



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αστικός πράσινος βελονισμός και διαχείριση εξωτερικού περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΤΖΑΝΑΚΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ





ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

Αστικός πράσινος βελονισμός και διαχείριση εξωτερικού περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΤΖΑΝΑΚΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ (ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ)

ΤΣΟΥΤΣΟΣ ΘΕΟΧΑΡΗΣ

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Διονυσία Κολοκοτσά που μου έδωσε την ευκαιρία να γράψω πάνω σε αυτό το θέμα. Επίσης θα ήθελα να την ευχαριστήσω για την συνεχή και ενεργή παρουσία και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνηση της διπλωματικής από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης και την οικογένειά, τους φίλους μου και την κοπέλα μου που παρά τις πολλές δυσκολίες με ενθάρρυναν συνεχώς ώστε να ολοκληρώσω τον στόχο μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ερευνά τους τρόπου βελτίωσης των μικροκλιματικών συνθηκών σε αστικές και περιαστικές περιοχές της Μεσογείου. Η εργασία εστιάζει στην κλίμακα του χώρου των εστιών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Με την χρήση του λογισμικού μικροκλιματικής ανάλυσης Envi-met, αναλύονται οι τρόποι βελτίωσης συνθηκών του αστικού κλίματος μέσω τεχνικών σχεδιασμού και διαφορετικών παραμετρικών σεναρίων.

Η συνεχής καταπόνηση και υποβάθμιση του κλίματος τα τελευταία χρόνια με τα κέντρα να συγκεντρώνουν όλο και περισσότερο πληθυσμό, η διαρκής άνοδος της θερμοκρασίας αλλά και η ρύπανση του περιβάλλοντος δημιουργούν ανάγκες βιοκλιματικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης.

Στόχος της εργασίας είναι να αποδειχθεί πως με την εφαρμογή ψυχρών υλικών και βλάστησης στους εξωτερικούς χώρους των εστιών του Πολυτεχνείου, υπάρχει η δυνατότητα μείωσης της θερμοκρασίας και εξασφάλισης καλύτερων συνθηκών θερμικής άνεσης.

Τα αποτελέσματα της μελέτης εστιάζουν στην επιφανειακή θερμοκρασία, την δυναμική θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου, παράγοντες που διαμορφώνουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Στο τέλος, βγήκαν συμπεράσματα σχετικά με τις παρεμβάσεις που εφαρμοστήκανε και μπορούν να βοηθήσουν στην περιβαλλοντική αναβάθμιση του χώρου μελέτης, ενώ επίσης και μελλοντικές έρευνες που θα μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Abstract

This current thesis investigates the ways to improve microclimatic conditions in urban and peri-urban areas of the Mediterranean. The thesis focuses on the scale of the dormitory area of the Technical University of Crete. Using the microclimate analysis software Envi-met, ways of improving urban climate conditions through planning techniques and different parametric scenarios are analysed.

The continuous stress and degradation of the climate in recent years with the population gathering at the centrals, the constant rise in temperature and the pollution of the environment create the need for bioclimatic planning and sustainable development.

The aim of this study is to show that by applying cool materials and vegetation to the exteriors of the dormitories, there could be a possibility to reduce the temperature and ensure better thermal comfort conditions.

The results of the study focus on surface temperature, potential air temperature, relative humidity and wind speed, factors that can shape living conditions. In the end, conclusions were made about the interventions that implemented and can help in the environmental upgrading of the study area, and also future research that can be carried out.

