούν σωστά οι ενεργειακές απαιτήσεις καθώς και για την εκτίμηση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Η παρούσα διπλωματική βασίζεται σε εμπειρικούς κανόνες και απλούς υπολογισμούς οι οποίοι όμως δεν είναι αρκετοί για να προβλέψουν με ακρίβεια την επίδραση διαφόρων σχεδιαστικών επιλογών και παραμέτρων. Το σύνηθες πρόβλημα είναι ότι ο σχεδιασμός που γίνεται για "τυπικές μέρες" ή με βάση απλουστευμένα μοντέλα, οδηγεί σε μειωμένη ακρίβεια, άρα και αξιοπιστία. Ικανοποιητική ακρίβεια επιτυγχάνεται με τη χρήση ζωνικού τύπου μοντέλων τα οποία προκύπτουν από την υπόθεση ότι σε κάθε ζώνη πεδιακές μεταβλητές όπως π.χ. η θερμοκρασία και η υγρασία έχουν μόνο χρονική εξάρτηση. Γίνεται η υπόθεση ότι σε κάθε χρονική στιγμή η θερμοκρασία έχει μια κατάλληλη μέση τιμή ίδια σε κάθε σημείο της ζώνης. Η ακρίβεια από τα ζωνικά μοντέλα είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ικανοποιητική. Σε περιπτώσεις όμως όπως ο εξαερισμός ή η ύπαρξη έντονων θερμοκρασιακών διαφορών απαιτείται λεπτομερέστερη μοντελοποίηση της ροής. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται λεπτομερής υπολογισμός της κίνησης του αέρα στους εσωτερικούς αλλά και στους εξωτερικούς χώρους και η ζωνική θεώρηση οδηγεί σε σημαντικές αποκλίσεις.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η χρήση μεθόδων υπολογιστικής ρευστομηχανικής για την λεπτομερή ανάλυση της ροής σε εξωτερικούς χώρους κτιρίων με σκοπό την ακριβέστερη περιγραφή περιπτώσεων όπου τα ζωνικά μοντέλα είναι ανεπαρκή. Στην μεθοδολογία που ακολουθείται γίνεται χρήση του λογισμικού EnergyPlus (το οποίο βασίζεται στη ζωνική θεώρηση) για τη θερμική προσομοίωση των κτιρίων και την εξαγωγή οριακών συνθηκών, η ύπαρξη των οποίων είναι απαραίτητη για την ανάλυση της ροής. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής υπολογισμός της ροής στο εξωτερικό των κτιρίων με χρήση λογισμικού υπολογιστικής ρευστομηχανικής.

Για την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας επιλέχθηκε ο χώρος μεταξύ των κτιρίων της Βιβλιοθήκης, του Μηχανογραφικού και του αμφιθεάτρου Α₂ του Πολυτεχνείου Κρήτης το οποίο βρίσκεται στο Ακρωτήρι. Αρχικά έγινε συλλογή στοιχείων που αφορούν την κατασκευή των κτιρίων και του αίθριου χώρου, το είδος δραστηριότητας των χρηστών αλλά και κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Στη

συνέχεια με την βοήθεια του DesignBuilder πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός των κτιρίων και εισήχθησαν δεδομένα που αφορούν την μοντελοποίηση του ευρύτερου χώρου, όπως κατασκευαστικά υλικά. Τέλος με την βοήθεια του DesignBuilder CFD έγινε μελέτη της ροής και εξάχθηκαν τα αποτελέσματα που αφορούν πεδία ταχυτήτων, πίεσης και θερμοκρασιών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	4
1. Γενικά.....	8
1.1. Μικροκλίμα.....	8
1.2. Θερμική άνεση στους υπαίθριους χώρους.....	9
1.2.1 Γενικά.....	9
1.2.2 Θερμική άνεση σε όρους ανθρώπινης φυσιολογία.....	9
1.2.3 Η παράμετρος της προσαρμοστικότητας.....	10
1.2.4 Θεωρητικοί δείκτες θερμικής άνεσης.....	10
1.3. Η αστική μορφολογία.....	14
1.3.1 Η μικροκλιματική ποικιλότητα και το <<ιδανικό κλίμα>>.....	14
1.3.2 Η αστική μορφολογία και παράγωγα φαινόμενα.....	15
1.3.2.1 Θερμική νησίδα.....	16
1.3.2.2 Αστική χαράδρα.....	16
1.3.2.3 Κίνηση του ανέμου.....	17
1.4. Οι επιφάνειες και τα δομικά υλικά.....	19
1.4.1 Γενικά	19
1.4.2 Φυσικές ιδιότητες επιφανειών και δομικών υλικών.....	19
2. Τεχνικές βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος.....	22
2.1. Ψυχρά Υλικά.....	22
2.1.1 Προδιαγραφές τοποθέτησης σκληρών υλικών επίστρωσης σε περιοχές με ανεπαρκή θερινή σκίαση.....	24
2.1.2 Προδιαγραφές τοποθέτησης σκληρών υλικών επίστρωσης σε καλά σκιασμένες περιοχές.....	24
2.1.3 Είδη ψυχρών υλικών.....	25
2.1.4 Θερμοχρωμικά Υλικά.....	25
2.1.5 Φωτοκαταλυτικά Υλικά.....	26
2.1.6 Χρησιμοποιούμενα υλικά σε υπαίθριους χώρους.....	27
2.2. Χρήση πρασίνου.....	28
2.2.1 Φυτεύσεις.....	29
2.2.2 Επίδραση των φυτεύσεων στον άνεμο.....	30
2.2.3 Επίδραση των φυτεύσεων στην ηλιακή ακτινοβολία.....	34
2.2.4 Επίδραση των φυτεύσεων στον ήχο.....	35
2.2.5 Επίδραση των φυτεύσεων στα καιρικά φαινόμενα.....	36
3. Παρουσίαση των Λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν.....	38
3.1. Design Builder.....	38
3.2. Sketchup.....	39
3.3. Ecotect Analysis.....	41
4. Περιγραφή Μεθοδολογίας.....	42
4.1. Στάθμη περιεχομένου.....	42
4.2. Μετρήσεις στο πεδίο.....	42
4.3. Εισαγωγή δεδομένωνCFD.....	46
4.4. Μεθοδολογία.....	47
4.5. Μελέτη και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της ερευνώμενης περιοχής.....	50

4.6. Μετεωρολογικά δεδομένα.....	52
5. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	54
5.1. Αποτελέσματα.....	54
5.2. Συμπεράσματα.....	61
5.3. Μελλοντικές προτάσεις.....	63
6. Βιβλιογραφία.....	64

1. ΓΕΝΙΚΑ

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ξεκίνησε η μετακίνηση μεγάλου μέρους του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε) εκτιμάται ότι μέχρι το 2050, τα 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού θα συγκεντρωθεί στα αστικά κέντρα[1]. Από αυτό προκύπτει η ανάγκη για ένα ποιοτικότερο περιβάλλον εντός του αστικού ιστού, το οποίο θα βελτιώσει το βιοτικό επίπεδο των πολιτών.

Άνετοι εξωτερικοί χώροι πρασίνου, όσο το δυνατόν απαλλαγμένοι από την ανθρώπινη παρέμβαση, μπορούν να συμβάλλουν στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης για τον άνθρωπο. Επίσης, η λειτουργικότητα και η καλαισθησία των χώρων αυτών, μπορούν να βελτιώσουν τις κοινωνικές συναναστροφές συνειδητά και μη[2].

Ταυτόχρονα, τα αστικά κέντρα θα πρέπει να αναπτύσσονται με γνώμονα την όσο το δυνατόν μικρότερη αλλοίωση στο φυσικό περιβάλλον, της προϋπάρχουσας βιοποικιλότητας και ο σχεδιασμός τους να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

1.1 Μικροκλίμα

Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν εντός του αστικού ιστού, στην πλειονότητα των περιπτώσεων διαφέρουν από τις αντίστοιχες στα προάστια του.

Αυτό διαπιστώνεται από τις καταγραφές των εξωτερικών συνθηκών από μετεωρολογικούς σταθμούς εντός και εκτός πόλεως. Διαφορετικές συνθήκες όμως, παρατηρούνται και σε περιοχές εντός του ίδιου του αστικού ιστού, όπως για παράδειγμα ένας δρόμος με έντονη κυκλοφορία και ένα πάρκο. Παρατηρείται απόκλιση στα μετεωρολογικά δεδομένα εντός της πόλεως, λόγω διαφορετικού σχεδιασμού και τρόπου δόμησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη διαφορετικών μικροκλιμάτων εντός της πόλης που το καθένα εξαρτάται από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειών, την υγρασία και τις συνθήκες ροής του ανέμου.

Οι μικροκλιματικές συνθήκες, περιμετρικά των κτιρίων, τους δρόμους και τους ελεύθερους χώρους βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με την άνεση των κατοίκων μιας περιοχής καθώς και των ατόμων που εργάζονται ή δραστηριοποιούνται σε αυτήν. Αυτές, μπορούν να ελεγχθούν και να τροποποιηθούν μέχρι ένα βαθμό με κατάλληλο σχεδιασμό, δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειών, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου γύρω από τα κτίρια, τους δρόμους και τους ανοιχτούς χώρους, ο ηλιασμός των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων, η υγρασία και η συγκέντρωση σκόνης και ρύπων κοντά στο έδαφος, μπορούν να βελτιωθούν με σωστές επιλογές κατά τη διάρκεια του αρχικού σχεδιασμού των αστικών χώρων ή με

σωστές παρεμβάσεις σε ήδη υπάρχοντες χώρους[10]. Ο σχεδιασμός και οι παρεμβάσεις αναφέρονται σε θέματα όπως:

- Η επιλογή ευνοϊκής τοποθεσίας με κατάλληλη τοπογραφική διαμόρφωση για την ανάπτυξη μιας περιοχής.
- Η ρύθμιση της πυκνότητας δόμησης.
- Τα κατάλληλα μεγέθη και η χωροθέτηση των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων.
- Ο προσανατολισμός και το μέγεθος των οδών.
- Ο σχεδιασμός και η διάρθρωση των χώρων πρασίνου.

1.2 Θερμική άνεση στους υπαίθριους χώρους

1.2.1 Γενικά

Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία (ASHRAE, American Society Of Heating Refrigeration and Air Conditioning), ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού, κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική μεταβολή του εσωτερικού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται και αισθάνεται ικανοποίηση με τις υπάρχουσες θερμικές συνθήκες [11].

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης στους υπαίθριους χώρους, είναι παρόμοιες με αυτές στους εσωτερικούς, παρόλα αυτά όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος και είναι πιο ευμετάβλητες. Λόγω της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος των υπαίθριων χώρων, όπως επίσης και του μεγάλου εύρους των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτούς, δεν έχουν διεξαχθεί πολλές προσπάθειες για την κατανόηση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε αυτούς [5],[19].

1.2.2 Θερμική άνεση σε όρους ανθρώπινης φυσιολογίας

Το ανθρώπινο σώμα παράγει θερμότητα μεταβολίζοντας την τροφή και την ανταλλάσει με το περιβάλλον μέσω μεταφοράς (convection) και ακτινοβολίας (radiation). Αυτή είναι η “ξηρή ” απώλεια θερμότητας και φυσικά δύναται να έχει θετικό πρόσημο, δηλαδή το σώμα να παίρνει θερμότητα στην περίπτωση όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλότερη από αυτή του σώματος, περίπου με 34°C. Ένα ποσοστό θερμότητας χάνεται μέσω της εξάτμισης του νερού στους πνεύμονες, σε αναλογία με το ρυθμό της αναπνοής, ο οποίος είναι ανάλογος του ρυθμού του μεταβολισμού. Όταν η “ξηρή” απώλεια θερμότητας δεν επαρκεί για την εξισορρόπηση της παραγόμενης από τον μεταβολισμό θερμότητας, παράγεται ιδρώτας που με την εξάτμιση του εξασφαλίζεται ο αναγκαίος δροσισμός. Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς, εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα και την ταχύτητα ροής του[19],[20].

Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας σε υπαίθριους χώρους εξαρτάται από τη μέση θερμοκρασία των γύρω επιφανειών και κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία είναι η κύρια πηγή πρόσληψης θερμότητας μέσω ακτινοβολίας.

Όσον αφορά την υγρασία δεν διαδραματίζει κανένα ρόλο στην “ξηρή” απώλεια θερμότητας. Όμως, η υγρασία επηρεάζει το ρυθμό εξάτμισης του νερού στους πνεύμονες, χωρίς παρόλα αυτά να επηρεάζει το ρυθμό εξάτμισης του ιδρώτα παρά μόνο σε ακραίες καιρικές συνθήκες [6].

1.2.3 Η παράμετρος της προσαρμοστικότητας

Στις περισσότερες μελέτες θερμικής άνεσης στην ύπαιθρο, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μαθηματικά θερμορυθμιστικά μοντέλα για τον ανθρώπινο οργανισμό, τα οποία προορίζονταν για εσωτερικούς χώρους και εμπεριείχαν, πέραν των κλιματολογικών παραμέτρων, την ανθρώπινη δραστηριότητα και το επίπεδο του ρουχισμού.

Επιτόπιες έρευνες, όμως, έδειξαν ότι η προσέγγιση που εξετάζει μόνο την ανθρώπινη φυσιολογία είναι ανεπαρκής για να αξιολογήσει τις εξωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης, με αποτέλεσμα η παράμετρος της προσαρμοστικότητας να γίνεται ολοένα και πιο σημαντική να μελετηθεί.

Αυτή περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες διαδικασίες για τη βελτίωση της σχέσης μεταξύ των αναγκών του ατόμου και του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται ή δραστηριοποιείται, τόσο σε σωματικό, όσο και σε ψυχολογικό επίπεδο. Στα πλαίσια του εξωτερικού περιβάλλοντος, περιλαμβάνει τις αλλαγές που κάνουν οι άνθρωποι με σκοπό να προσαρμοστούν στο χώρο ή να προσαρμόσουν το περιβάλλον στις ανάγκες τους [7][20], με την εποχιακή αλλαγή του ρουχισμού, τις αλλαγές στο μεταβολισμό, την κατανάλωση θερμών ή κρύων ροφημάτων κ.α.

Οι ψυχολογικές παράμετροι όπως η προσωπική επιλογή, η σχετική εμπειρία σε παρόμοιες κλιματικές συνθήκες και οι προσδοκίες, αποδεικνύεται ότι είναι κρίσιμη όσον αφορά την αίσθηση θερμικής άνεσης και ικανοποίησης [8].

1.2.4 Θεωρητικοί δείκτες θερμικής άνεσης

Οι θερμικοί δείκτες εκφράζουν τη θερμοκρασία που αντιλαμβάνεται ένα άτομο υπό την επίδραση όλων ή μερικών από τις μεταβλητές παραμέτρους της θερμικής άνεσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετοί δείκτες θερμικής άνεσης με σκοπό [18]:

- τον προσδιορισμό με ακρίβεια των συνεπειών του συνδυασμού των 4 περιβαλλοντικών μεταβλητών (θερμοκρασία του αέρα, θερμοκρασία των επιφανειών, σχετική υγρασία, ταχύτητα του αέρα) και των 2 προσωπικών, του ρουχισμού και της δραστηριότητας (ή του μεταβολισμού), όσον αφορά στο αίσθημα άνεσης του χρήστη.

- την εκτίμηση του αισθήματος της θερμικής δυσφορίας, η οποία αναφέρεται όχι μόνο στο βαθμό (θερμό ή ψυχρό), αλλά και στο πλήθος των χρηστών ενός χώρου και στη χρονική διάρκεια που αυτοί την αισθάνονται.
- την παροχή βοήθειας στο μελετητή να δημιουργήσει ένα θερμικά άνετο περιβάλλον αφού μπορέσει να προσδιορίσει τη δραστηριότητα και το ρουχισμό.
- τον προσδιορισμό της θερμικής ασυμμετρίας που δημιουργείται σε ένα χώρο τόσο χρονικά, όσο και τοπικά.

Οι σημαντικότεροι δείκτες που αναπτύχθηκαν είναι:

- Η αισθητή θερμοκρασία (effective temperature - ET). Είναι ο πρώτος δείκτης που χρησιμοποιήθηκε το 1923 και συνδυάζει μόνο τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία (από τους Houghton και Yaglou).
- Η λειτουργική θερμοκρασία (operative temperature - T_o). Είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας που ακτινοβολούν οι επιφάνειες. Ισχύει για ταχύτητα ανέμου $< 0,2 \frac{m}{s}$.

$$T_o = 0,5 \cdot t_{air} + 0,5 \cdot t_{mr}$$

- Η διορθωμένη αισθητή θερμοκρασία (corrected effective temperature - CET). Προκύπτει από το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα, της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας από τις επιφάνειες, της ταχύτητας του αέρα και της σχετικής υγρασίας, και είναι το αποτέλεσμα πλήθους βελτιώσεων στο δείκτη της αισθητής θερμοκρασίας.
- Η τυπική αισθητή θερμοκρασία (standar defective temperature - SET). Είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από το συνδυασμό και των 4 παραμέτρων που προαναφέρθηκαν, δεδομένου της τυπικής ενδυμασίας και δραστηριότητας.

Εκτός όμως από τους παραπάνω δείκτες, ο Fanger ανέπτυξε και το δείκτη προβλεπόμενης μέσης ψήφου PMV (predicted mean vote), μια κλίμακα επτά σημείων θερμικής άνεσης στην οποία προβλέπεται η μέση τιμή ψήφων των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο με συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτή η κλίμακα προτείνεται και από την ASHRAE και το σημείο μηδέν υποδεικνύει ότι οι άνθρωποι αισθάνονται άνετα (θερμικά ουδέτερα). Θετικές τιμές υποδηλώνουν υψηλότερη θερμοκρασία από την ιδανική, ενώ αρνητικές τιμές υποδηλώνουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από την ιδανική.

Συγκεκριμένα, η κλίμακα 7 σημείων θερμικής άνεσης (ASHRAE) είναι:

- +3 Πολύ Θερμό
- +2 Θερμό
- +1 Λίγο Θερμό
- 0 Ουδέτερο
- -1 Λίγο Ψυχρό
- -2 Ψυχρό
- -3 Πολύ Ψυχρό

Ο δείκτης PMV περιλαμβάνει την επίδραση των έξι παραμέτρων θερμικής άνεσης, της θερμοκρασίας αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της ταχύτητας αέρα, της σχετικής υγρασίας, της δραστηριότητας και της ένδυσης.

Μια διαπίστωση που έχει γίνει είναι ότι ένας αριθμός ανθρώπων που βρίσκεται στον ίδιο χώρο, με τις ίδιες συνθήκες, εκτελώντας την ίδια δραστηριότητα, ακόμη και αν φορά τα ίδια ρούχα, θα έχει διαφορετική αντίληψη περί της θερμικής άνεσης. Επομένως, οι ψήφοι των ατόμων διαφέρουν μεταξύ τους και ταλαντεύονται γύρω από τη μέση τιμή.

Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι οι συνθήκες σε ένα χώρο δεν είναι ομοιόμορφες, λόγω ύπαρξης παραθύρων, στα αέρια ρεύματα που τυχόν υπάρχουν ή δημιουργούνται σε ένα χώρο, στις θερμοκρασιακές διαφορές που υπάρχουν από το πάτωμα έως την οροφή[18].