Πίνακας περιεχομένων

1 Εισαγωγικές έννοιες	11
1.1 Φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας.....	12
1.2 Κλιματολογικές συνθήκες.....	13
1.3 Λύσεις ανάσχεσης	13
1.3.1 Πράσινοι χώροι και βλάστηση	14
1.3.2 Χρήση ψυχρών υλικών.....	18
1.4 Αστικός βελονισμός	20
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	20
2.1 Παλαιότερες μελέτες και αποτελέσματα	20
2.2 Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας	21
3 Μεθοδολογία.....	21
3.1 Περιγραφή θέσης μελέτης.....	21
3.2 Προσομοίωση με το λογισμικό ENVI-met.....	25
3.2.1 Μαθηματικά μοντέλα του προγράμματος.....	25
3.2.2 Περιγραφή του προγράμματος και των εφαρμογών του	27
3.3 Μοντελοποίηση της περιοχής	29
3.3.1 Σχεδιασμός μοντέλου	29
3.3.2 Προσομοίωση του αρχείου	36
3.3.3 Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων	39
3.4 Ανάλυση των σεναρίων που θα ληφθούν για την βελτίωση του μικροκλίματος	44
3.4.1 Αντικατάσταση υπάρχοντος πεζοδρομίου με πιο ψυχρό υλικό.	44
3.4.2 Φύτευση.....	46
4 Ανάλυση αποτελεσμάτων και συζήτηση	48
4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την παρούσα κατάσταση και την περίπτωση του σεναρίου την θερινή ημέρα (15/7/22) στις 12:00, στις 14:00 και στις 16:00.....	49
4.1.1 Δυναμική Θερμοκρασία (Potential Air Temperature)	49
4.1.2 Επιφανειακή θερμοκρασία (T surface)	54
4.1.3 Ταχύτητα ανέμου (Wind Speed (m/s)).....	60
4.1.4 Σχετική Υγρασία (Relative Humidity %)	65
5 Συμπεράσματα.....	70
5.1 Γενική εικόνα και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.	70
5.2 Μελλοντικές προτάσεις	71
6 Βιβλιογραφία.....	73

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (Πηγή ResearchGate).....	12
Εικόνα 2 Τα φυλλοβόλα δέντρα προσφέρουν σκίαση το καλοκαίρι και ηλιασμό τον χειμώνα(Πηγή Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52).....	15
Εικόνα 3 Προστασία κτιρίων από τον άνεμο λόγω της βλάστησης (Πηγή Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52)	16
Εικόνα 4 Ανεμοφράγματα από δέντρα με πυκνά φυλλώματα (Πηγή Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52)	16
Εικόνα 5 Μείωση του θορύβου από την κυκλοφορία στους δρόμους λόγω της φύτευσης των δέντρων κατά μήκος του δρόμου (Πηγή Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52)	17
Εικόνα 6 Άποψη του νησιού της Σαντορίνης όπου η χρήση του λευκού χρώματος είναι πολύ γνωστή (Πηγή Διαδίκτυο).....	18
Εικόνα 7 Ιδιότητες και οφέλη ψυχρών υλικών (Πηγή [10])	19
Εικόνα 8 Αεροφωτογραφίες από την πόλη των Χανίων (Πηγή Διαδίκτυο)	22
Εικόνα 9 Όρια της περιοχής του Ακρωτηρίου (Πηγή Google Maps)	22
Εικόνα 10 Αεροφωτογραφία των εστιών (Πηγή www.tug.gr)	23
Εικόνα 11 Αεροφωτογραφία του συγκροτήματος της Α φάσης (Πηγή www.tuc.gr)	24
Εικόνα 12 Αεροφωτογραφία του τμήματος της Β και Γ φάσης (Πηγή www.tuc.gr)	24
Εικόνα 13 Αεροφωτογραφία που δείχνει και το εξωτερικό περιβάλλον γύρω από τις εστίες (Πηγή www.tuc.gr)	24
Εικόνα 14 Σχηματική απεικόνιση των υπομοντέλων του ENVI-met (Πηγή [17]).....	25
Εικόνα 15 Αρχικό παράθυρο του λογισμικού (Πηγή Προσωπική Εργασία).....	28
Εικόνα 16 Αρχικό παράθυρο λογισμικού Data and Settings (Πηγή προσωπική εργασία)....	28
Εικόνα 17 Δημιουργία νέου αρχείου αποθήκευσης στο Projects/Workspaces (Πηγή προσωπική εργασία).....	29
Εικόνα 18 Αρχική σελίδα της εφαρμογής Spaces (Πηγή προσωπική εργασία).....	30
Εικόνα 19 Ρύθμιση της τοποθεσίας του μοντέλου (Πηγή προσωπική εργασία)	30
Εικόνα 20 Ρύθμιση της γεωμετρίας του μοντέλου (Πηγή προσωπική εργασία)	31
Εικόνα 21 Επιλογή αεροφωτογραφίας για κάτοψη και οδηγό (Πηγή Google Maps)	32
Εικόνα 22 Αποτύπωση των κτιρίων στο Buildings του Spaces (Πηγή προσωπική εργασία) 32	
Εικόνα 23 Μετατροπή του μοντέλου από δισδιάστατη σε τρισδιάστατη μορφή (Πηγή προσωπική εργασία).....	33
Εικόνα 24 Τοποθέτηση υλικών στην επιφάνεια των κτιρίων (Πηγή προσωπική εργασία)....	33
Εικόνα 25 Εφαρμογή του εδάφους στο Soil and Surface (Πηγή προσωπική εργασία)	34
Εικόνα 26 Τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση του μοντέλου (Πηγή προσωπική εργασία)	34
Εικόνα 27 Δισδιάστατη απεικόνιση του 1 ^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία)	35
Εικόνα 28 Τρισδιάστατη απεικόνιση του 1 ^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία).....	35
Εικόνα 29 Δισδιάστατη απεικόνιση του 2 ^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία)	36