Ο δείκτης PMV μπορεί να καθοριστεί με χρήση πινάκων που υπάρχουν στο πρότυπο ISO 7730 για διάφορες τιμές των παραμέτρων άνεσης ή με την παρακάτω εξίσωση:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0.036M} + 0,028) \cdot [(M - W) - H - E_C - C_{res} - E_{res}]$$

Όπου

M: ο ρυθμός μεταβολισμού, $\frac{W}{m^2}$

W: το ωφέλιμο έργο, $\frac{W}{m^2}$

H: οι απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία, $\frac{W}{m^2}$

EC: το ποσό θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας, $\frac{W}{m^2}$

C_{res}: το ποσό θερμότητας που απάγεται με συναγωγή κατά την αναπνοή, $\frac{W}{m^2}$

E_{res}: το ποσό θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή, $\frac{W}{m^2}$

Ο δείκτης PMV συνίσταται να χρησιμοποιείται μεταξύ των τιμών -2 έως +2 όταν οι παράμετροι θερμικής άνεσης βρίσκονται μεταξύ των ορίων:

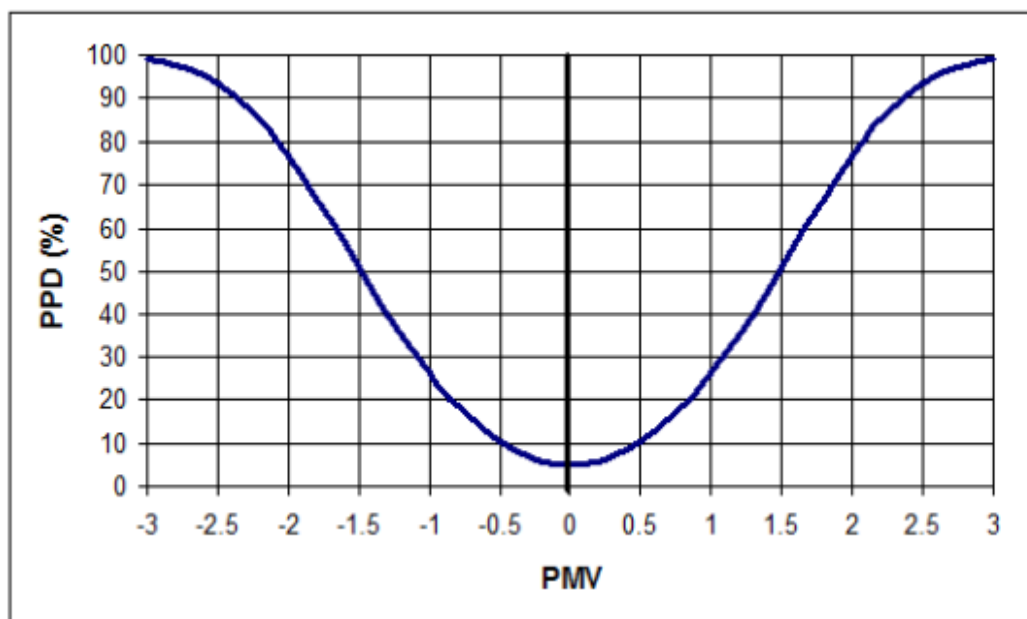
- Θερμοκρασία αέρα, T_a : 10°C έως 30°C
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, T_r : 10°C έως 40°C
- Ταχύτητα αέρα: μικρότερη από $1\frac{m}{s}$
- Δραστηριότητα: 0,8 έως 4 *met*
- Ένδυση: 0 έως 2 *clo*

Επειδή είναι αδύνατο όσοι βρίσκονται στο ίδιο περιβάλλον να αισθάνονται άνετα κάτω από τις υπάρχουσες συνθήκες, είναι σημαντικό να είναι γνωστό το ποσοστό των ατόμων που αισθάνονται το χώρο ψυχρότερο ή θερμότερο από ότι θα ήθελαν. Γι'αυτό το λόγο, ο δείκτης PMV χρησιμοποιείται ταυτόχρονα με το δείκτη προβλεπόμενου ποσοστού δυσαρεστημένων ή δείκτη δυσαρέσκειας PPD (predicted percentage of dissatisfied)[18].

Ο δείκτης PPD δηλώνει το ποσοστό των ατόμων που βρίσκονται σε ένα συγκεκριμένο χώρο και δεν είναι ικανοποιημένα με τις συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν. Μπορεί να υπολογιστεί, με τη βοήθεια του δείκτη PMV από τη σχέση:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2}$$

Πιο εύκολα μπορεί να προσδιορισθεί με τη χρήση διαγράμματος που δείχνει τη σχέση των δύο δεικτών (Εικόνα 1):



Εικόνα 1: Δείκτης PPD συναρτήσει του δείκτη PMV

Από το παραπάνω διάγραμμα, διαπιστώνεται ότι ακόμη και σε κατάσταση θερμικής άνεσης, δηλαδή για $PMV = 0$, υπάρχει ένα ποσοστό ατόμων, περίπου 5%, που δηλώνει δυσανεξία, ενώ στις ακραίες συνθήκες, στις οποίες $PMV = +3$ ή $PMV = -3$ υπάρχει ένα πολύ μικρό ποσοστό που δηλώνει ικανοποιημένο με τις συνθήκες άνεσης (PPD περίπου 99%)

Με βάση το ISO7730, θεωρείται ότι η κατάσταση σε ένα χώρο είναι ικανοποιητική, όταν το ποσοστό δυσανεστούμενων ή αλλιώς ο δείκτης PPD είναι μικρότερος του 10%. Για να ισχύει αυτό, πρέπει η τιμή του PMV να είναι μεταξύ των τιμών -0.5 και $+0.5$.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν πίνακες και διαγράμματα για τον προσδιορισμό του ποσοστού των δυσανεστούμενων ατόμων σε σχέση με κάθε μεταβλητή (θερμοκρασία επιδερμίδας, θερμοκρασία δέρματος, ρεύμα αέρα, κ.τ.λ.)

1.3 Η αστική μορφολογία

1.3.1 Η μικροκλιματική ποικιλότητα και το «ιδανικό κλίμα»

Ο μελετητής του αστικού περιβάλλοντος έχει διάφορες επιλογές όσον αφορά τις σχεδιαστικές λύσεις. Η μορφολογία των κτιρίων, τα υλικά, η βλάστηση, το νερό, ακόμα και ο εξοπλισμός του περιβάλλοντα χώρου μπορούν να συνεισφέρουν στο σχεδιασμό των αστικών χώρων, προστατεύοντας τον χρήστη από δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, αυξάνοντας έτσι τη χρήση των υπαίθριων χώρων. Μπορεί να αναφερθεί κανείς στην «κατάλληλη ποικιλότητα», όταν οι αρνητικοί παράγοντες μειώνονται και οι θετικές συνθήκες αυξάνονται[2]. Για παράδειγμα, σε θερμά-ξηρά κλίματα θα πρέπει να υπάρχει περισσότερος σκιασμός παρά θερμική σταθερότητα ενώ σε θερμά-υγρά κλίματα ο άνεμος και ο σκιασμός είναι το ίδιο κρίσιμοι. Σε ψυχρές περιοχές πρέπει να επικρατούν συνθήκες ηλιασμού και άπνοιας. Σε κλίματα με έντονες εποχιακές διαφοροποιήσεις εάν είναι δυνατόν θα πρέπει να καθοριστούν ορισμένοι χώροι με συνθήκες κατάλληλες για το καλοκαίρι και άλλοι για χειμερινή χρήση. Είναι, όμως, πλεονέκτημα για όλα τα κλίματα και τις εποχές, να υπάρχει ένα κατάλληλο εύρος μικροκλιματικών συνθηκών, ώστε να ενισχύεται η ελευθερία επιλογής του εκάστοτε χρήστη. Δηλαδή, η επιτυχία ενός αστικού περιβάλλοντος εξαρτάται περισσότερο από την περιβαλλοντική ποικιλότητα, παρά από τη βέλτιστη εξασφάλιση ενιαίων συνθηκών θερμικής άνεσης. Επομένως ο στόχος του σχεδιασμού θα πρέπει να είναι η μεγιστοποίηση περιοχών με διαφορετικές συνθήκες, έτσι ώστε να υπάρχει εύρος επιλογής σε σχέση με το κλίμα, τις δραστηριότητες και τις προτιμήσεις των χρηστών. Παρόλα αυτά, ο προσδιορισμός των συνθηκών που είναι ευνοϊκές ανάλογα με το κλίμα ή την εποχή και της επίδρασης που ασκεί η αστική μορφολογία σε αυτές, μπορεί να οδηγήσει τους μελετητές τόσο στην επιλογή χώρων κατάλληλων για συγκεκριμένες χρήσεις, όσο και σε σχεδιαστικές παρεμβάσεις οι οποίες μπορούν να εξασφαλίσουν τις εκάστοτε επιθυμητές συνθήκες.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ο ορισμός του «ιδανικού αστικού κλίματος». Είναι μία κατάσταση της ατμόσφαιρας με υψηλή διαφοροποίηση στο χρόνο και στο χώρο, που επιτρέπει ανομοιογενείς θερμικές συνθήκες για τον άνθρωπο μέσα σε μια απόσταση 150 μέτρων. Το περιβάλλον αυτό πρέπει να είναι ελεύθερο από ρύπανση του αέρα και να μην προκαλεί θερμική δυσφορία στους χρήστες, λαμβάνοντας υπόψη τις θερμικές διαφορές ευρύτερων κλιματικών ζωνών με την παροχή περισσότερης σκιάς και αερισμού σε τροπικά και θερμά κλίματα ή ανεμοπροστασίας και ηλιασμού σε ψυχρότερα κλίματα [2].

1.3.2 Η αστική μορφολογία και παράγωγα φαινόμενα

Ως «αστική μορφολογία» ορίζεται η τρισδιάστατη μορφή μιας ομάδας κτιρίων και οι χώροι που αυτά δημιουργούν. Ο βασικός λόγος που χρησιμοποιείται αυτός ο ορισμός της αστικής μορφής είναι επειδή επιτρέπει στους μελετητές να κατανοήσουν τις επιπτώσεις του στρατηγικού σχεδιασμού, χωρίς να εισέλθουν σε λεπτομέρειες του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Ο ρόλος της, στη διαμόρφωση του υπαίθριου αστικού μικροκλίματος είναι πρωταρχικής σημασίας, ενώ μελέτες μέσω τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης της αστικής δομής (Εικόνα 2), έχουν δείξει τη σύνδεση διαφόρων χαρακτηριστικών της αστικής μορφολογίας με βασικούς μικροκλιματικούς παράγοντες.



Εικόνα2: Τρισδιάστατη απεικόνιση της αστικής δομής [Πηγή: κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε). Σχεδιασμός υπαίθριων αστικών χώρων με βιοκλιματικά κριτήρια].

Οι μικροκλιματικοί παράγοντες είναι άμεσα συνυφασμένοι με τη θερμοκρασία (φαινόμενο θερμικής νησίδας, αστική χαράδρα), την ηλιακή έκθεση, την κίνηση του ανέμου, το ακουστικό περιβάλλον και τη διασπορά του αστικού θορύβου.

1.3.2.1 Θερμική νησίδα

Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας σχετίζεται με την αυξημένη θερμοκρασία του αέρα σε πυκνά δομημένες αστικές περιοχές, τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας, σε σύγκριση με την αντίστοιχη θερμοκρασία των προαστίων και των αγροτικών περιοχών [21]. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα ενός θερμικού πλεονάσματος που προκαλεί διαταραχή στο θερμικό ισοζύγιο των πόλεων. Οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν το φαινόμενο αυτό είναι [9] :

- Η γεωμετρία των κτιρίων και των αστικών δρόμων.
- Οι θερμικές και οπτικές ιδιότητες των υλικών.
- Η ανθρωπογενής θερμότητα.
- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Η μειωμένη εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση.
- Η μειωμένη ροή του αέρα στους δρόμους.

Επιπλέον, εκτός από την επιβάρυνση που προκαλεί στη θερμική άνεση των πολιτών, το φαινόμενο της θερμικής νησίδας έχει και ιδιαίτερα αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Έχει διαπιστωθεί ότι απαιτείται πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για τον κλιματισμό των κτιρίων στο κέντρο μίας πόλης, σε σχέση με αυτήν που χρειάζονται κτίρια στα όρια της ή έξω από αυτήν. Παράλληλα με την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, αυξάνεται και το απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο αιχμής, γεγονός που οδηγεί σε σημαντικά προβλήματα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών κυρίως τους θερινούς μήνες.

Για την αντιμετώπιση τέτοιων περιπτώσεων, στην Ελλάδα, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) χτίζει συνεχώς νέα εργοστάσια – υποσταθμούς, τα οποία χρησιμοποιούνται μόνο 200 ώρες το χρόνο, όταν το φορτίο αιχμής ανεβαίνει δραματικά λόγω της χρήσης των κλιματιστικών [9].

1.3.2.2 Αστική χαράδρα

Ένα άλλο φαινόμενο που συνδέεται άμεσα με την αστική δομή είναι αυτό της αστικής χαράδρας. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την κυκλοφορία του ανέμου και τη μεταβολή της στρωμάτωσης των θερμοκρασιών στις φυσικές χαράδρες μιας πόλης, οι οποίες σχηματίζονται από τις κατακόρυφες όψεις που περιβάλλουν ένα δρόμο (Εικόνα 3). Η κατανομή της θερμοκρασίας σε έναν αστικό δρόμο εξαρτάται από τη θερμότητα που απορροφάται και εκπέμπεται από τις επιφάνειες του δρόμου και των κτιρίων και κατά συνέπεια από τις θερμικές ιδιότητες των υλικών [9].

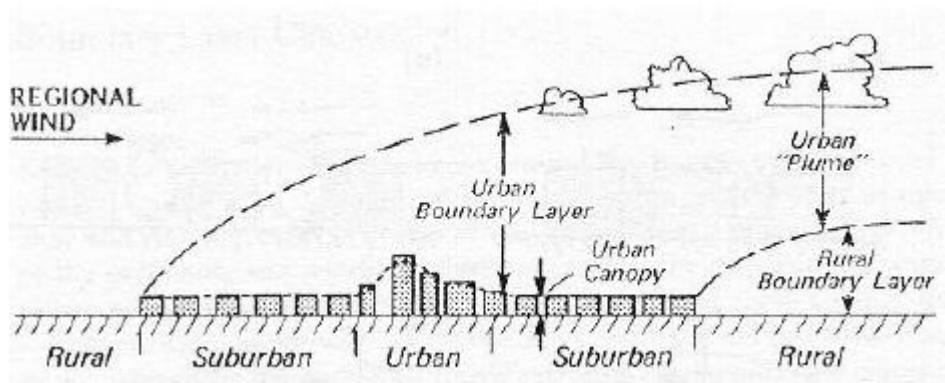


Εικόνα 3: Παράδειγμα αστικής χαράδρας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο]

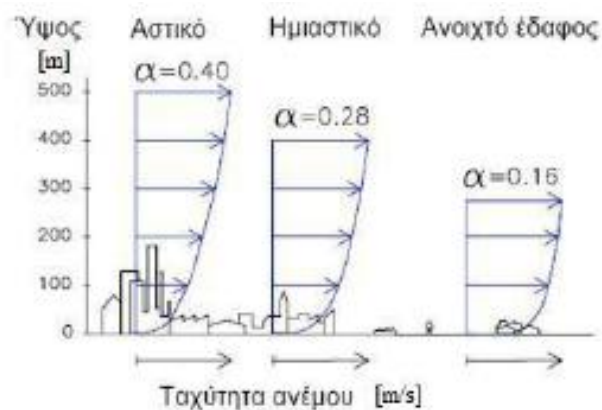
1.3.2.3 Κίνηση του ανέμου

Όσον αφορά τη ροή του αέρα σε ένα δρόμο, είναι γνωστό ότι αυτή εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου, δηλαδή το μέσο ύψος των κτιρίων, το πλάτος και το μήκος του, καθώς και από τον προσανατολισμό του.

Η πυκνή δόμηση σε μεγάλες εκτάσεις μειώνει την ταχύτητα του ανέμου (Εικόνες 4, 5 και Πίνακα 1), όπως επίσης εκτρέπει τη ροή του. Αυτό έχει ως αποτελέσματα τη συγκέντρωση ρύπων για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με εμφανείς υπερθερμάνσεις τη θερινή περίοδο στα κέντρα των πόλεων που δεν εκμεταλλεύονται την ευνοϊκή επίδραση των ανέμων, καθώς και τη δημιουργία τοπικών ανέμων σε επίπεδο οδών με απρόβλεπτη συνήθως ένταση. Συνήθως η διεύθυνση του ανέμου που πνέει σε μία πόλη σχηματίζει γωνία ως προς τον άξονα του δρόμου με αποτέλεσμα την ελικοειδή κίνηση κατά πλάτος και κατά μήκος του. Η αυξημένη ταχύτητα του ανέμου και το φαινόμενο του στροβιλισμού που παρατηρείται σε στενούς δρόμους με ψηλά κτίρια, αφενός δημιουργεί δυσάρεστη αίσθηση στον πεζό, αφετέρου δεν επιτρέπει τον καλό φυσικό αερισμό των κτιρίων.



Εικόνα 4: Αστικό οριακό στρώμα [Πηγή: Αργυρίου Α. Στοιχεία Κλιματολογίας Κτιρίων].



Εικόνα 5: Προφίλ ταχύτητας ανέμου για 3 διαφορετικά είδη περιοχών [Πηγή: κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε). Σχεδιασμός υπαίθριων αστικών χώρων με βιοκλιματικά κριτήρια].

Πίνακας 1: Γεωστροφικό ύψος και τραχύτητα του εδάφους για 3 είδη περιοχών [Πηγή: κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε). Σχεδιασμός υπαίθριων αστικών χώρων με βιοκλιματικά κριτήρια].

Είδος περιοχής	Ύψος (m)	α
Επίπεδος ανοιχτός χώρος	275	0.16
Ημιαστική ή δασώδης περιοχή	400	0.28
Πυκνοδομημένη αστική περιοχή	500	0.4

1.4 Οι επιφάνειες και τα δομικά υλικά

1.4.1 Γενικά

Τα υλικά του αστικού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων και των υλικών των κτιρίων, των συστημάτων σκίασης και της βλάστησης, παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του μικροκλίματος και των συνθηκών θερμικής άνεσης. Οι επιφανειακές θερμοκρασίες των υλικών επηρεάζουν τη θερμική ισορροπία μέσω της ακτινοβολούμενης θερμότητας, η οποία κυριαρχεί σε ένα περιβάλλον όχι καλά αεριζόμενο, κάτι που αποτελεί συχνό φαινόμενο στους αστικούς χώρους στο επίπεδο των πεζών[2].

Σε επίπεδο σχεδιασμού, είναι χρήσιμο να υπάρχουν απλές οδηγίες και πίνακες οι οποίοι θα βοηθούν το μελετητή στις επιλογές του σχετικά με θέματα ακτινοβολίας, με σκοπό τη δημιουργία θερμικά άνετων αστικών χώρων. Τέτοια εργαλεία θα βοηθούν στην αξιολόγηση των συνθηκών θερμικής άνεσης της εκάστοτε σχεδιαστικής λύσης, δίνοντας μία διακύμανση της M.R.T. ως συνάρτηση της χρήσης διαφόρων υλικών. Επίσης, θα βοηθούν στη χωροθέτηση των δραστηριοτήτων και του εξοπλισμού των αστικών χώρων, ανάλογα με τις συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν σε αυτούς. Για παράδειγμα, καθιστικές δραστηριότητες χαμηλού μεταβολισμού, όπως διάβασμα, έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από κινητικές δραστηριότητες, όπως περπάτημα και τρέξιμο.

1.4.2 Φυσικές ιδιότητες επιφανειών και δομικών υλικών

Οι ιδιότητες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία των εξωτερικών επιφανειών και των δομικών στοιχείων μίας πόλης είναι[9] :

- Η ανακλαστικότητα (albedo), δηλαδή η απορροφητικότητα προς την ηλιακή ακτινοβολία.
- Ο συντελεστής θερμικής εκπομπής.
- Η θερμοχωρητικότητα.
- Η θερμική αντίσταση.

Οι πόλεις παρουσιάζουν μειωμένη ανακλαστικότητα (0.15 -0.30) στην ηλιακή ακτινοβολία λόγω των σκουρόχρωμων επιφανειών των κτιρίων και των δρόμων καθώς και αυξημένη θερμοχωρητικότητα. Για να αντιστρεφθεί το φαινόμενο αυτό και να επιτευχθεί αύξηση της ανακλαστικότητας, θα πρέπει να επιλέγονται υλικά με δείκτη ανακλαστικότητας $\Sigma \geq 0.50$, ανοιχτόχρωμης επίστρωσης, ειδικά σε περιοχές με υψηλές τιμές του λόγου ύψος/πλάτος, διότι πέρα από τη μειωμένη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, ευνοούν και το φυσικό φωτισμό.

Επίσης, πρέπει, να επιλέγονται υλικά μειωμένης απορροφητικότητας και με αυξημένο δείκτη υδατοπερατότητας για την επίστρωση των δρόμων και των

ελεύθερων επιφανειών όπως χώμα, γρασίδι, πλάκες σχιστόλιθου και κυβόλιθοι με τραχιά επιφάνεια σε βάση από χλοοτάπητα (Εικόνα 6)[9].



Εικόνα 6: Επίστρωση δρόμων και ελεύθερων επιφανειών με υλικά μειωμένης απορροφητικότητας και αυξημένης υδατοπερατότητας [Πηγή: Καψανάκη Ε. Η περίπτωση της περιοχής του Ψυρρή].

Τα υλικά των επιφανειών, πέραν του θερμικού περιβάλλοντος, αποτελούν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει και το οπτικό περιβάλλον. Ανοιχτά χρώματα και ανακλαστικές επιφάνειες τείνουν να αποτρέπουν την υπερθέρμανση, αλλά είναι πιθανό να δημιουργήσουν θάμβωση και ανάκλαση της ακτινοβολίας προς τους χρήστες του χώρου και τις επιφάνειες των κτιρίων[2]. Η επικάλυψη των επιφανειών με βλάστηση αποτελεί τη βέλτιστη λύση αφού, όχι μόνο εμποδίζει τις ανακλάσεις, αλλά συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Επιπλέον, οι επιφάνειες των κτιρίων μπορούν, κατά περίπτωση, να βάφονται με χρώματα ανοιχτά ώστε να μην υπερθερμαίνονται.