Εικόνα 30 Τρισδιάστατη απεικόνιση του 2 ^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία).....	36
Εικόνα 31 Οι γενικές ρυθμίσεις στο ENVI-guide για τις 15/7/22 (Πηγή προσωπική εργασία).....	37
Εικόνα 32 Οι ρυθμίσεις μετεωρολογικών δεδομένων στις 15/7/22 (Πηγή προσωπική εργασία)	38
Εικόνα 33 Αρχική σελίδα του ENVI-core με το αρχείο έτοιμο για προσομείωση (Πηγή προσωπική εργασία).....	38
Εικόνα 34 Η διαδικασία της προσομείωσης (Πηγή προσωπική εργασία)	39
Εικόνα 35 Ο φάκελος με τα αρχεία που δημιουργούνται από την προσομείωση (Πηγή προσωπική εργασία).....	40
Εικόνα 36 Αρχική σελίδα της εφαρμογής του Leonardo (Πηγή προσωπική εργασία)	40
Εικόνα 37 Εισαγωγή αρχείου από τους φακέλους προσομείωσης (Πηγή προσωπική εργασία).....	41
Εικόνα 38 Επιλογή αρχείων για οπτικοποίηση (Πηγή προσωπική εργασία).....	42
Εικόνα 39 Ρυθμίσεις στοιχείων και προφίλ χάρτη (Πηγή προσωπική εργασία)	42
Εικόνα 40 Οπτικοποίηση ταχύτητας ανέμου (Πηγή προσωπική εργασία)	42
Εικόνα 41 Τρισδιάστατη απεικόνιση του χάρτη (Πηγή προσωπική εργασία)	43
Εικόνα 42 Τρισδιάστατη απεικόνιση και αναπαραγωγή της ροής του ανέμου (Πηγή προσωπική εργασία).....	43
Εικόνα 43 Η δημιουργία του Cool Pavement με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά στο DB Manager του ENVI-met (Πηγή προσωπική εργασία).....	45
Εικόνα 44 Δισδιάστατη απεικόνιση του 1 ^{ου} τμήματος με την τοποθέτηση ψυχρών πεζοδρομίων (Πηγή προσωπική εργασία).....	45
Εικόνα 45 Δισδιάστατη απεικόνιση του 2 ^{ου} τμήματος με την τοποθέτηση των ψυχρών πεζοδρομίων (Πηγή προσωπική εργασία).....	46
Εικόνα 46 Επιλογή πρασίνου στο Spaces (Πηγή προσωπική εργασία)	47
Εικόνα 47 Τρισδιάστατες απεικονίσεις του 1 ^{ου} τμήματος με την εισαγωγή ψυχρών υλικών και πρασίνου (Πηγή προσωπική εργασία)	47
Εικόνα 48 Τρισδιάστατες απεικονίσεις του 2 ^{ου} τμήματος με την εισαγωγή ψυχρών υλικών και πρασίνου (Πηγή προσωπική εργασία)	48
Εικόνα 49 Απεικόνιση του πρώτου τμήματος με τις επιγραφές του χώρου	48
Εικόνα 50 Περιγραφή του δεύτερου τμήματος με τις επιγραφές του χώρου.....	49
Εικόνα 51 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	49
Εικόνα 52 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	49
Εικόνα 53 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	50
Εικόνα 54 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	50
Εικόνα 55 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	50
Εικόνα 56 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	51
Εικόνα 57 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	51
Εικόνα 58 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	51