Τέλος, η ύπαρξη του υδάτινου στοιχείου μέσα στον αστικό ιστό είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το νερό διαθέτει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα σε σχέση με άλλα, δομικά στοιχεία του αστικού χώρου και λειτουργεί σαν σταθεροποιητικός παράγοντας για το θερμικό περιβάλλον μιας πόλης[4]. Μέσω της φυσικής διαδικασίας της εξάτμισης, υδάτινες επιφάνειες, όπως αυτές σε λεπτά στρώματα τρεχούμενου νερού, καταρράκτες, λίμνες ή σιντριβάνια (Εικόνα 7), μπορούν να συνεισφέρουν στο δροσισμό του αέρα, ειδικά αν συνδυαστούν με τεχνικές αερισμού. Υπενθυμίζεται, ακόμη, ότι ο ήχος του τρεχούμενου νερού σε δημόσιους ανοιχτούς χώρους, όπως πλατείες, καλύπτει τοπικά το θόρυβο που δημιουργούν οι διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, δημιουργώντας ελκυστικές συνθήκες για τους χρήστες.



Εικόνα 7: Στοιχείο νερού στον αστικό ιστό [Πηγή : Προσωπικό αρχείο]

2 Τεχνικές βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος

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 ίδιας της πόλης. Οι τεχνικές αυτές αφορούν:

- Χρήση ψυχρών υλικών.
- Αύξηση του αστικού πρασίνου.
- Μείωση της ανθρωπογενούς θερμότητας.
- Χρήση ψυχρών πηγών για την απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας.
- Κατάλληλη διάταξη και χρήση των ελεύθερων χώρων με χρήση σκίασης, αερισμού κλπ.

2.1 Ψυχρά Υλικά

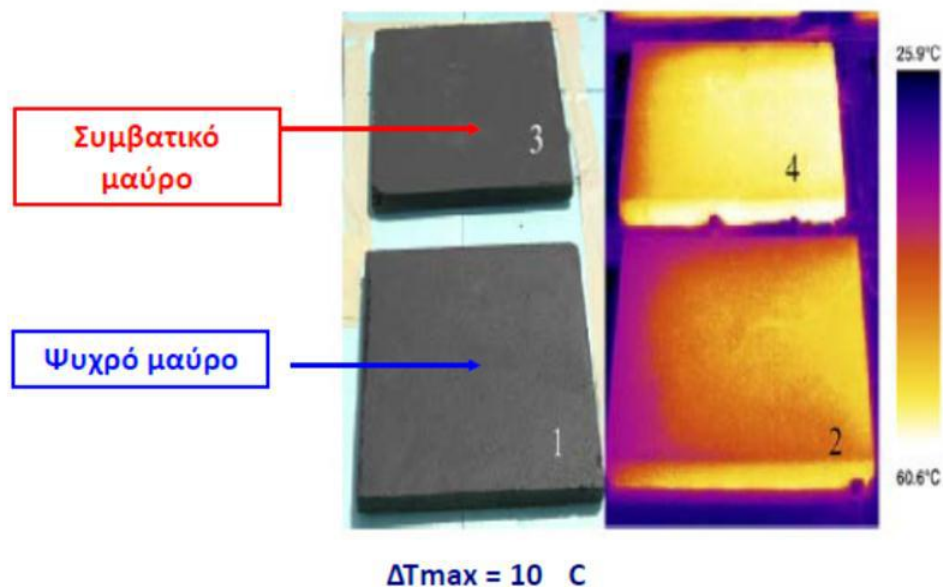
Η ποιότητα τόσο του θερμικού όσο και του οπτικού περιβάλλοντος είναι συνδεδεμένη με το είδος των υλικών επίστρωσης των επιφανειών του υπαίθριου χώρου. Υλικά με ανοιχτά χρώματα, καθώς και ανακλαστικές επιφάνειες επίστρωσης αποτρέπουν την υπερθέρμανση κατά τη θερινή περίοδο σε αντίθεση με τα σκουρόχρωμα υλικά, τα οποία όταν εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία υπερθερμαίνονται. Βέβαια τα ανοιχτόχρωμα υλικά προκαλούν θάμβωση και ανακλούν τη θερμότητα προς τους χρήστες του χώρου και τις επιφάνειες των γύρω κτιρίων. Για τους λόγους αυτούς η χρήση ψυχρών υλικών αποτελεί μια τεχνική βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος, καθώς τα υλικά αυτά δεν απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ επιπλέον δεν αποθηκεύουν στη μάζα τους μεγάλα ποσά θερμότητας.

Τα ψυχρά υλικά διακρίνονται συγκεκριμένα για την υψηλή τους ανακλαστικότητα και τον υψηλό συντελεστή εκπομπής της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι ιδιότητές τους γίνονται διακριτές μέσω της χρήσης τους σε επιφάνειες του περιβάλλοντα χώρου, η οποία συνεισφέρει στη μείωση των αυξημένων θερμοκρασιών που παρατηρούνται στο δομημένο περιβάλλον και δεν προκαλούν προβλήματα θάμβωσης.

Ως ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας ορίζεται η ικανότητα μιας επιφάνειας να εκτρέπει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η οποία περιλαμβάνει την υπέρυθρη, την υπεριώδη και την ακτινοβολία στο ορατό φάσμα. Ο συντελεστής εκπομπής είναι η παράμετρος με την οποία προσδιορίζεται η ικανότητα ενός υλικού να αποβάλλει ποσά θερμότητας υπό μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Τα χαρακτηριστικά αυτά των ψυχρών υλικών που προαναφέρθηκαν εκφράζονται σε τιμές με εύρος από 0 έως 1 ή από 0% έως 100% σε μορφή ποσοστού. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή τους, τόσο πιο ψυχρότερη είναι η επιφάνεια και κατ'επέκταση τόσο μικρότερη είναι η επιφανειακή θερμοκρασία που αναπτύσσεται σ'

αυτήν. 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. Η διαφορά αυτή γίνεται εύκολα αντιληπτή στην εικόνα 8. Η τιμή της ανακλαστικότητας και του συντελεστή εκπομπής των υλικών εξαρτάται από την απόχρωση των υλικών, καθώς όσο πιο ανοιχτή είναι η απόχρωση τους τόσο μεγαλύτερη είναι η ανακλαστικότητα τους.



Εικόνα 8: Επιφανειακή θερμοκρασία συμβατικών και ψυχρών υλικών

Οι τιμές των συντελεστών που χαρακτηρίζουν ένα ψυχρό υλικό παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2 που ακολουθεί.

Πίνακας 2: Τιμές προσδιορισμού των ψυχρών υλικών

Ορολογία	Σύμβολο	Όριο χαρακτηρισμού
Ανακλαστικότητα	SR	≥ 0.65
Συντελεστής εκπομπής	ε	≥ 0.80

Μειονέκτημα των ψυχρών υλικών αποτελεί η μείωση της ανακλαστικότητας τους με την πάροδο του χρόνου λόγω της γήρανσης του υλικού ή λόγω επικάλυψης σκόνης στην ψυχρή επιφάνεια. Η μείωση αυτή ανάλογα με τη φύση του υλικού, τη χρήση και τη συντήρηση του κυμαίνεται από 0% έως 30%. Ένα παράδειγμα γήρανσης ψυχρού υλικού απεικονίζεται στην εικόνα 9, όπου εύκολα διακρίνεται η διαφορά στο χρωματισμό μετά από 2,5 μήνες έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία[16].



Εικόνα 9: Γήρανση ψυχρού υλικού

2.1.1 Προδιαγραφές τοποθέτησης σκληρών υλικών επίστρωσης σε περιοχές με ανεπαρκή θερινή σκίαση

Σε περιοχές με ανεπαρκή θερινή σκίαση, τα σκληρά υλικά επίστρωσης συνίσταται να έχουν τις ακόλουθες προδιαγραφές[16]:

- Αρχική τιμή ανακλαστικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία μεγαλύτερη ή ίση με την τιμή 0.65 .
- Συντελεστή εκπομπής της υπέρυθρης ακτινοβολίας μεγαλύτερο ή ίσο με 0.8 .
- Διατήρηση της τιμής της ανακλαστικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία, τρία έτη μετά την εγκατάσταση και υπό κανονικές συνθήκες ίση με 0.5 .

2.1.2 Προδιαγραφές τοποθέτησης σκληρών υλικών επίστρωσης σε καλά σκιασμένες περιοχές

Τα υλικά επίστρωσης που τοποθετούνται σε καλά σκιασμένες περιοχές, δε χρειάζεται να παρουσιάζουν τις ίδιες ιδιότητες με τα εκτιθέμενα στην ηλιακή ακτινοβολία υλικά και συνίσταται να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [17]:

- Αρχική τιμή ανακλαστικότητας μεγαλύτερη ή ίση με την τιμή 0.2 .
- Συντελεστή εκπομπής της υπέρυθρης ακτινοβολίας μεγαλύτερο ή ίσο με 0.8 .

2.1.3 Είδη ψυχρών υλικών

Τα ψυχρά υλικά είναι υπεύθυνα για τη μείωση της απορρόφησης της εισερχόμενης ακτινοβολίας αλλά και για τη μείωση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς έχει εκτιμηθεί πως η αύξηση της ανακλαστικότητας στις πόλεις παγκοσμίως, θα μπορούσε να επιτύχει μείωση του διοξειδίου του άνθρακα κατά 20Gt.

Τα ψυχρά υλικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, οι οποίες περιγράφονται ακολούθως:

- Υλικά για το κέλυφος του κτιρίου, όπως είναι οι επικαλύψεις, οι μεμβράνες, οι πλάκες, τα κεραμίδια κλπ.
- Υλικά για το αστικό περιβάλλον, όπως είναι η ασφαλτος, το τσιμέντο, το μάρμαρο κλπ.

Υλικά που προσδίδουν αυξημένη ανακλαστικότητα, με τη μορφή χρωστικών προσθέτων μπορούν να ενσωματωθούν σε πολλών ειδών τεχνητά προϊόντα επιστρώσεων και επενδύσεων.

Τα υλικά των επιστρώσεων μπορούν να είναι:

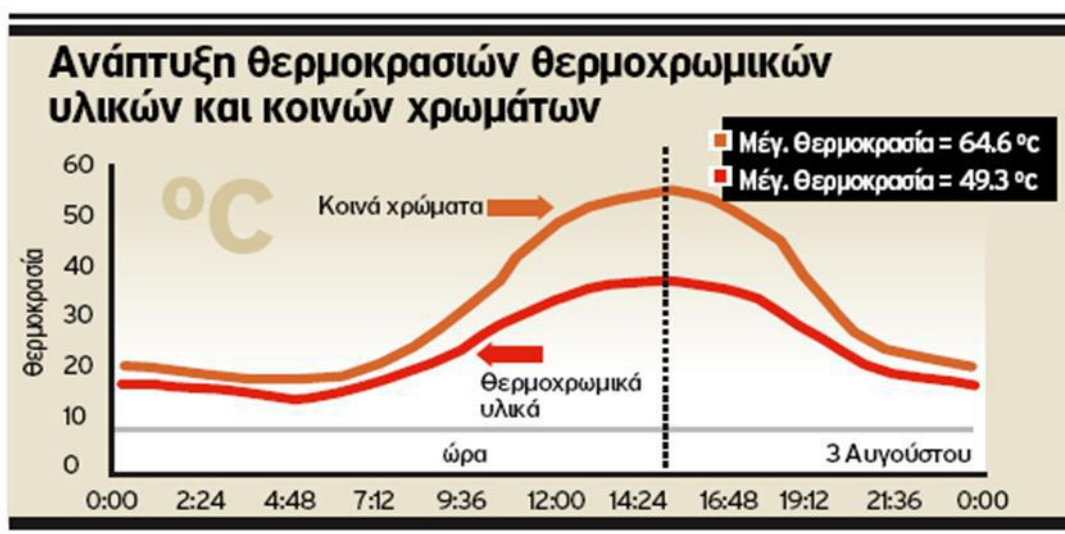
- Πλάκες πεζοδρομίου από σκυρόδεμα, διαφόρων διαστάσεων, επίπεδες, ανάγλυφες ή με αυλακωτή επιφάνεια .
- Κυβόλιθοι από σκυρόδεμα σε διάφορα σχήματα (ορθογώνιοι, καμπυλοειδείς).
- Κεραμικά πλακίδια .
- Σκυρόδεμα .

Αυξάνοντας την τιμή του συντελεστή ανακλαστικότητας των υλικών επίστρωσης, επιτυγχάνεται μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας καθώς και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Συγκριτικές μετρήσεις της θερμικής συμπεριφοράς των ψυχρών υλικών έχουν δείξει ότι παρουσιάζουν επιφανειακή θερμοκρασία μέχρι και 12°C χαμηλότερη από τα κοινά υλικά. Ακόμα, αποδείχθηκε πως η ατμοσφαιρική θερμοκρασία μειώνεται κατά 0.5 – 1.5°C, αυξάνοντας την ανακλαστικότητα της επιφάνειας κατά 40% τη θερινή περίοδο, ενώ αύξηση του συντελεστή κατά 65% μειώνει τη θερμοκρασία κατά 1 – 2°C[17].

2.1.4 Θερμοχρωμικά Υλικά

Τα θερμοχρωμικά υλικά έχουν την ικανότητα να αλλάζουν χρώμα ανάλογα με τη θερμοκρασία. Για αυτό το λόγο, το καλοκαίρι έχουν λευκή απόχρωση με μεγάλο συντελεστή ανακλαστικότητας, ενώ το χειμώνα είναι έγχρωμα και παρουσιάζουν μεγάλη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται η διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια

θερμοχρωμικών υλικών κατά τη διάρκεια μιας ημέρας του καλοκαιριού και η αντίστοιχη διακύμανση των κοινών υλικών[16].



Εικόνα 10: Διακύμανση επιφανειακής θερμοκρασίας θερμοχρωμικών υλικών μια καλοκαιρινή ημέρα.

2.1.5 Φωτοκαταλυτικά Υλικά

Τα φωτοκαταλυτικά υλικά βασίζονται στην ενσωμάτωση τιτανίας (TiO_2) υπό μορφή νανοσωματιδίων στα χυτά υλικά εδαφοκάλυψης. Η τιτανία δρα ως καταλύτης υπό συνθήκες φωτισμού, επιταχύνοντας τη δημιουργία ισχυρών οξειδωτικών μέσων, ικανών να καταστρέψουν ρύπους ή μικροοργανισμούς. Τοποθετώντας επομένως φωτοκαταλυτικές επιφάνειες επιτυγχάνεται μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων στους εξωτερικούς χώρους[16].

Τα ψυχρά φωτοκαταλυτικά υλικά που απαντώνται στην κάλυψη των εξωτερικών χώρων μπορεί να είναι:

- Πλάκες πεζοδρομίου από σκυρόδεμα με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες.
- Κυβόλιθοι από σκυρόδεμα με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες.
- Κεραμικά πλακίδια με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες.
- Τσιμεντοειδές κονίαμα επιστρώσεων επιφανειών ασφαλτικού σκυροδέματος.

2.1.6 Χρησιμοποιούμενα υλικά σε υπαίθριους χώρους

Το θερμικό περιβάλλον σε ένα υπαίθριο χώρο εξαρτάται σημαντικά από τα υλικά επίστρωσης των επιφανειών, σύμφωνα με τα παραπάνω. Γενικά αναφέρθηκε ότι υλικά με ανοιχτά χρώματα ή 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.

Η επικάλυψη των επιφανειών του υπαίθριου χώρου με βλάστηση παρεμποδίζει τις ανακλάσεις, ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής του φυλλώματος. 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 (Alexandri, 2001 και Χατζηδημητρίου et al, 2008) ενώ για γρασίδι και πλάκες πεζοδρομίου έως και 27,6°C.

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. Επιφάνειες νερού, όπως λεπτά στρώματα τρεχούμενου νερού, καταρράκτες, λίμνες ή σιντριβάνια, συνεισφέρουν επίσης στην μείωση της θερμοκρασίας του αέρα και κατά συνέπεια στο δροσισμό του χώρου. Στον πίνακα 3 φαίνονται κάποια υλικά που χρησιμοποιούνται για κάλυψη επιφανειών και οι τιμές ανακλαστικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία[15].

Πίνακας 3: Ιδιότητες υλικών που χρησιμοποιούνται για κάλυψη επιφανειών. Οι τιμές προέρχονται από εταιρία εμπορίου.

ΥΛΙΚΟ/ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ		ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
Σκυρόδεμα		0,10-0,35
Τούβλο, Πέτρα		0,20-0,40
Λευκό Μάρμαρο		0,55
Ασφαλτόπανα		0,07
Άσφαλτος		0,10-0,15
Πίσσα & Χαλίκια (τελική επιφάνεια)		0,08-0,18
Κυματοειδής Λαμαρίνα		0,10-0,16
Γρασίδι		0,30
Ξύλο		0,10
Ανοιχτόχρωμη Άμμος		0,4-0,6
Λευκό Χρώμα		0,5-0,8
Καφέ Χρώμα		0,20-0,35
Μαύρο Χρώμα		0,02-0,15

Επίσης, αντί για επίστρωση με ενιαίες επιφάνειες, καλό είναι να προτιμούνται πλάκες που επιτρέπουν τη διείσδυση του νερού και την ανάπτυξη βλάστησης στους αρμούς ή τουλάχιστον να χρησιμοποιείται υδατοπερατή στρώση αδρανών. 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 (κατά προτίμηση φυσικής προέλευσης) ή κεραμικών δαπέδων τύπου «κουρασάνι», εκτός από αυξημένη ανακλαστικότητα σε σχέση με τις ασφαλικές επικαλύψεις έχουν επίσης και αυξημένη υδατοπερατότητα, μειώνοντας την αστική θερμοκρασία όπου εφαρμόζονται (πεζόδρομοι, ποδηλατόδρομοι, αθλητικές εγκαταστάσεις, κηπευτικές επιφάνειες κοκ).

Σε μονοπάτια, θέσεις στάθμευσης κ.ο.κ. καλό είναι να τοποθετούνται διάτρητα υλικά (διάτρητες τσιμεντόπλακες, κυβόλιθοι με οπές κοκ). Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης της τοπικής χαμηλής χλωρίδας στο χώμα μεταξύ των οπών καθώς και η απορρόφηση του νερού.

2.2 Χρήση πρασίνου

Σύμφωνα με αρκετές μελέτες, η βλάστηση κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να μειώσει τη ζήτηση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη πάνω από 18%. Αξίζει να σημειωθεί πως, αυξάνοντας την βλάστηση μιας περιοχής κατά 30% και τη λευκαύγεια των κτιρίων κατά 20%, επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση κατά 10 – 20% και για ψύξη 30 – 100%.

Τα δέντρα και γενικότερα το πράσινο όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι ο καλύτερος τρόπος για τη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος. Αυτό οφείλεται στις χαρακτηρίστηκες λειτουργίες του. Το φύλλωμα δεν παρέχει μόνο σκίαση στον χώρο, αλλά μειώνει την ταχύτητα του ανέμου όπως μελετήθηκε στην παραπάνω ενότητα, καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία, απορροφά τον ήχο και τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Τα δέντρα μέσω του μηχανισμού της εξατμισοδιαπνοής αποβάλλουν από τα φύλλα νερό στο περιβάλλον, με τη μορφή υδρατμών, με στόχο την αύξηση της σχετικής υγρασίας κάτω από το φύλλωμά τους. Η λανθάνουσα θερμότητα της εξατμισοδιαπνοής είναι πολύ μεγάλη (περίπου $2.324 \frac{kJ}{kg}$ νερού). Η θερμότητα αυτή αντλείται από τον αέρα του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας 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 παράγει μέχρι και 100 γαλόνια του νερού ημερησίως μειώνοντας με αυτό το τρόπο την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Τα φύλλα των δέντρων απορροφούν το 80% της εισερχόμενης ορατής ακτινοβολίας, αντανακλώντας συγχρόνως το 10% και εκπέμποντας το υπόλοιπο 10%. Περίπου το 20% της υπέρυθρης ακτινοβολίας απορροφάτε, ενώ το 50% αντανακλάται και το 30% εκπέμπεται. Συνολικά, το ποσοστό για την ορατή και την υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάτε είναι περίπου 50%, το ποσοστό που αντανακλάται 30% και μόνο το 20% εκπέμπεται. Συνεπώς όλα τα δέντρα μπορούν να φιλτράρουν περίπου το 80-90% της ακτινοβολίας, ανάλογα με το είδος και την πυκνότητα των φύλλων.

Τα δέντρα έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν το μικροκλίμα στην περιοχή που βρίσκονται αλλά παράλληλα, βοηθούν στην άμεση εισαγωγή του νερού στο έδαφος διότι το νερό από τις κατακρημνίσεις, οδηγείται από τα κλαδιά στον κορμό κ στην συνέχεια απευθείας στο έδαφος καθώς και το ριζικό τους σύστημα συμβάλει σημαντικά στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση.

2.2.1 Φυτεύσεις

Η επιλογή των φυτών είναι καθοριστικής σημασίας για το μικροκλίμα των υπαίθριων αστικών χώρων, είτε πρόκειται για χαμηλή φύτευση, γρασίδι, αναρριχητικά φυτά είτε για δέντρα και άλση, οφείλεται κυρίως στην ηλιοπροστασία των επιφανειών από τα φυλλώματα και τη μείωση θερμοκρασιών αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής, δηλαδή με την εξάτμιση υγρασίας μέσω της διαπνοής. Στην περίπτωση δέντρων και υψηλής φύτευσης, η επίδρασή τους περιλαμβάνει προστασία από τον άνεμο και μείωση του συντελεστή θέρμανσης του ουρανού που εμποδίζει την αποβολή θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τα φυτά στο αστικό περιβάλλον λειτουργούν επίσης ως φίλτρα των ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι φυτεύσεις δρουν καταλυτικά στην μείωση της αστικής

θερμικής νησίδας, καθώς και στον περιορισμό των απαιτήσεων των κτιρίων σε ενέργεια για δροσισμό το καλοκαίρι, τονίζουν την επίδραση των φυτεύσεων στην αισθητική βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος και σταθεροποιούν το έδαφος με τις ρίζες τους.

Οι φυτεύσεις στο αστικό περιβάλλον διακρίνονται ως προς το ύψος τους σε χαμηλή, μέση και υψηλή φύτευση (γρασίδι, θάμνοι, δέντρα), την πυκνότητα του φυλλώματος, την εποχιακή τους συμπεριφορά (αιθαλή και φυλλοβόλα φυτά), τη θέση τους (στο έδαφος, σε στέγες και δώματα κτιρίων, σε τοίχους και κατακόρυφες επιφάνειες, σε στέγαστρα), και την ποσότητά τους (μεμονωμένα δέντρα, παρτέρια, κήποι, δεντροστοιχίες, συστάδες δέντρων, πάρκα, αλσύλλια, αστικά δάση).

Με τις κατάλληλες σχεδιαστικές τεχνικές, επιτυγχάνεται η προστασία των υπαίθριων χώρων και των κτιρίων από τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα. Σε αυτή την περίπτωση επιλέγονται δέντρα ή φυτά αιθαλή. Αντίθετα, για τη διευκόλυνση του ηλιασμού των υπαίθριων χώρων το χειμώνα, είναι προτιμότερο να επιλέγονται δέντρα και φυτά φυλλοβόλα, ώστε όταν αυτά θα ρίχνουν τα φύλλα τους, οι ακτίνες του ήλιου αποκτούν εύκολη πρόσβαση.

Το είδος του φυτού (θάμνοι, δένδρα, αναρριχόμενα, κλπ), το μέγεθος και το σχήμα του φυτού, όταν αυτό είναι πλήρως αναπτυγμένο, η αναλογία μεταξύ κορμού και κόμης, η πυκνότητα του φυλλώματος, η ταχύτητα της ανάπτυξης, η δυνατότητα διατήρησης ή όχι του φυλλώματος όλες τις εποχές (αιθαλή, φυλλοβόλα), ο χρόνος έναρξης ανάπτυξης του φυλλώματος, είναι μερικοί από τους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε σχέση και με τον κύριο σκοπό της φύτευσης, για την επιλογή των πλέον κατάλληλων φυτικών ειδών. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται και στην ποιότητα του εδάφους, ώστε να συνδυάζεται με τις απαιτήσεις για ανάπτυξη και διατήρηση των φυτών. Πάντως, τα τοπικά φυτικά είδη που ευδοκιμούν στην περιοχή πρέπει να είναι η βάση για την οποιαδήποτε επιλογή[16].

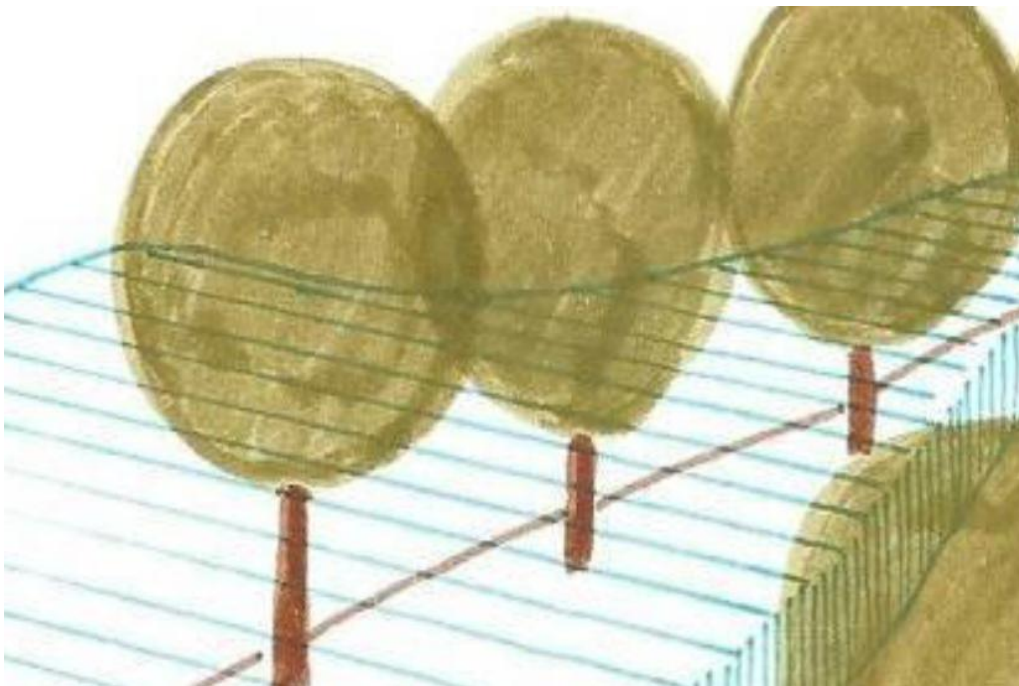
2.2.2 Επίδραση των φυτεύσεων στον άνεμο

Καθοριστικής σημασίας για τις συνθήκες σε ένα αστικό κέντρο όπως έχει προαναφερθεί είναι οι φυτεύσεις. Με τις κατάλληλες σχεδιαστικές τεχνικές, έχουν την δυνατότητα να τροποποιούν, να εμποδίζουν τον άνεμο και να ρυθμίζουν την ταχύτητα ή και την ένταση του ανέμου, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα επιπτώσεις στην θερμική άνεση καθώς και στα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων. Η πραγματοποίηση σχεδιασμού που θα είναι λειτουργικός όλη την διάρκεια του έτους είναι πολύπλοκο γεγονός, διότι συνδυάζεται η χειραγώγηση του ψυχρού ανέμου αλλά ταυτόχρονα διευκολύνεται η θερμική αύρα.

Τα δέντρα λοιπόν, όπως και οποιαδήποτε άλλα εμπόδια, μειώνουν την ταχύτητα του ανέμου με την αύξηση της αντίστασης στη ροή του. Ο τρόπος με τον οποίο θα τοποθετηθούν τα φυτά, είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες για το κατά πόσο θα επιτευχθεί η τροποποίηση της κίνησης του ανέμου. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν χωριστά κωνοφόρα, αειθαλή φυλλοβόλα δέντρα και θάμνοι, αλλά και συνδυασμός αυτών. Επειδή λοιπόν είναι εφικτό μέσω των φυτεύσεων να ελεγχθεί ο άνεμος, ελέγχονται επίσης οι θερμικές απώλειες, αφού μπορούν να εκτρέψουν η τα μειώσουν την ταχύτητα του ψυχρού ανέμου.

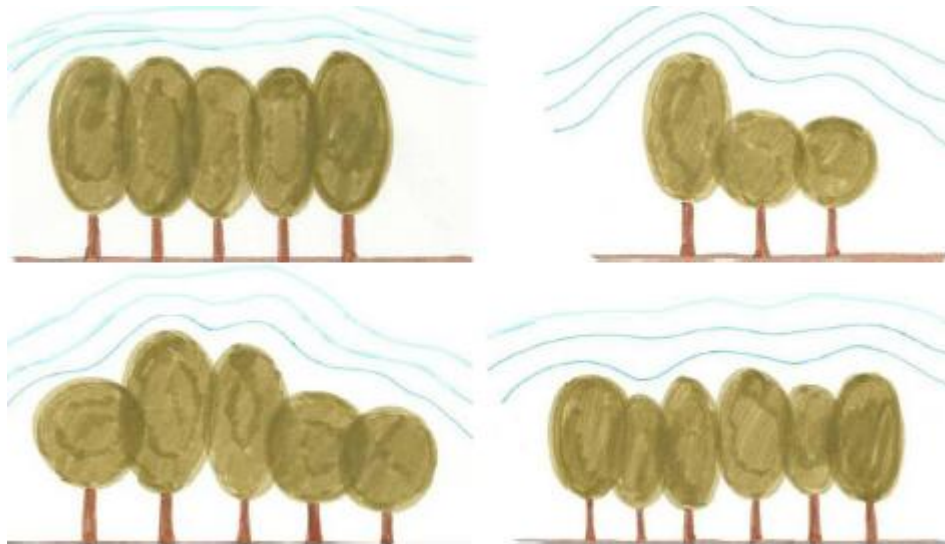
Ο συνηθέστερος τρόπος για μείωση θερμοκρασίας, είναι η διαφυγή τους από τους αρμούς και είναι υπεύθυνος για το 1/3 των συνολικών απωλειών των κτιρίων. Θερμικές απώλειες σημειώνονται όταν επικρατούν συνθήκες έντονου ανέμου, σε αυτή την περίπτωση το ποσοστό των απωλειών φτάνει το ποσοστό 50% επί των συνολικών απωλειών. Έστω και με μια μικρή μείωση λοιπόν της ταχύτητας του ανέμου που προσπίπτει στο κτίριο μπορεί να συμβάλει αισθητά στη μείωση των θερμικών απωλειών.

Όπως προαναφέρθηκε, με τον κατάλληλο σχεδιασμό και τοποθέτηση των δέντρων παρέχεται η δυνατότητα καθορισμού της κατεύθυνσης και της έντασης του ανέμου. Με συστάδες δέντρων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11, επιτυγχάνεται αυτή η ενέργεια. Η επιτυχία παρόλα αυτά του αποτελέσματος, βασίζεται στην γνώση της κατεύθυνσης και της έντασης των τοπικών ανέμων στη διάρκεια του έτους[16].



Εικόνα 11. Κατεύθυνση του αέρα προς το κτίριο μέσω συστάδων από φυλλοβόλα δέντρα.

Εκτός όμως από το σχεδιαστικό κομμάτι, η αποτελεσματικότητα της φύτευσης εξαρτάται και από άλλα χαρακτηριστικά των φυτών, όπως είναι σχήμα, η πυκνότητα, η δομή, το ύψος καθώς και από την απόσταση της φύτευσης από το κτίριο ή από τον προς χρήση υπαίθριο χώρο. Η επιθυμητή πυκνότητα φύλλων και κλαδιών είναι γύρω στα 50% - 60% στο σύνολο της συστάδας των φυτών. Τα δέντρα όταν θα χρησιμοποιηθούν σαν ανεμοφράχτες σε συνδυασμό με άλλα δέντρα ή θάμνους, μειώνουν την ταχύτητα αέρα και παράγουν μια προφυλαγμένη υπήνεμη περιοχή, στην πίσω πλευρά του φράκτη. Το μέγεθος της υπήνεμης περιοχής εξαρτάται από το μέγεθος του φράκτη αλλά και από τη σύνθεση των ειδών που περιέχει. Όταν υπάρχει επιμήκης δασική συστάδα δένδρων, δημιουργείται μικρή προστατευμένη περιοχή, μια μικρή συστάδα δένδρων προστατεύει μια μεγαλύτερη περιοχή ενώ μια συστάδα με κεκλιμένη κώμη είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη συστάδα δένδρων με επίπεδη κώμη όπως φαίνεται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12: Πάνω αριστερά επιμήκης δασική συστάδα δένδρων, πάνω δεξιά μια μικρή συστάδα δένδρων, κάτω αριστερά συστάδα με κεκλιμένη κώμη, κάτω δεξιά συστάδα δένδρων με επίπεδη κώμη

Τα φυτά τα οποία χρησιμοποιούνται συνηθέστερα και είναι κατάλληλα για ανεμοφράχτες, είναι το κυπαρίσσι (*Cypressus sempervirens*), τα διάφορα είδη λεύκης (*Populus* sp.), η οξιά (*Fagus sylvatica*), η πεύκη (*Pinus nigra*), το πλατανοειδές σφενδάμι (*Acer platanoides*), η φλαμουριά (*Tilia platyphyllos*), ο γιουνίπερος (*Juniperus* sp.), η κρτανιά (*Cornus mas*), το λιγούστρο (*Ligustrum japonicum*), η τούγια (*Thuja* sp.)

Από μελέτες που έγιναν από τους Brown, (1995), Lechner, (1991), Boutet, (1987), Givoni, (1994) έχουν προκύψει τα παρακάτω αποτελέσματα[16]:

- 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 κώμη βελτιώνουν τον αερισμό κοντά στο έδαφος, κάτω από το φύλλωμα.
- Οι φράχτες από πυκνά δέντρα ανακόπτουν τον άνεμο και μειώνουν την ταχύτητα.
- Για τη βέλτιστη δημιουργία υπήνεμης περιοχής, πρέπει το μήκος του ανεμοφράκτη να είναι τουλάχιστον 10 φορές το ύψος του.
- 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 φράχτες προκαλούν στροβιλισμούς, ενώ οι διάτρητοι αυξάνουν τη ζώνη ηρεμίας. Οι πορώδεις φράχτες (δέντρα και θάμνοι) δημιουργούν μια ευρύτερη ζώνη ηρεμίας και περιορίζουν τους στροβιλισμούς στο ελάχιστο, επειδή επιτρέπουν τη διέλευση ενός μέρους του αέρα εικόνα 13.
- Οι φράχτες 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 και συμβάλλει στον καλό αερισμό.
- Οι καλύτεροι ανεμοφράχτες από την άποψη του περιορισμού της ταχύτητας του ανέμου είναι στοιχεία των οποίων το πορώδες τμήμα κυμαίνεται από 25-60%.



Εικόνα 13 Οι συμπαγείς φράχτες δημιουργούν στροβιλισμούς, ενώ συνδυασμός δέντρων και θάμνων αυξάνει την ηρεμία.

2.2.3 Επίδραση των φυτεύσεων στην ηλιακή ακτινοβολία

Ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει, έστω και μεμονωμένα, το κλίμα, είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Όσο περισσότερη ακτινοβολία απορροφά μία επιφάνεια, τόσο περισσότερο θερμαίνεται ο αέρας που την περιβάλλει. Η βλάστηση, είτε ως επιφάνεια χλόης, είτε ως φύλλωμα δένδρου, αυξάνει σημαντικά την ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ενώ αντίθετα η άσφαλτος, το σκυρόδεμα ή άλλες σκουρόχρωμες επιφάνειες μειώνουν την ανάκλαση και αυξάνουν την απορρόφηση θερμότητας. Η βλάστηση, δηλαδή, αντανακλά περισσότερη ακτινοβολία από ότι οποιαδήποτε άλλο υλικό. Στα δάση για παράδειγμα η μείωση της θερμοκρασίας που προκαλείται από τις φυτεύσεις είναι πολύ μεγαλύτερη από οποιοσδήποτε άλλης περιοχής, αφού το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις κορυφές των δέντρων ανακλάται αφήνοντας μόνο ένα μικρό μέρος τους να περάσει στις κατώτερες περιοχές. Η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα πάνω από το φύλλωμα των δέντρων και κάτω από αυτό μπορεί να φτάσει 10-15°C [16].

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σημαντικά από το είδος, την μορφή καθώς και την πυκνότητα της κόμης η οποία είναι διαφορετική για κάθε είδος. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι κάθε φυτό έχει διαφορετική απόδοση όχι μόνο στην σκίαση αλλά και στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Σύμφωνα με τους Brown και Gillespie (1995), τα φύλλα απορροφούν το 80% της εισερχόμενης ορατής ακτινοβολίας, αντανακλώντας συγχρόνως το 10% και εκπέμποντας το υπόλοιπο 10%. Περίπου το 20% της υπέρυθρης ακτινοβολίας απορροφάτε, ενώ το 50% αντανακλάται και το 30% εκπέμπεται. Συνολικά, το ποσοστό για την ορατή και την υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται είναι περίπου 50%, το ποσοστό που αντανακλάται 30% και μόνο το 20% εκπέμπεται. Συνεπώς όλα τα δέντρα μπορούν να φιλτράρουν περίπου το 80-90% της ακτινοβολίας, ανάλογα με το είδος και την πυκνότητα των φύλλων.

Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης είναι με την μορφή ορατού φωτός καθώς και υπέρυθρων ακτινών σε αναλογία περίπου 50% – 50%. Από την συνολική ηλιακή ενέργεια που φτάνει στο έδαφος ένα μέρος απορροφάται, ένα άλλο αντανακλάται και το υπόλοιπο εκπέμπεται από αυτό. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται και αντανακλάται είναι που επηρεάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο και την θερμική άνεση[16].

Στους τρόπους επιρροής της ηλιακής ακτινοβολίας, συγκαταλέγεται η σκίαση. Κάθε φυτό παρέχει διαφορετική σκιά αφού έχει διαφορετικό μέγεθος, πυκνότητα φυλλώματος και είδος κόμης. Για παράδειγμα, είδη όπως το σφενδάμι (Acersp.), η βελανιδιά (Querquussp.) και η οξυά (Fagussp.), τα οποία διακρίνονται από πυκνή κόμη,

παρέχουν πυκνή σκιά. Αντίθετα, είδη όπως η ιτιά (*Salix* sp.) που έχουν αραιή κόμη, παρέχουν ελαφριά σκιά. Ο καλύτερος τρόπος και για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι με την χρήση φυλλοβόλων φυτών, εφόσον παρέχουν σκίαση με την συγκράτηση του φυλλώματος τους το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα με την πτώση των φύλλων η έλευση των ακτινών είναι έως το έδαφος και θερμαίνει ανθρώπους και κτίρια όπως φαίνεται και στην εικόνα 14.



Εικόνα 14: Φυλλοβόλο δέντρο το καλοκαίρι (αριστερά) και το χειμώνα (δεξιά).

Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί επιπλέον τρόποι ύπαρξης περισσότερου πρασίνου μέσα στον αστικό ιστό, όπως είναι τα φυτεμένα δώματα, η χρήση αναρριχώμενων φυτών καθώς και οι κάθετοι κήποι.

2.2.4 Επίδραση των φυτεύσεων στον ήχο

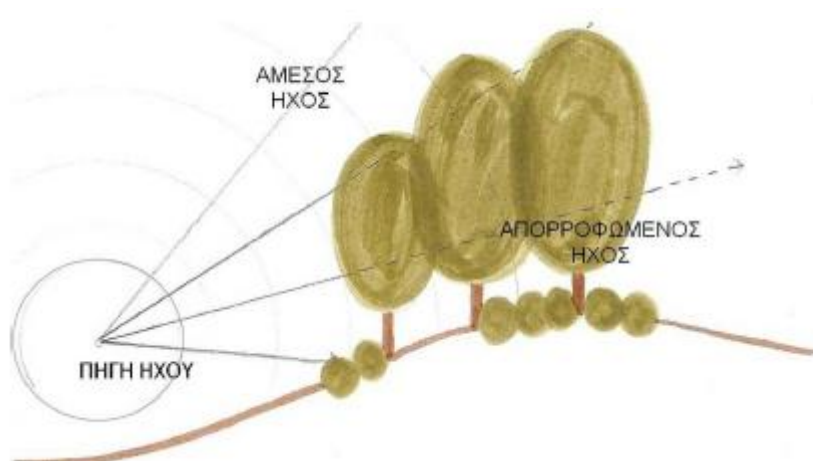
Πέραν των άλλων, τα φυτά έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν τον ήχο που θα περάσει από μια περιοχή σε μια άλλη, γεγονός το οποίο πραγματοποιείται με την απορρόφηση, την ανάκλαση καθώς και την διάχυση. Η ικανότητα αυτή μπορεί να καθοριστεί από την ένταση, τη συχνότητα και την κατεύθυνση του ήχου, όπως επίσης κι από τη θέση, το ύψος, το πλάτος και την πυκνότητα των φυτών.

Η βλάστηση σταματά ευκολότερα ήχους υψηλής συχνότητας. Η χρήση συστάδων φυτών, με ποικιλία φυτικών ειδών είναι αποτελεσματικότερες στη μείωση χαμηλών, μέσων και υψηλών συχνοτήτων λόγω της διαφορετικής ικανότητας των διαφόρων ειδών.

Τα φυτά που ενδείκνυται για την ηχοπροστασία, πρέπει να διαθέτουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Από τους σημαντικότερους παράγοντες είναι ότι το φύλλωμά τους να αρχίζει χαμηλά από τη βάση του κορμού και να είναι σχετικά πυκνό, πρέπει να έχουν πλάτος τουλάχιστον 7 μέτρα και αρκετό ύψος ώστε να περιορίζεται η διάδοση του ήχου πάνω από τις κορυφές τους. Ιδανικό θα ήταν επίσης οι φυτικοί φράχτες να εμποδίζουν την οπτική επαφή του ανθρώπου με την πηγή του θορύβου, με αυτό τον τρόπο μειώνονται περισσότερο οι ψυχολογικές επιπτώσεις του θορύβου αν και δεν μειώνουν ουσιαστικά την ένταση του ήχου.[16].

Φυτά με πυκνό φύλλωμα , κατάλληλα να λειτουργήσουν ως στοιχεία ηχοπτοστασίας είναι το κυπαρίσσι (*Cypressus sempervirens*), το ευώνυμο (*Euonymus japonicus*), το πυξάρι (*Buxus sempervirens*), το λιγούστρο (*Ligustrum japonicum*), η τούγια (*Thuja sp.*).

Στην Εικόνα 15 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η απορρόφηση του ήχου από τις φυτεύσεις.



Εικόνα 15: Απορρόφηση ήχου από τις φυτεύσεις.

2.2.5 Επίδραση των φυτεύσεων στα καιρικά φαινόμενα

Τα φυτά δεν αποτελούν φυσικά υδατοστεγή καταφύγια, αλλά παρέχουν έναν ορισμένο βαθμό προστασίας από τη βροχή. Μεγάλο μέρος της βροχόπτωσης συλλέγεται από το φύλλωμα των δέντρων πριν ακόμη το διαπεράσει.

Η επίδραση των φυτών στην ατμοσφαιρική υγρασία είναι σημαντική για τη μεταβολή του μικροκλίματος. Τα φυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού, οι οποίες προστίθενται στον αέρα με τη διαπνοή. Όσο πλουσιότερο φύλλωμα έχει ένα δέντρο, τόσο περισσότερο νερό προσδίδει στην ατμόσφαιρα. Ένα στρέμμα δάσους μπορεί να διαπνεύσει σε μία θερμή ημέρα περίπου 2.000 λίτρα νερού. Η διαδικασία εξάτμισης, κατά την οποία το νερό περνά στη θερμή ατμόσφαιρα ψύχοντας τη, καθώς και η σκιά των φυλλωμάτων, εξηγούν τη διαφορά των 10-15°C, που αναφέρθηκε προηγουμένως στη θερμοκρασία αέρα του δάσους. Δεν είναι λοιπόν υπερβολική η ονομασία των φυτών ως φυσικών μηχανημάτων κλιματισμού.

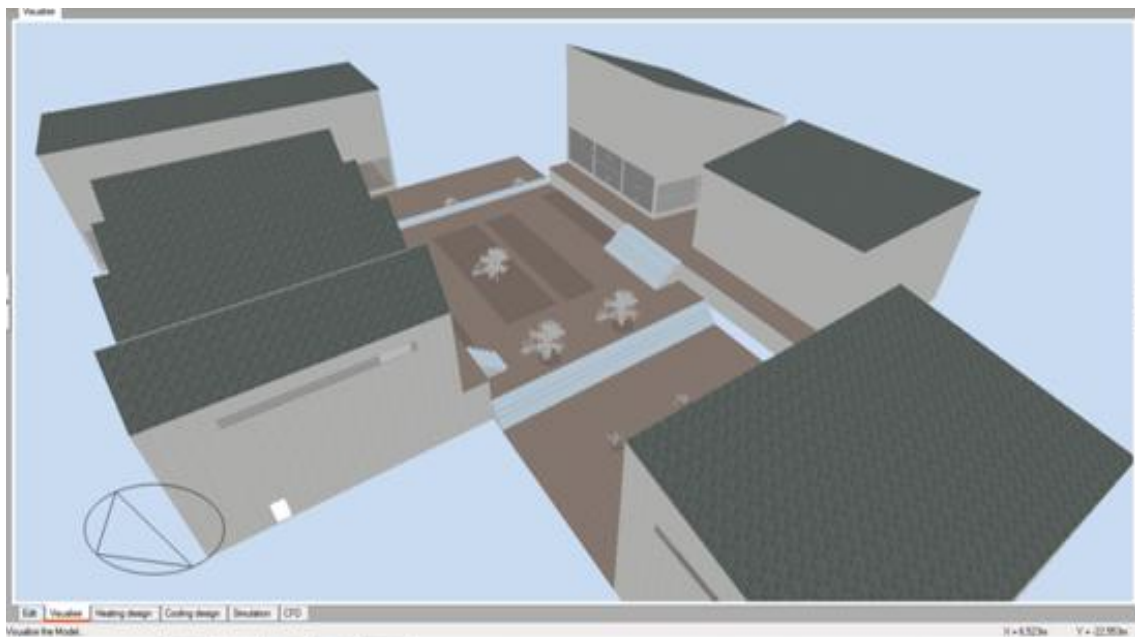
Τα φυτά μπορούν ακόμη να ελέγξουν την πτώση και το στροβιλισμό του χιονιού. Η συσσώρευση χιονιού σε εισόδους αυτοκινήτων ή πεζοδρόμια μπορεί να αποφευχθεί με την κατάλληλη τοποθέτηση φυτικών φρακτών. Η σκιά των φυτών επίσης, εμποδίζει το λιώσιμο του χιονιού, εκεί όπου αυτό είναι επιθυμητό. Γενικά, ο έλεγχος του χιονιού απαιτεί πολύ προσεκτικό χειρισμό των φυτών, γιατί είναι δυνατό με την απρόσεκτη τοποθέτησή τους να προκληθούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα[16].

3. Παρουσίαση των Λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν

3.1 DesignBuilder

Το DesignBuilder είναι ένα λογισμικό ανάλυσης του κτιριακού περιβάλλοντος το οποίο συνδυάζει την ευκολία στη χρήση και τη μοντελοποίηση με τα αξιόπιστα αποτελέσματα των πλέον προηγμένων εφαρμογών ενεργειακής ανάλυσης, όπως είναι το λογισμικό δυναμικής θερμικής προσομοίωσης EnergyPlus, το οποίο χρησιμοποιεί ως μηχανή. Επιπλέον, επιτρέπει τον υπολογισμό παραγόντων όπως τα επίπεδα άνεσης, τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, τις εκπομπές CO₂ και τα επίπεδα φωτισμού, ενώ διαθέτει επιπλέον εργαλείουπολογιστικής ρευστομηχανικής(CFD)[22].

Σχεδιασμένο για να διευκολύνει τις πολύπλοκες διαδικασίες υπολογισμού και προσομοίωσης, το DesignBuilder επιτρέπει το σχεδιασμό κτιρίων με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και υψηλότερα επίπεδα άνεσης, συμβάλλοντας στην πρακτική της βιώσιμης αρχιτεκτονικής [11].

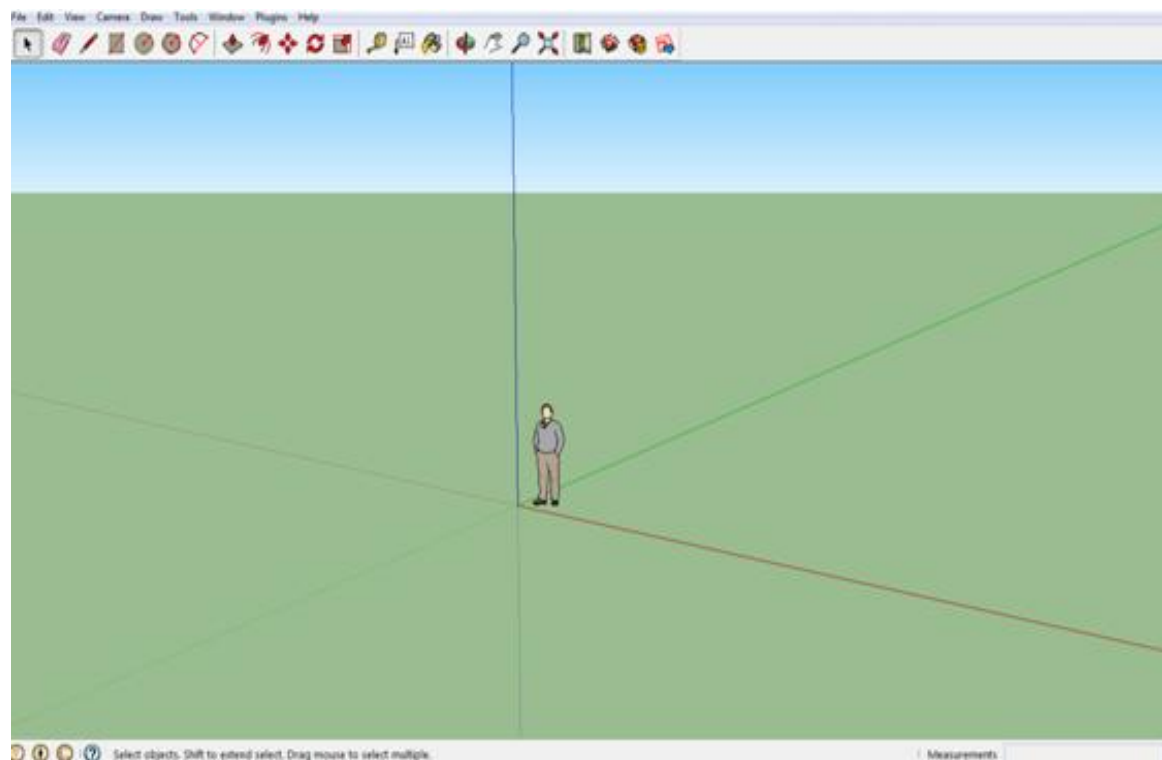


Εικόνα 16: Γραφική απεικόνιση του υπαίθριου χώρου που μελετήθηκε στο DesignBuilder

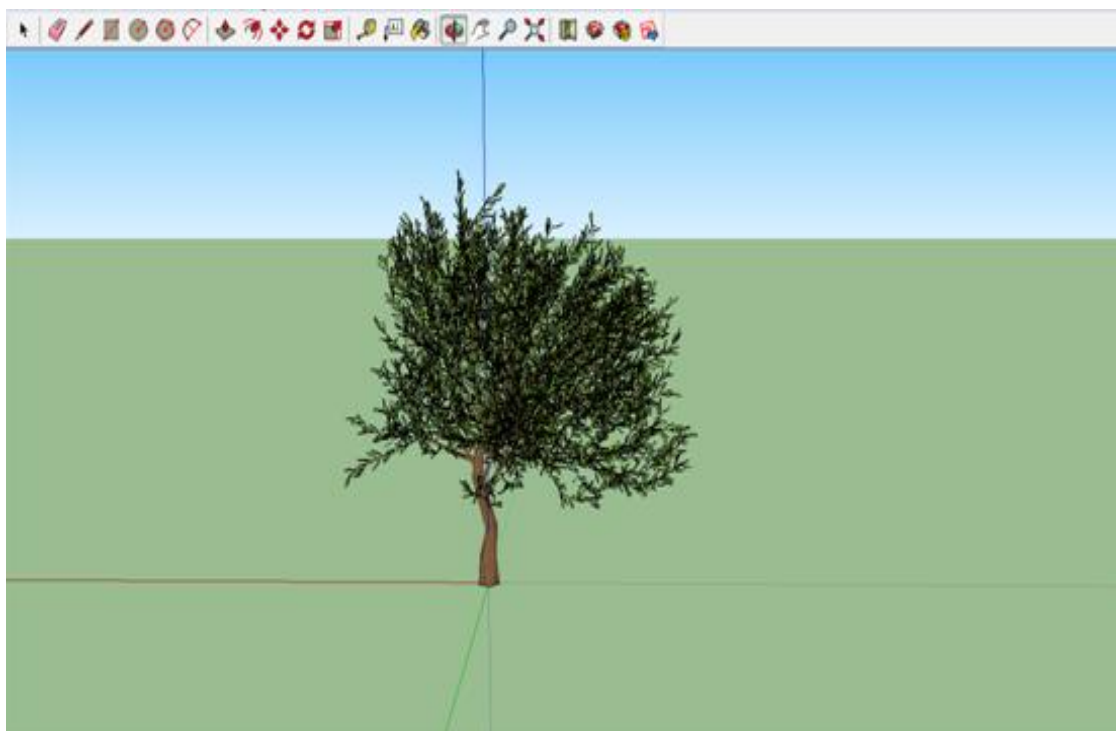
3.2 Sketchup

Το Google SketchUp είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης απεικόνισης σχεδιασμένο για αρχιτέκτονες, πολιτικούς μηχανικούς, σκηνοθέτες, σχεδιαστές παιχνιδιών και τα συναφή επαγγέλματα. Είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι ευκολότερο στη χρήση σε σχέση με τα άλλα προγράμματα τρισδιάστατης απεικόνισης. Αυτή τη στιγμή βρίσκεται στην έκδοση 7. Ένα χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι η πρόσθετη λειτουργία 3D Warehouse, η οποία επιτρέπει στους χρήστες του να βρίσκουν μοντέλα που τους ενδιαφέρουν και είναι δημιουργημένα από άλλους χρήστες. Μπορεί επίσης να συμβάλλει με μοντέλα που έχει δημιουργήσει ο ίδιος.

Με τη βοήθεια του Google SketchUp και της λειτουργίας 3D Warehouse βρέθηκαν ορισμένα μοντέλα τα οποία ενσωματώθηκαν στη συνέχεια στο εικονικό περιβάλλον που δημιουργήθηκε στην παρούσα εργασία.



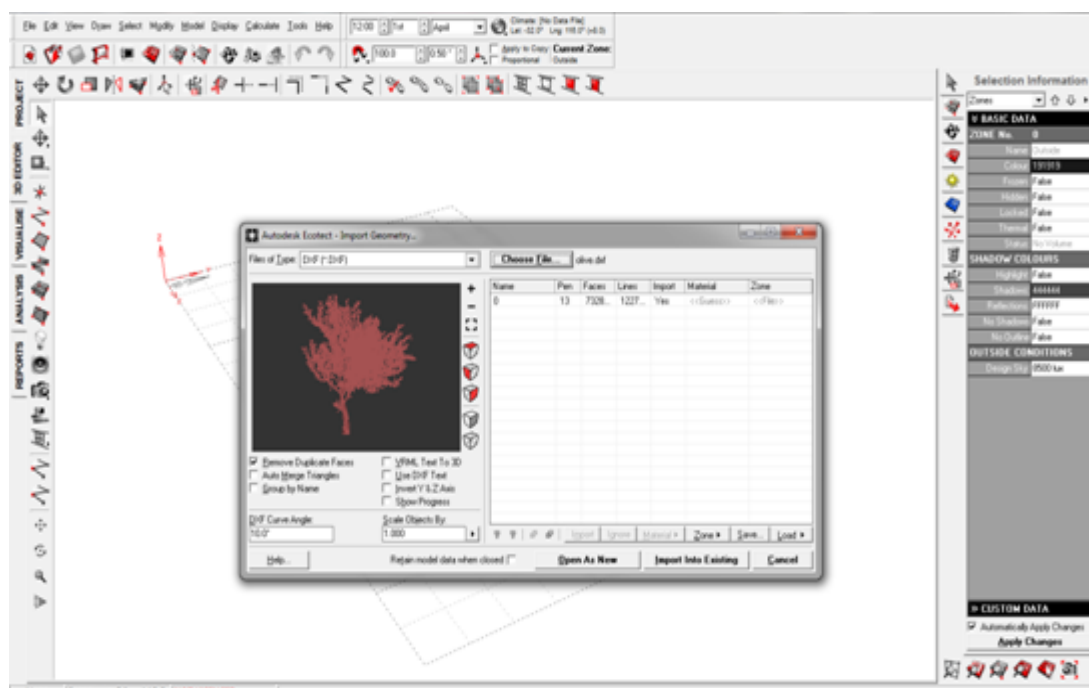
Εικόνα 17: Περιβάλλον εργασίας του Google SketchUp



Εικόνα 18: Μοντέλο που δημιουργήθηκε στο Google SketchUp

3.3 Ecotect Analysis

Το EcotectAnalysis παρέχει μια ευρεία ανάλυση και προσομοίωση στα κτιριακά μοντέλα. Προσφέρει ενεργειακή ανάλυση πόρων και εκπομπών ρύπων του κτιρίου, παράγοντας μια πλήρη περιβαλλοντική προσομοίωση με αναλυτικά αποτελέσματα. Έτσι ο μελετητής έχει την δυνατότητα να διερευνήσει εναλλακτικές σχεδιαστικές προτάσεις ακόμη από το αρχικό στάδιο της μελέτης και να παραδώσει ένα ενεργειακά αποδοτικό κτίριο. Χρησιμοποιώντας αμφίδρομη επικοινωνία μέσω της τεχνολογίας BIM (building information modeling) το EcotectAnalysis παρέχει λύσεις για μεταφορά δεδομένων έτσι ώστε να μειώνεται η ανάγκη για επανασχεδιασμό του έργου [12].



Εικόνα 19: Σχεδιαστικό περιβάλλον του EcotectAnalysis

4. Περιγραφή Μεθοδολογίας

4.1 Στάθμη περιεχομένου

Το DesignBuilder είναι ένα φιλικό προς το χρήστη λογισμικό, στο οποίο εισάγονται τα δεδομένα του κτιρίου ή ενός χώρου όπως κατασκευαστικά υλικά, υαλοπίνακες, στοιχεία για το σύστημα θέρμανσης/κλιματισμού, στοιχεία για το είδος της δραστηριότητας των εργαζομένων. Επίσης παρέχει στο χρήστη σχεδιαστικό περιβάλλον αλλά και επιλογές που αφορούν στη μοντελοποίηση του εκάστοτε περιβάλλοντος. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων γίνεται μέσω του EnergyPlus το οποίο είναι ένα λογισμικό θερμικής προσομοίωσης. Μερικές από τις βασικές λειτουργίες του είναι:

- Υπολογισμός της θερμοκρασίας και υγρασίας ανά ώρα, ανά μήνα.
- Υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίου.
- Υπολογισμός των εκπομπών CO₂.
- Υπολογισμός του επιπέδου θερμικής άνεσης ή δυσφορίας.
- Θερμική προσομοίωση κτιρίων με φυσικό εξαερισμό.
- Δυνατότητα χρήσης συστημάτων ελέγχου για το φωτισμό με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.
- Διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού.

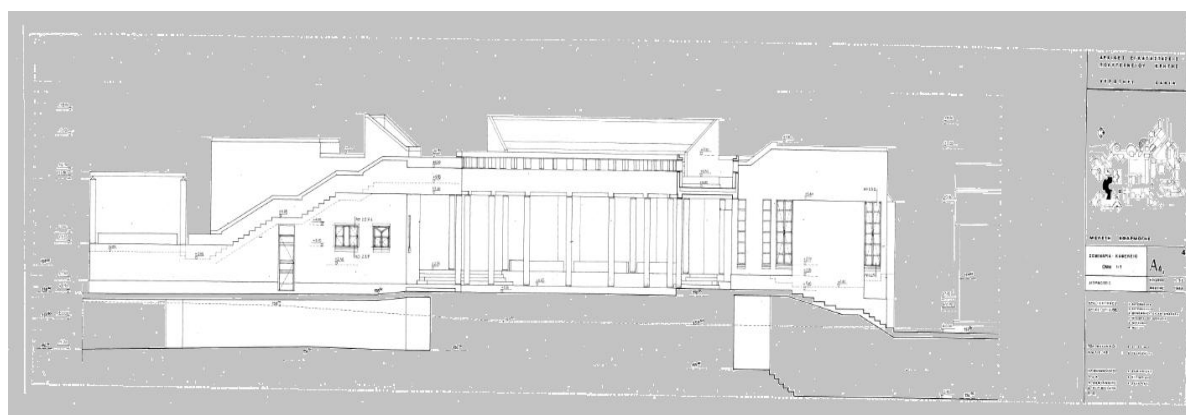
4.2 Μετρήσεις στο πεδίο

Όπως γίνεται συνήθως σε εργασίες όπου απαιτείται η τρισδιάστατη απεικόνιση ενός αίθριου χώρου καθώς και των γύρω κτιρίων, οι επιτόπιες μετρήσεις για τυχόν αποκλίσεις από τα αρχικά σχέδια, αλλά και για τη συλλογή δεδομένων που είναι απαραίτητα για το σχεδιασμό.

Έχοντας τα τοπογραφικά αλλά και τις προσόψεις των κτιρίων (Εικόνα 20, 21, 22), πραγματοποιήθηκε επιτόπια επίσκεψη στον χώρο, ώστε με τη βοήθεια ενός ψηφιακού μετρητή(Εικόνα 23) να επαληθευθούν οι αποστάσεις και τα ύψη των κτιρίων.



Εικόνα 20: Τοπογραφικό της ευρύτερης περιοχής που εξετάζουμε (Πηγή Πολυτεχνείο Κρήτης)



Εικόνα 21 : Πρόσοψη Α2 (Πηγή Πολυτεχνείο Κρήτης)



Εικόνα 24: Οι οροφές των κτιρίων από μια επιτόπια παρατήρηση στο πεδίο εργασίας(Πηγή προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 25: Η επίστρωση του αίθριου ανάμεσα στα κτίρια (Πηγή προσωπικό αρχείο).

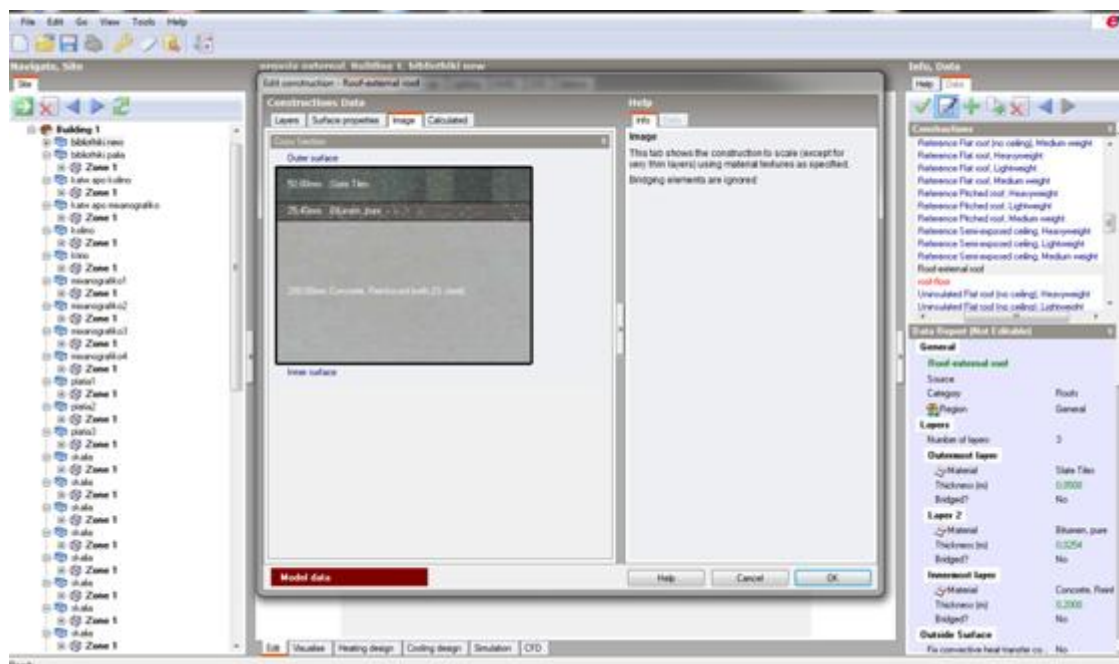
4.3 Εισαγωγή δεδομένων

Για να παραχθούν αποτελέσματα στο εργαλείο υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) του DesignBuilder έπρεπε να εισαχθούν κάποια δεδομένα και πληροφορίες ξέχωρα από την διαστασιολόγηση των κτιρίων και τις συνολικές επιφάνειες φυτοκάλυψης. Αυτά τα δεδομένα και οι πληροφορίες ήταν:

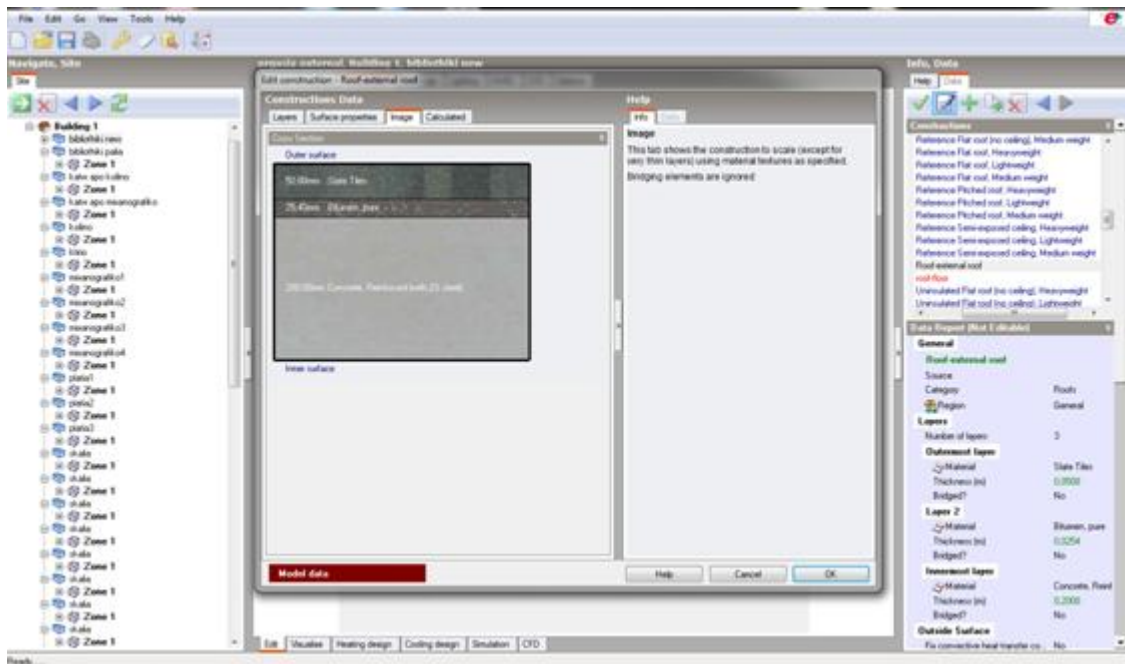
- Ο καθορισμός των υπολογιστικών κελιών του μοντέλου κατά τις διευθύνσεις x,y,z (x-grids,y-grids,z-grids).
- Ο καθορισμός του πλήθους των ζωνών που περιβάλλουν την εξεταζόμενη περιοχή.
- Ο καθορισμός του προφίλ του εδάφους στη περιοχή των δευτερευόντων κελιών.
- Η εισαγωγή των διαστάσεων των υπολογιστικών κελιών dx,dy,dz. Οι διαστάσεις αυτές είναι κοινές για όλα τα κελιά.
- Ο καθορισμός της γωνίας περιστροφής του μοντέλου, σε σχέση με το Βορρά.
- Η εισαγωγή της γεωγραφικής θέσης της εξεταζόμενης περιοχής.
- Η ταχύτητα αέρα (wind Velocity) Εισάγεται η ταχύτητα του αέρα σε m/s (σε απόσταση 10m από το έδαφος).
- Η κατεύθυνση αέρα (wind direction). Η κατεύθυνση αέρα καθορίζεται δεξιόστροφα από το Βορρά. Η κατεύθυνση προεπιλογής είναι 270°, δηλαδή Δυτικά.
- Η έκθεση αέρα (wind exposure). Η ταχύτητα αέρα διορθώνεται για το ύψος επάνω από το έδαφος και την περιβάλλουσα έκταση χρησιμοποιώντας μια εμπειρική σχέση. Μπορούν να επιλεγθούν εκθέσεις αστικές, προαστιακές και ανοικτές των χωρών. Ο κάθε τύπος έκθεσης διαμορφώνει ένα ανάλογο προφίλ ταχύτητας.
- Πολλαπλασιαστικοί παράγοντες για τον ορισμό του υπολογιστικού χωρίου (Site Domain Factors). Απαιτείται ο ορισμός τριών τέτοιων παραγόντων για το μήκος, το πλάτος και το ύψος. Με δεδομένες τις βασικές διαστάσεις του υπό μελέτη κτιρίου, εφαρμόζονται οι παράγοντες αυτοί για να προσδιοριστούν οι διαστάσεις του υπολογιστικού χωρίου. Οι προεπιλεγμένες τιμές για του παράγοντες αυτούς είναι 2.0 για το μήκος και το πλάτος ενώ είναι 1.5 για το ύψος.

4.4 Μεθοδολογία

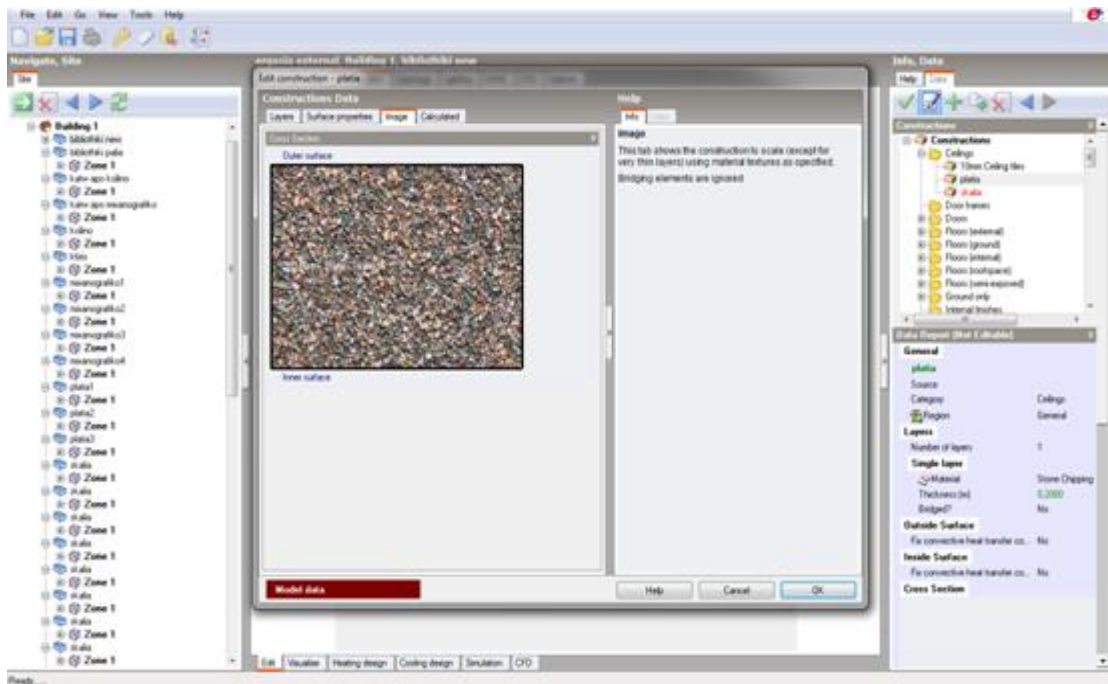
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη μοντελοποίηση του υπαίθριου χώρου είναι κατά βάση απλή. Έχοντας πλέον τεκμηριώσει με επιτόπιες μετρήσεις τα δεδομένα αρχικά κατασκευάστηκαν στο DesignBuilder τα κτίρια με τα σωστά ύψη και τις σωστές αποστάσεις μεταξύ τους. Έπειτα, δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα αρχεία, τα οποία να συνάδουν με τα δεδομένα που είχαν συλλεχθεί για τους τοίχους, τις οροφές και τα κουφώματα των κτιρίων μας, καθώς και τον υπαίθριο χώρο ώστε να ενταχθούν στην αρχική τρισδιάστατη κατασκευή (Εικόνες 26, 27, 28).



Εικόνα 26: Οι εξωτερικοί τοίχοι των κτιρίων αποτελούνται από 5 layers : (outermost : gypsum plastering , layer 2: brickwork(inner leaf) , layer 3: XPS extruded polystyrene-co2 blowing , layer 4: brickwork(inner leaf), inner most layer : gypsum plastering



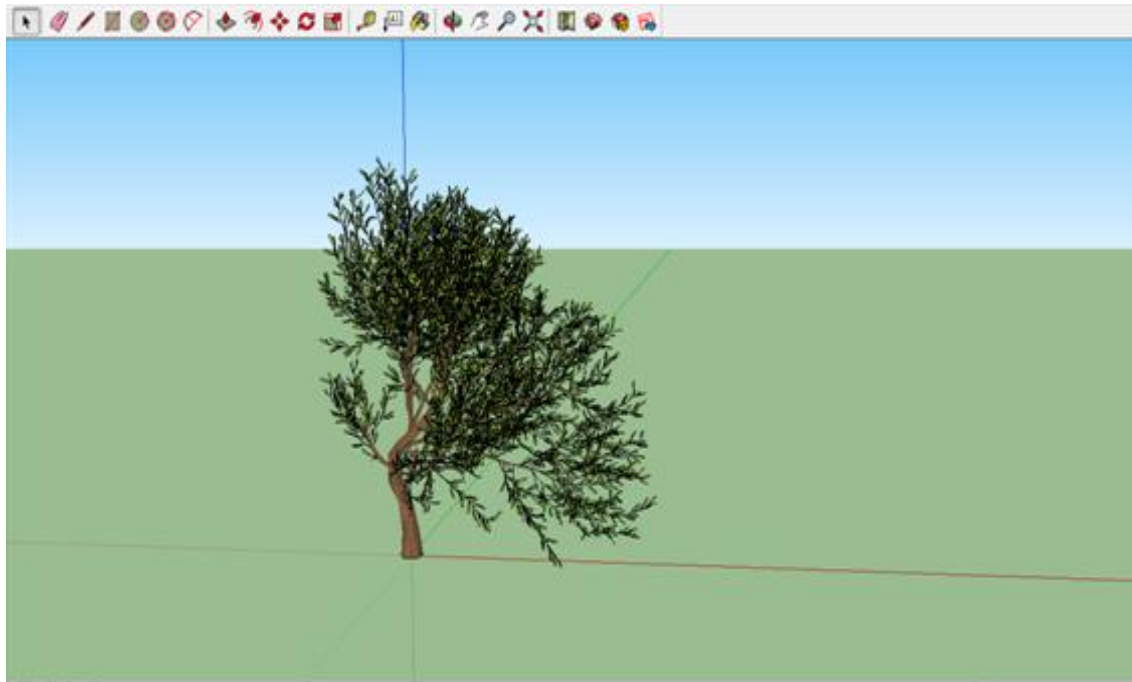
Εικόνα 27: Οι οροφές των κτιρίων αποτελούνται από 3layers: (outermost : slate tiles, layer 2: bitumen ,pure , inner most layer : concrete , reinforced(with 2% steel).



Εικόνα 28:Το αίθριο ανάμεσα στα κτίρια έχει επίστρωση stone chippings .

Με τη βοήθεια του Google SketchUp δημιουργήθηκαν τρία είδη δέντρων και φυτών τα οποία βρίσκονταν στο προαύλιο χώρο, με σκοπό να εισαχθούν μετέπειτα στο DesignBuilder. Αυτό όμως αρχικά δεν ήταν δυνατόν καθώς το Google SketchUp δεν

μπορούσε να εξαγει αρχεία της μορφής **gbxml**, οπότε έπρεπε να μετατραπούν σε αρχεία τύπου **dxf**(Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Ελιά από Google sketchUp

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του προγράμματος EcotectAnalysis μετατράπηκαν τα αρχεία dxf σε gbxml τα οποία ήταν και το μόνο είδος αρχείου που δεχόταν το αρχικό μας πρόγραμμα.

Τέλος, έγινε εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων, τα οποία είχαν καταγραφεί από παρακείμενο μετεωρολογικό σταθμό και εξήχθησαν τα αποτελέσματα για την υφιστάμενη κατάσταση.

Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη δεύτερη φάση της εργασίας, στην οποία άλλαξε η συνολική φυτοκάλυψη της πλατείας έτσι ώστε να γίνει πιο θελκτική για τους χρήστες αλλά και να βελτιωθεί η θερμική άνεση.

Επίσης για τη βελτίωση της θερμικής άνεσης, τα υλικά των κτιρίων και της πλατείας αντικαταστάθηκαν με άλλα ψυχρότερα. Για την ακρίβεια αντικαταστάθηκαν τα **asphalts and other roofing finish** με **Ceiling tiles** στις οροφές των κτιρίων, στους τοίχους αντικαταστάθηκε το **gypsum plastering** με **perlite plastering**, ενώ η πλατεία επιστρώθηκε με **ceramic tiles**.

4.5 Μελέτη και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης

Σε μια περιοχή οι μικρομετεωρολογικές συνθήκες που διαμορφώνονται εξαρτώνται κυρίως από:

- Τις ευρύτερες μετεωρολογικές συνθήκες.
- Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.
- Τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος (θέση αντικειμένων στο χώρο, υλικά κατασκευής, υδάτινες επιφάνειες κ.λπ).

Όσον αφορά τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στον Νομό Χανίων και ειδικότερα στο δήμο Ακρωτηρίου αυτές επηρεάζονται από την κοντινή απόσταση που έχει με την Αφρική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα υψηλές θερμοκρασίες όλη τη διάρκεια του χρόνου συγκριτικά με την υπόλοιπη Ελλάδα, καθώς και συχνά φαινόμενα κάλυψης της ατμόσφαιρας με σκόνη και σωματίδια προερχόμενα από την έρημο, ενώ οι χειμώνες είναι ήπιας μορφής [13].



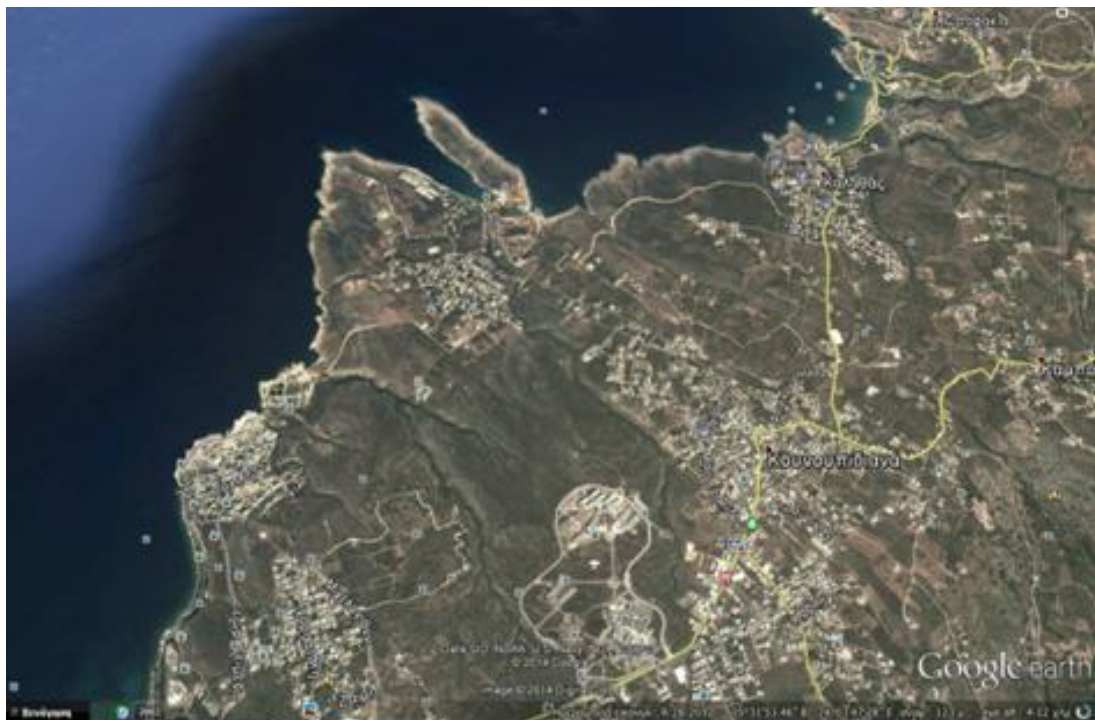
Εικόνα 30: Απεικόνιση από google earth της απόστασης της Κρήτης από την Αφρική

Το τοπογραφικό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής του Ακρωτηρίου αποτελείται κυρίως από πέτρες και βράχια που κατά τόπους καλύπτονται από χαμηλή βλάστηση που αποφέρει μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με τον υπόλοιπο ηπειρωτικό τμήμα του Νομού. Από την άλλη, η πολύ μικρή απόσταση από τη

θάλασσα την καθιστά μία περιοχή με ιδιαίτερα μεγάλα ποσοστά υγρασίας τις νυχτερινές κυρίως ώρες.



Εικόνα 31: Απεικόνιση μέσω google earth του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής



Εικόνα 32: Απεικόνιση μέσω google earth της απόστασης από τη θάλασσα της προς εξέταση περιοχής

Τέλος η διαμόρφωση του χώρου που εξετάζεται, τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και η χρήση πρασίνου δεν συμβάλουν τα μέγιστα στην ανθρώπινη άνεση.



Εικόνα 33: Απεικόνιση του εξεταζόμενου υπαίθριου χώρου

4.6 Μετεωρολογικά δεδομένα

Για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου που βρίσκεται σε ένα περιβάλλον, απαιτούνται δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας αέρος, ηλιακής ακτινοβολίας και έντασης ανέμου.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα για ακριβέστερα αποτελέσματα πρέπει να λαμβάνονται από τα αντίστοιχα όργανα του μετεωρολογικού σταθμού, που είναι εγκατεστημένος στη θέση του χώρου που μελετάται. Τα όργανα αυτά θα πρέπει να είναι τοποθετημένα σε ύψος 1,70m διότι εκφράζει ακριβέστερα το χώρο μέσα στον οποίο κινείται ο 'μέσος' άνθρωπος. Επίσης η επιλογή του σημείου που θα τοποθετηθούν τα όργανα θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες του χώρου. Για παράδειγμα, δεν θα πρέπει να βρίσκεται σε μικρή απόσταση από επιφάνειες που εκπέμπουν θερμότητα ή να εκτίθενται σε νερό που εκτοξεύεται από σύστημα ποτίσματος.

Στην πλειονότητα βέβαια των περιπτώσεων δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού ή η τοποθέτηση αυτόνομων οργάνων μέτρησης στον προς μελέτη χώρο. Γι' αυτό το λόγω και λαμβάνονται τα δεδομένα από σταθμούς που βρίσκονται περιμετρικά του χώρου αυτόνομα ή συνδυαστικά. Το ίδιο συνέβη και στη περίπτωση που εξετάζεται εδώ, καθώς τα μετεωρολογικά δεδομένα λήφθηκαν από ένα παρακείμενο μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται εγκατεστημένος εντός του πολυτεχνείου.

5. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

5.1 Αποτελέσματα

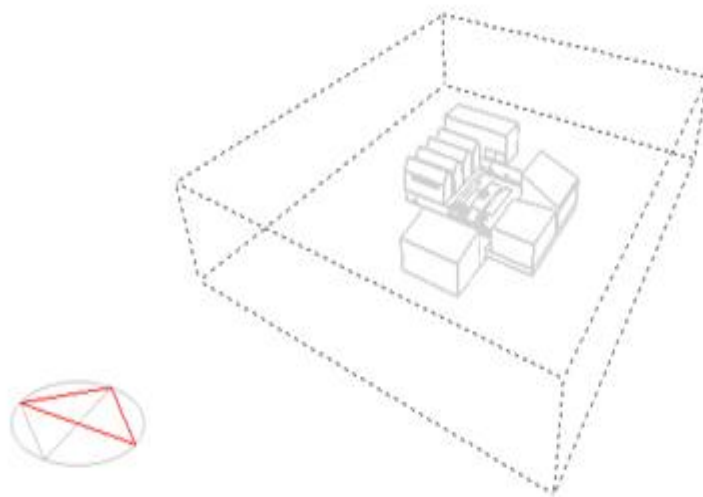
Για την εξωτερική ανάλυση επιλέχθηκε το k-ε μοντέλο τύρβης ως το πλέον αξιόπιστο και το παρακάτω σχήμα ως μέθοδος διακριτοποίησης. Ο μέγιστος αριθμός εξωτερικών επαναλήψεων ορίστηκε στις 4000 επαναλήψεις.

Για την προσομοίωση επιλέχθηκε μη ομοιόμορφο πλέγμα. Αρχικά, δοκιμάστηκε η προεπιλεγμένη διάσταση πλέγματος. Ωστόσο κρίθηκε απαραίτητο η πύκνωση του πλέγματος με τελική διάσταση πλέγματος 0,5m.

Η διάσταση του υπολογιστικού χώρου (domain) στο οποίο έγινε η ανάλυση CFD επιλέχθηκε μετά από δοκιμές. Απώτερος σκοπός είναι να υπάρξει ανεξαρτησία του πλέγματος για καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό έγινε σταδιακή αύξηση του πλέγματος έως ότου να μην παρουσιάζεται καμία επίδραση στα αποτελέσματα. Οι τελικοί συντελεστές του υπολογιστικού χώρου είναι 3 για το πλάτος και μήκος και 2 για το ύψος. Επιπλέον, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για ταχύτητα αέρα 5 m/s και διεύθυνση 270°, τα οποία προέκυψαν από τα μετεωρολογικά και γεωγραφικά δεδομένα σε απόσταση 10m από το έδαφος, ενώ η έκθεση αέρα suburban προέκυψε καθώς τα κτίρια βρίσκονται σε προαστιακή περιοχή.

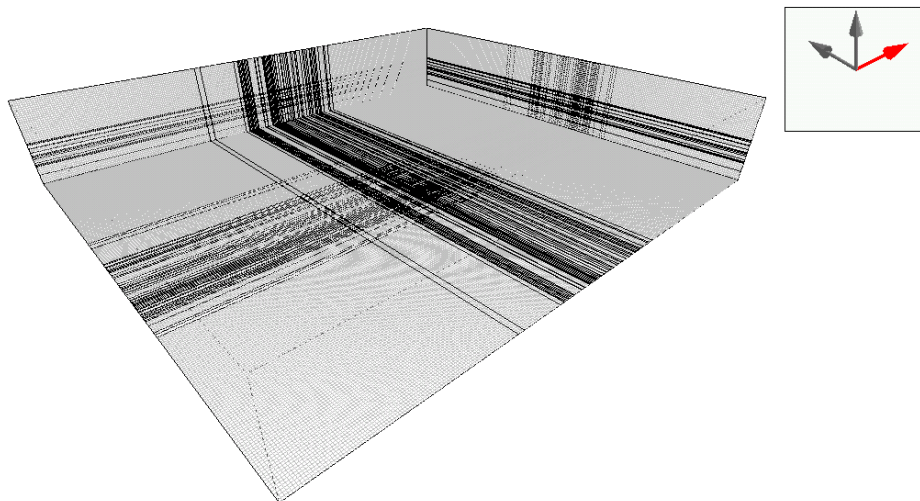
Data Options	
Name	external
CFD External Analysis	
Grid type	1-Non-uniform
Default grid spacing (m)	0.5000
Grid line merge tolerance (m)	0.1000
Wind	
Velocity (m/s)	5
Direction (°)	270
Exposure	2-Suburban
Site Domain Factors	
Length factor	3.00
Width factor	3.00
Height factor	2.00

Οι εξαρτημένες μεταβλητές ρυθμίστηκαν ως εξής ώστε να επιτευχθεί ομαλή σύγκλιση:



Εικόνα 34: Υπολογιστικός Χώρος για την εξωτερική ανάλυση

Το πλέγμα λαμβάνει τελικά την ακόλουθη μορφή με τα εξής στατιστικά στοιχεία:

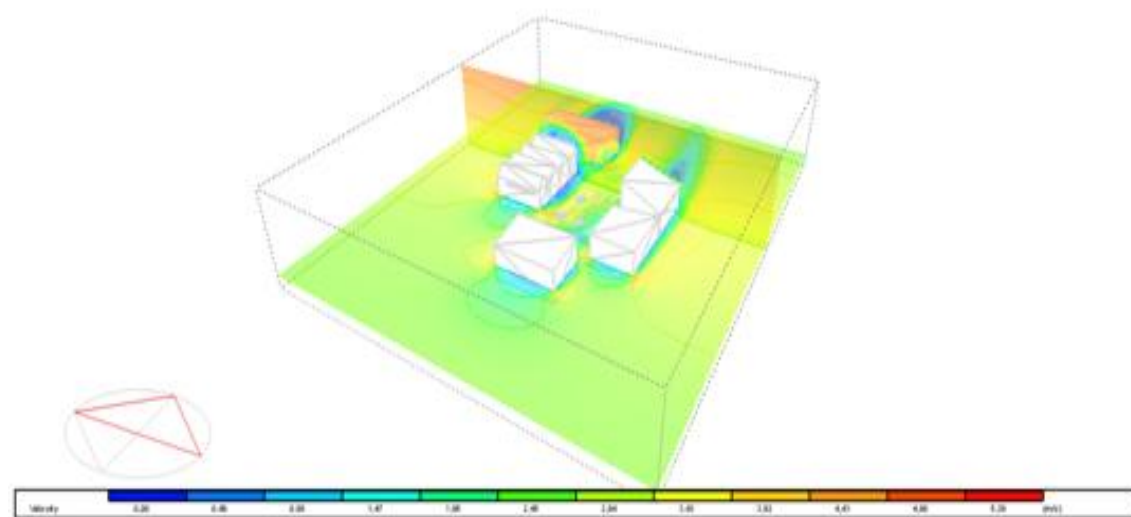


Εικόνα 35: Τελικό Πλέγμα για την εξωτερική ανάλυση

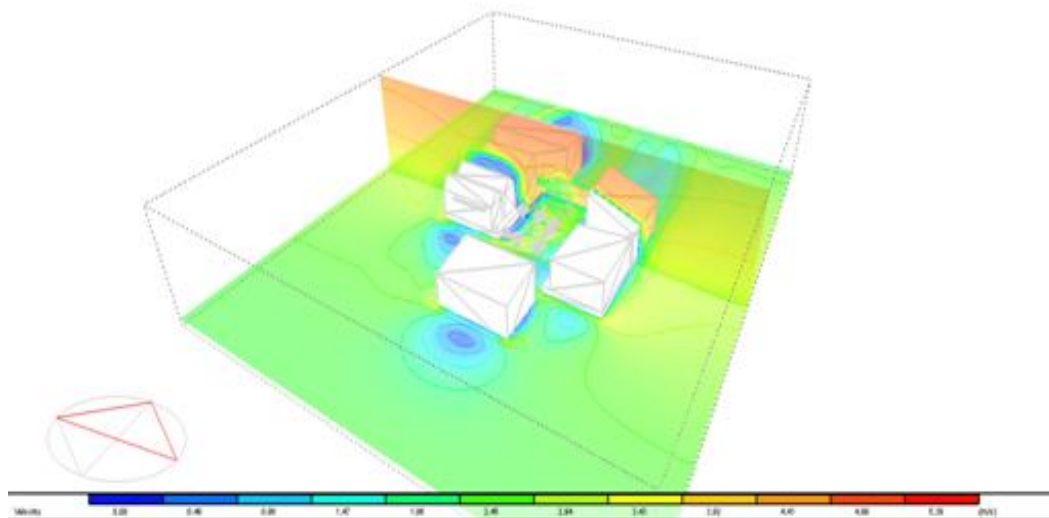
Στατιστικά Στοιχεία Πλέγματος	
Αριθμός Κελιών στο X επίπεδο	271
Αριθμός Κελιών στο Y επίπεδο	241
Αριθμός Κελιών στο Z επίπεδο	51
Μέγιστος Λόγος Διάστασης (max aspect ratio)	9.659
Απαιτούμενη Μνήμη (MB)	429.4

Πίνακας 4: Στατιστικά Στοιχεία Πλέγματος Εξωτερικής ανάλυσης CFD

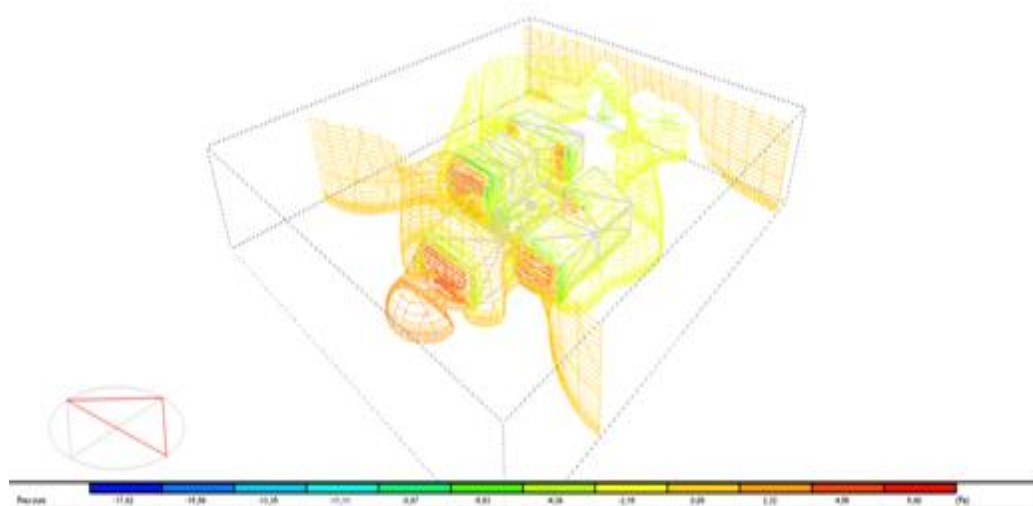
Με τη χρήση του λογισμικού υπολογιστικής ρευστομηχανικής(CFD) μελετήθηκε τόσο η ταχύτητα του ανέμου όσο και η πίεση, διαπιστώνοντας ότι υπάρχει μια μικρή μείωση της ταχύτητας του ανέμου της τάξεως των 0.5 m/s στο κέντρο της πλατείας λόγω της αύξησης των δέντρων, σε ύψος περίπου 1.75 m είναι και το μέσο ύψος του ανθρώπου, ακόμα και αν δεν είναι τοποθετημένα στη βέλτιστη θέση. Αντίθετα η πίεση διαπιστώθηκε ότι παρέμεινε ίδια.



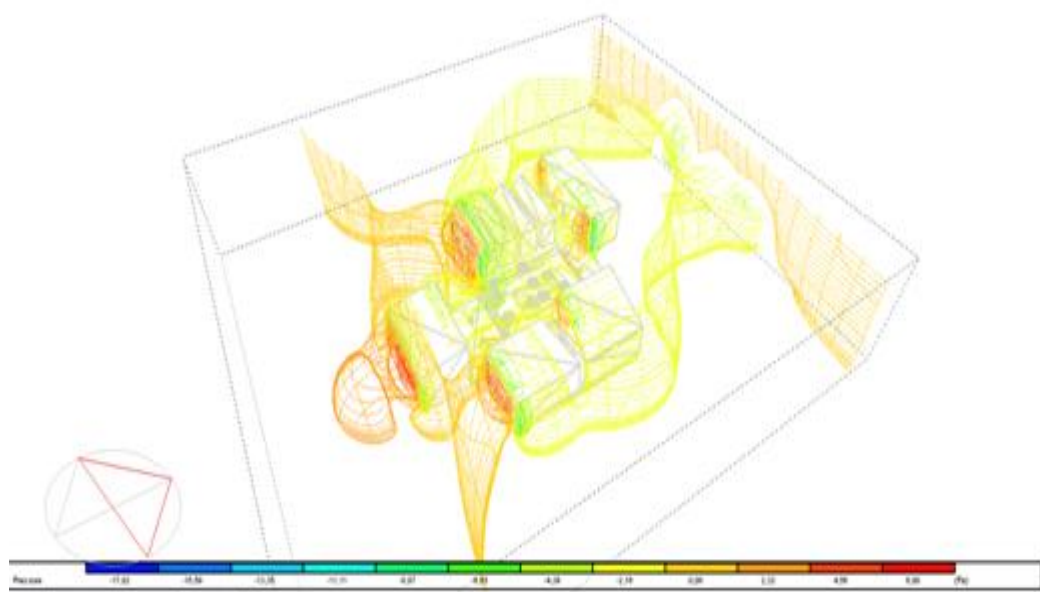
Εικόνα 36: Απεικόνιση της ταχύτητας του ανέμου (velocity) σε ύψος 1,7m της υφιστάμενης κατάστασης για οριακές συνθήκες



Εικόνα 37: Απεικόνιση της ταχύτητας του ανέμου (velocity) σε ύψος 1,7m της κατάστασης με τις μετατροπές στο χώρο για οριακές συνθήκες.

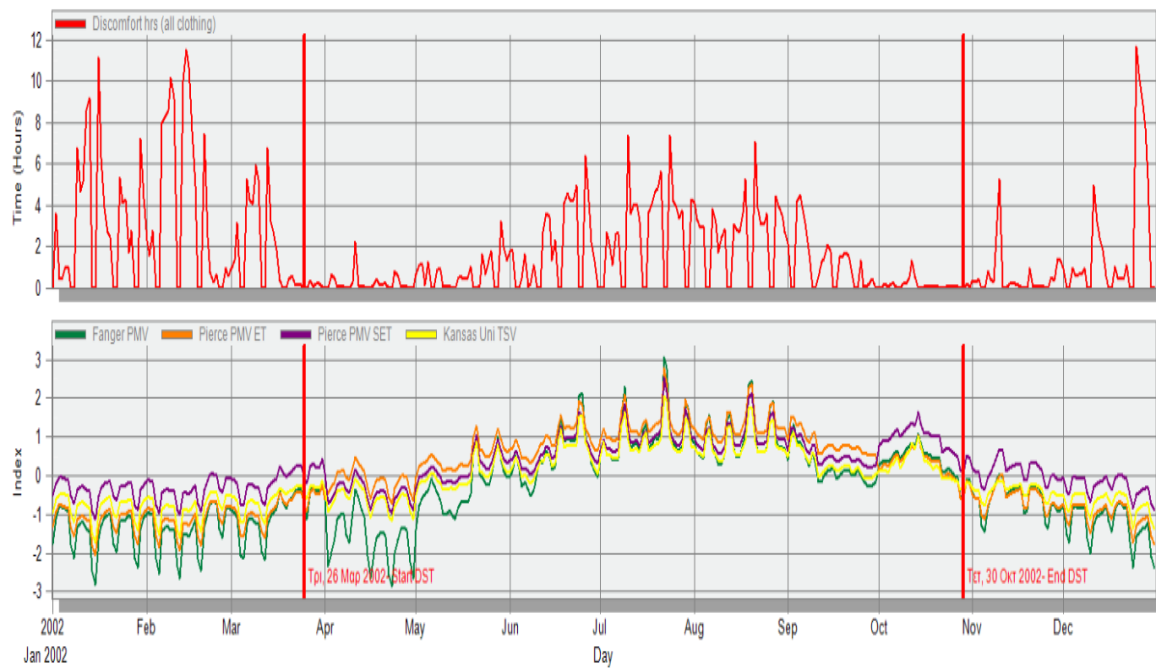


Εικόνα 38: Απεικόνιση της πίεσης (pressure) συνολικά της περιοχή στην υφιστάμενη κατάσταση για οριακές συνθήκες.

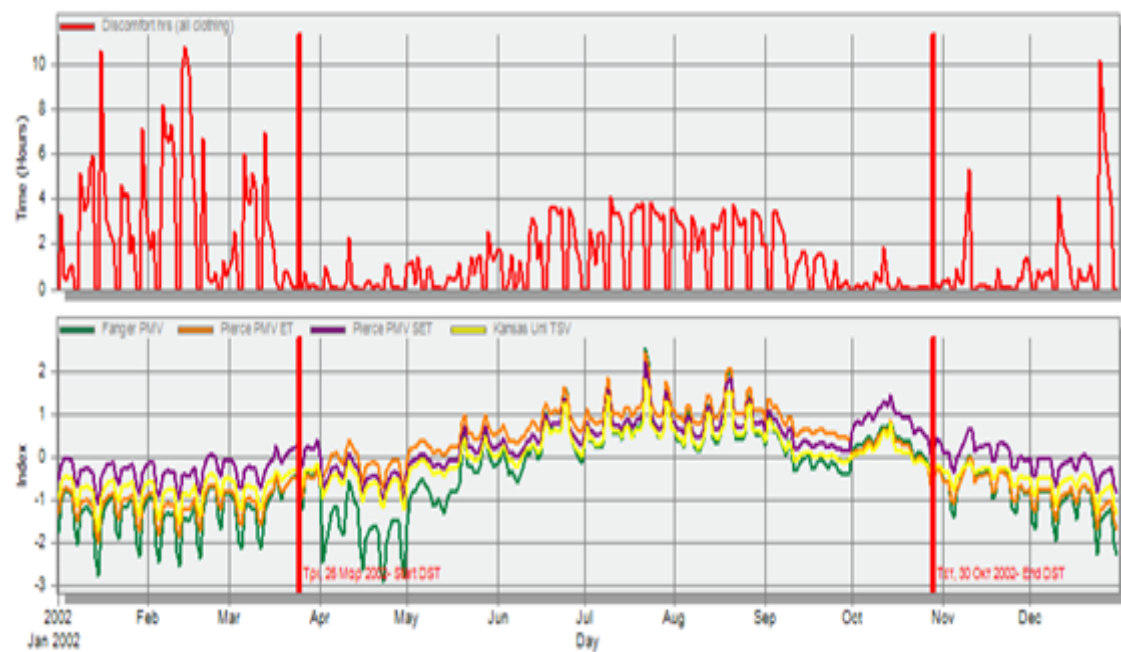


Εικόνα 39: Απεικόνιση της πίεσης (pressure) συνολικά της περιοχή στην περίπτωση όπου ήδη έχει υποστεί τις μετατροπές ο χώρος για οριακές συνθήκες.

Από τις Εικόνες 40, 41 διαπιστώνεται ότι υπάρχει μία μείωση της θερμοκρασίας του αέρα 1-2°C στη θερινή περίοδο, ενώ η αίσθηση της δυσφορίας, κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αυγούστου δέχεται μία μείωση κατά μέσο όρο 2 ώρες. Επιπλέον το τελευταίο διάγραμμα των δύο παρακάτω εικόνων απεικονίζει τους δείκτες Fanger PMV, PMV ET, PMV SET που είναι 3 κατεχοχόν θεωρητικοί δείκτες θερμικής άνεσης. Με βάση αυτούς αποδεικνύεται ότι από τέλος Μαΐου έως αρχές Σεπτεμβρίου στον χώρο, εξετάζοντας την υφιστάμενη κατάσταση υπήρχε μία αίσθηση ζέστης, καθώς αν το 0 θεωρείται θερμικά ουδέτερο για τον άνθρωπο και το +3 πολύ θερμό βάση της θεωρίας τα αποτελέσματα είναι σταθερά πάνω από το +2, ενώ προς το τέλος Ιουλίου έφτασαν το +3. Αντίθετα μετά τις μετατροπές για την ίδια πάντα χρονική περίοδο οι δείκτες δεν ξεπέρασαν ποτέ το +2, παρά μόνο στο τέλος του Ιουλίου και αυτό σε μικρό βαθμό.

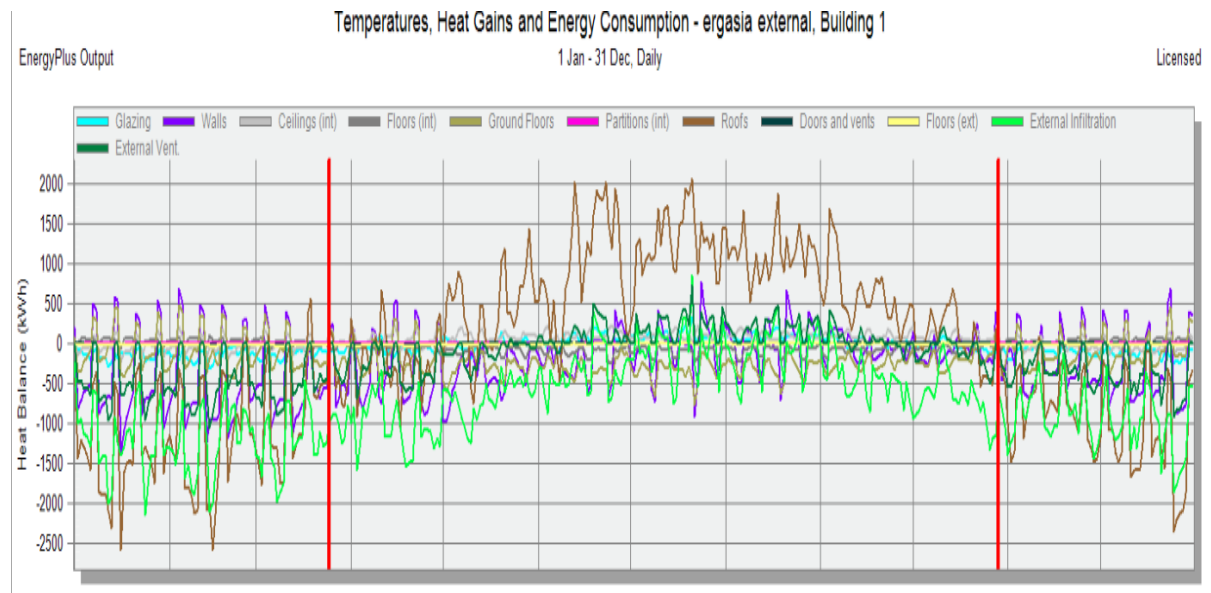


Εικόνα 40: Διαγράμματα που απεικονίζουν την αίσθηση δυσφορίας και τους δείκτες PMV,ET,SET της υφιστάμενης κατάστασης

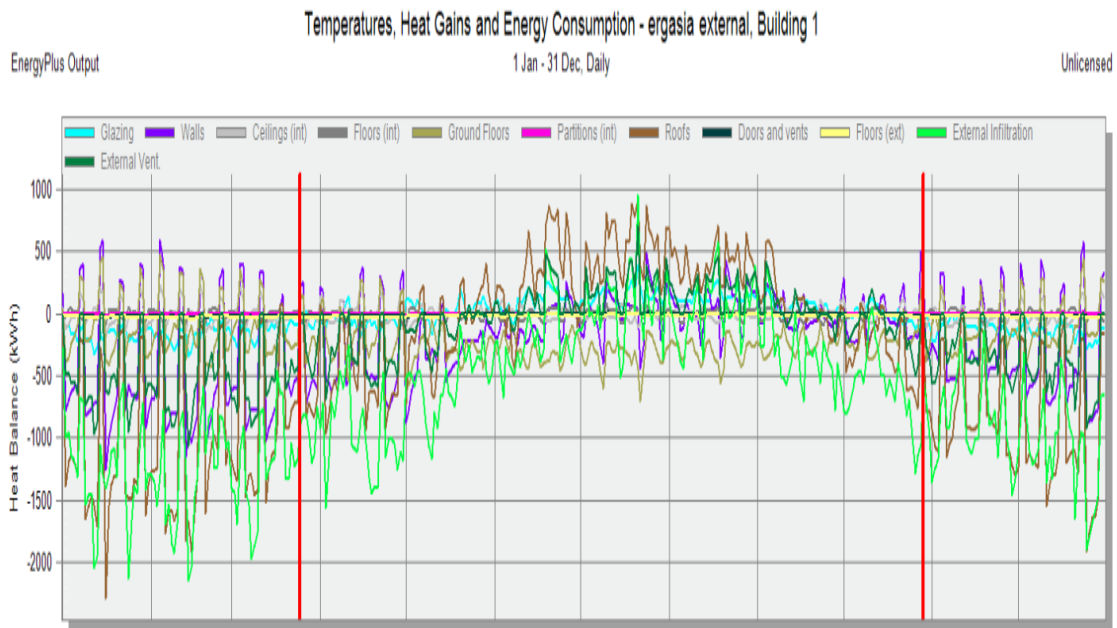


Εικόνα 41: Διαγράμματα που απεικονίζουν την αίσθηση δυσφορίας και τους δείκτες PMV,ET,SET της κατάστασης του χώρου που έχει υποστεί μετατροπές.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα της θερμικής ισορροπίας που ακολουθούν, ενδιαφέρουσα είναι η μείωση στις οροφές των κτιρίων κατά 1000 kWh, ενώ για το έδαφος και τους τοίχους η θερμική ισορροπία είναι σχεδόν ίδια.



Εικόνα 42: Διάγραμμα που απεικονίζει τη θερμική ισορροπία διαφόρων επιφανειών της εξεταζόμενης περιοχής σε kWh όπως είναι οι οροφές των κτιρίων που φαίνεται με καφέ χρώμα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Το διάγραμμα αυτό αναφέρετε στην υφιστάμενη κατάσταση.



Εικόνα 43: Διάγραμμα που απεικονίζει τη θερμική ισορροπία διαφόρων επιφανειών της εξεταζόμενης περιοχής σε kWh όπως είναι οι οροφές των κτιρίων που φαίνεται με καφέ χρώμα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Το διάγραμμα αυτό αναφέρετε στη κατάσταση του χώρου που έχει υποστεί μετατροπές.

5.2 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η προσπάθεια της βελτίωσης των συνθηκών για τους χρήστες του υπαίθριου χώρου που βρίσκεται έξω από το αμφιθέατρο Α2 στην Πολυτεχνειούπολη, στα Χανιά. Ο χώρος μοντελοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού DesignBuilder.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό, τα οποία εισήχθησαν στο DesignBuilder. Επίσης αξιοποιήθηκε το υλικό της Τεχνικής Υπηρεσίας του Πολυτεχνείου Κρήτης που περιλάμβανε τοπογραφικά διαγράμματα της εξεταζόμενης περιοχής, καθώς και προσόψεις των κτιρίων που περιβάλλουν την περιοχή μελέτης, ώστε να δημιουργηθεί ένα ακριβές μοντέλο. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μετρήσεις ώστε να διαπιστωθεί το είδος της βλάστησης και των υλικών κάλυψης των επιφανειών.

Αναφέρεται, ακόμη, ότι η δημιουργία του μοντέλου αυτού ήταν αρκετά επίπονη, καθώς οι πλατείες ανάμεσα στα κτίρια είχαν ιδιαίτερα πολύπλοκη γεωμετρία, λόγω της πολυεπίπεδης διαμόρφωσης τους. Τα κτίρια που συμπεριλήφθησαν στο μοντέλο είναι αυτά που εκτιμήθηκε ότι επηρεάζουν το πεδίο ροής του ανέμου και κατ' επέκταση το μικροκλίμα της εξεταζόμενης περιοχής. Ενώ το πλήθος των επαναλήψεων που πραγματοποιούσε το πρόγραμμα (4000) ώστε να εξάγει αποτελέσματα ήταν να μην καλό όσον αφορά την αξιοπιστία του αλλά η χρονική περίοδος που απαιτούσε για να τρέξει το πρόγραμμα ήταν ένα μειονέκτημα.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 2 προσομοιώσεις. Η πρώτη αφορούσε την υφιστάμενη κατάσταση για τη συνολική διάρκεια ενός έτους, ενώ η δεύτερη αφορούσε την προτεινόμενη κατάσταση, ομοίως για την ίδια χρονική περίοδο. Να σημειωθεί ότι μπορεί οι τελικές προσομοιώσεις να είναι 2 οι οποίες περιγράφονται και παραπάνω, αλλά στη πραγματικότητα πραγματοποιήθηκαν περισσότερες, σε μία προσπάθεια να επιβεβαιωθούν και να επαληθευτούν τα αποτελέσματα.

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με το εργαλείο DesignBuilder, αλλά και συνολικά από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε, προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία μπορούμε να τα συνοψίσουμε στα εξής:

- Με τη χρήση υψηλής ευκρίνειας μαθηματικών μοντέλων, επιτυγχάνεται η μελέτη του μικροκλίματος και της εφορίας των χρηστών σε ανοιχτούς χώρους και το πως επιδρούν σε αυτό η βλάστηση και τα υλικά των επιφανειών. Επιπλέον τέτοιου είδους μοντέλα αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την βελτίωση ήδη προβληματικών αστικών περιοχών, αλλά και για την αποφυγή λαθών σε υπό κατασκευή περιοχές όπως πλατείες. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να βελτιωθούν οι συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων, και να καταστούν οι πόλεις λιγότερο ενεργοβόρες.

- Η αξιοπιστία και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων με το λογισμικό DesignBuilder κρίθηκαν ικανοποιητικές και προτείνεται η χρήση του, αν και πιο περίπλοκο σε σύγκριση με άλλα, για τη μελέτη του μικροκλίματος των υπαίθριων αστικών περιοχών, αλλά και για εσωτερικούς χώρους. Αυτό βέβαια θα πρέπει να συνοδεύεται από μετρήσεις κοντινών μετεωρολογικών σταθμών ή, όταν είναι εφικτό, από επί τόπου μετρήσεις για την αύξηση της ακρίβειας των δεδομένων που εισάγονται στο εκάστοτε πρόγραμμα.

- Οι αλλαγές που προτάθηκαν και μελετήθηκαν για τον υφιστάμενο χώρο δεν επέφεραν εντυπωσιακές αλλαγές. Παρ' όλα αυτά υπήρξαν βελτιώσεις στο μικροκλίμα της περιοχής και στην ευφορία των χρηστών του χώρου. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, η πρόταση για αλλαγές θα επιφέρει:

- 1) Μείωση των ωρών δυσφορίας των χρηστών τους θερινούς μήνες περίπου 2 ώρες ημερησίως.
- 2) Μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά 0.5 m/s στη κεντρική κυρίως πλατεία σε ύψος περίπου 1.70 m από το έδαφος όπου είναι και το μέσω ύψος του ανθρώπου.
- 3) Μείωση της θερμοκρασίας του αέρα τους θερινούς μήνες κατά 1-2°C
- 4) Μείωση της θερμικής ισορροπίας κατά 1000 kWh στις οροφές των κτιρίων.
- 5) Βελτίωση των δεικτών PMV τους θερινούς μήνες

- Οι μικροκλιματικές συνθήκες γύρω από τα κτίρια αλλά και οι ελεύθεροι χώροι ανάμεσα τους βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με την άνεση των ατόμων που δραστηριοποιούνται σε αυτόν. Αυτές μπορούν να ελεγχθούν και να τροποποιηθούν με κατάλληλο σχεδιασμό, δηλαδή η θερμοκρασία των επιφανειών και του αέρα, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του αέρα και η συγκέντρωση σκόνης και ρύπων κοντά στο έδαφος, μπορούν να τροποποιηθούν ευνοϊκά με σωστές επιλογές στον αρχικό σχεδιασμό ή σωστές παρεμβάσεις σε υφιστάμενους χώρους. Ο σχεδιασμός και οι παρεμβάσεις αφορούν ορισμένα ζητήματα όπως:

- 1) Η σωστή επιλογή τοποθεσίας με κατάλληλη τοπογραφική διαμόρφωση
- 2) Η ρύθμιση της πυκνότητας δόμησης αν πρόκειται για αστική περιοχή
- 3) Η σωστή χωροθέτηση των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων
- 4) Ο σχεδιασμός και η διάθρωση των χώρων πρασίνου

- Η επίτευξη θερμικής άνεσης στον αστικό χώρο, αποτελεί ή θα πρέπει να αποτελεί σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού των σύγχρονων αστικών κέντρων. Το να εξετάσει κανείς μόνο την ανθρώπινη φυσιολογία είναι ανεπαρκές για να χαρακτηρίσει τις εξωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης, με τη προσαρμοστικότητα να γίνεται ολοένα και πιο σημαντική. Έτσι θέματα προς συνεχή διερεύνηση είναι η

βελτίωση των συνθηκών ανέμου στους ανοιχτούς χώρους, η δημιουργία ενός άνετου ακουστικού περιβάλλοντος, καθώς και η δημιουργία ενός οπτικά και αισθητικά άνετου χώρου.

- Ο ρόλος των χώρων πρασίνου και της βλάστησης στη βελτίωση του μικροκλίματος και των συνθηκών άνεσης αποτελεί καταλυτικό παράγοντα. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ή την ανάπλαση καθώς η απουσία τους διαμορφώνει ένα διαφορετικό θερμικό ισοζύγιο, μία αύξηση θερμοκρασίας και μία αύξηση της αιωρούμενης σκόνης.

5.3 Μελλοντικές προτάσεις

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της Διπλωματικής Εργασίας, έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα και μας οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα. Μελετήθηκαν οι συνθήκες άνεσης των χρηστών μίας συγκεκριμένης περιοχής εντός του Πολυτεχνείου με τη βοήθεια του λογισμικού DesignBuilder. Βέβαια λόγω του ότι τα θέματα αυτά βρίσκονται σε συνεχή ανάπτυξη και τα λογισμικά συνεχώς βελτιώνονται προτείνονται ορισμένα θέματα που θα έρχονταν περαιτέρω διερεύνηση.

- Αρχικά θα ήταν καλό να γινόταν η οικονομική ανάλυση των ενεργειών που προτείνονται παραπάνω ή και άλλων έτσι ώστε να ελέγχουμε αν οι οποιεσδήποτε αλλαγές στον υπάρχοντα χώρο είναι στην πραγματικότητα εφικτές να υλοποιηθούν βάσει κόστους. Ενώ θα ήταν ενδιαφέρον να γινόταν μία μελέτη όσον αφορά τη βέλτιστη λύση στη σχέση θερμικής άνεσης και κόστους.
- Ένα ενδιαφέρον στοιχείο προς περαιτέρω μελέτη θα ήταν το κατά πόσο μία απλή αλλαγή στη διάταξη αλλά και στο είδος των φυτών θα επέφερε βελτίωση στη θερμική άνεση, καθώς και ποια θα ήταν η βέλτιστη χωροταξική τοποθέτηση τους.
- Επιπλέον θα ήταν ενδιαφέρον να διεξαχθεί ένα είδους δημοσκοπικής έρευνας στους φοιτητές του Πολυτεχνείου έτσι ώστε να δούμε αν τα συμπεράσματα τα οποία έχουν προκύψει από το πρόγραμμα αλλά και οι πιθανές μελλοντικές αλλαγές έχουν άμεση σχέση με αυτά που πιστεύουν οι ίδιοι οι χρήστες του χώρου.
- Τέλος θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί και να γίνει σύγκριση από μία ποικιλία υλικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη κάλυψη επιφανειών. Ενώ θα ήταν καλό να εξεταστεί η χρήση κάποιου λεπτού στρώματος νερού στο χώρο καθώς το νερό διαθέτει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα σε σχέση με άλλα υλικά.

6. Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.unfpa.org/public/> , Σεπτέμβριος 2013
- [2] <http://www.cres.gr/kape/index.htm>http://www.cres.gr/kape/education/design_guidelines_el.pdf , Φεβρουάριος 2014
- [3] Θεοχάρη Χ. (2003) Η επίδραση των χώρων πρασίνου στο μικροκλίμα και τον οργανισμό, HELECO '03, Διεθνής έκθεση και συνέδριο για την τεχνολογία περιβάλλοντος, Αθήνα, 2003
- [4] Τζώρτζη Ν. Και Σαρίκου Σ. (2006). Ενοποίηση και σχεδιασμός μικρών αστικών χώρων με βιοκλιματικές συνθήκες, 8^ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας.
- [5] Nikolopoulou M., Baker N. and Steemers K. (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter. **Solar Energy, Volume 70, Issue 3**, 2001, Pages 227 -235.
- [6] Givoni B. Climate Considerations in Building and Urban **Design, Van Nostr and Reinhold, New York.**
- [7] ISO 7730 (1994). Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, **International Standards Organization, Geneva.**
- [8] Nikolopoulou M. and Steemers K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. **Energy and Buildings, Volume 35, Issue 1, January 2003**, pages 95 -101.
- [9] Καψανάκη Ε. (2005). Η συμβολή των αστικών κενών στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος και μικροκλίματος. Η περίπτωση της περιοχής του Ψυρρή, ΕΜΠ.
- [10] Πολυχρονόπουλος Δ. (2005). Δυνατότητες μορφοποίησης του αστικού μικροκλίματος μέσα από τη διαδικασία του πολεοδομικού σχεδιασμού . Τεύχος σημειώσεων του μαθήματος << Αστικός Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός >>, ΕΜΠ.
- [11] <http://www.symbion.gr/index.html> , Μάρτιος 2014
- [12] <http://main.loulakis.gr/?seminars=ecotect-basic> , Απρίλιος 2014
- [13] <http://www.hnms.gr/hnms/greek/index.html> , Μάρτιος 2014
- [15] http://www.trakadas.gr/sites/default/files/bioclimate_technical.pdf , Μάρτιος 2014
- [16] http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf , Απρίλιος 2014

[17] <http://www.ktirio.gr/innet/UsersFiles/sa/documents/articles/2011-10-83.pdf> ,
Απρίλιος 2014

[18] <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DE3-Bioklimatika-final.pdf> , Μάιος 2014

[19] Tsitoura, M., Marina, M., & Tsoutsos, T. (2011). Evaluation of comfort conditions and sustainable design of urban open spaces in Crete. Paper presented at the PLEA 2011 - Architecture and Sustainable Development, Conference Proceedings of the 27th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 439-444. Retrieved from www.scopus.com

[20] Tsitoura, M., Tsoutsos, T., & Daras, T. (2014). Evaluation of comfort conditions in urban open spaces. Application in the island of Crete. *Energy Conversion and Management*, 86, 250-258. Retrieved from www.scopus.com

[21] Kolokotsa, D., Santamouris, M., & Zerefos, S. C. (2013). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. *Solar Energy*, 95, 118-130. Retrieved from www.scopus.com

[22] Maragkogiannis, K., Kolokotsa, D., Maravelakis, E., & Konstantaras, A. (2014). Combining terrestrial laser scanning and computational fluid dynamics for the study of the urban thermal environment. *Sustainable Cities and Society*, Retrieved from www.scopus.com