Εικόνα 59 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	52
Εικόνα 60 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	52
Εικόνα 61 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	52
Εικόνα 62 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	53
Εικόνα 63 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την δυναμική θερμοκρασία του αέρα για το 1 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία).....	53
Εικόνα 64 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την δυναμική θερμοκρασία του αέρα για το 2 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία).....	53
Εικόνα 65 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	54
Εικόνα 66 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	55
Εικόνα 67 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	55
Εικόνα 68 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	55
Εικόνα 69 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	56
Εικόνα 70 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	56
Εικόνα 71 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	56
Εικόνα 72 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	57
Εικόνα 73 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	57
Εικόνα 74 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	57
Εικόνα 75 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	58
Εικόνα 76 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	58
Εικόνα 77 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την επιφανειακή θερμοκρασία για το 1 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)...	58
Εικόνα 78 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την επιφανειακή θερμοκρασία για το 2 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)...	59
Εικόνα 79 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	60
Εικόνα 80 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	60
Εικόνα 81 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	60

Εικόνα 82 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	61
Εικόνα 83 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	61
Εικόνα 84 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	61
Εικόνα 85 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	62
Εικόνα 86 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	62
Εικόνα 87 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	62
Εικόνα 88 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	63
Εικόνα 89 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	63
Εικόνα 90 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	63
Εικόνα 91 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την ταχύτητα του ανέμου για το 1 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)	64
Εικόνα 92 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την ταχύτητα του ανέμου για το 2 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)	64
Εικόνα 93 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	65
Εικόνα 94 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	65
Εικόνα 95 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	65
Εικόνα 96 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	66
Εικόνα 97 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	66
Εικόνα 98 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	66
Εικόνα 99 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)	67
Εικόνα 100 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	67
Εικόνα 101 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 1 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	67
Εικόνα 102 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	68
Εικόνα 103 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	68
Εικόνα 104 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 2 ^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία).....	68

Εικόνα 105 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την σχετική υγρασία για το 1 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)	69
Εικόνα 106 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την σχετική υγρασία για το 2 ^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)	69

1 Εισαγωγικές έννοιες

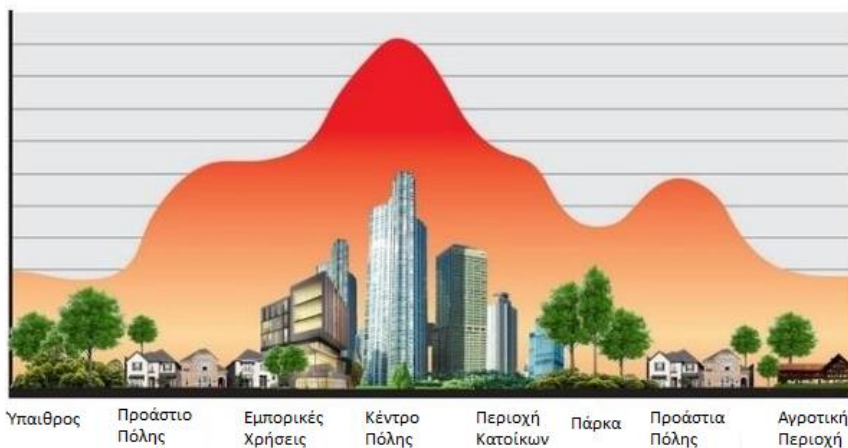
Στην σύγχρονη εποχή τα κέντρα των πόλεων έχουν την τάση να συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος των ανθρώπων. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται αστικοποίηση και καθώς περνάνε τα χρόνια όπου η βιομηχανία ακμάζει, τόσο περισσότερος πληθυσμός θα διαμένει σε αστικές περιοχές. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), πάνω από 50% του πληθυσμού της γης είναι συγκεντρωμένο στα αστικά κέντρα με αυτά τα νούμερα να αυξηθούν δραματικά στα επόμενα χρόνια. Μια πρώτη συνέπεια της αστικοποίησης είναι η σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις και στα προάστια τους, φαινόμενο που είναι γνωστό και ως Αστική Θερμική Νησίδα.

Επιπλέον πέρα από την αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα, υπάρχει και η κλιματική αλλαγή και είναι ένα σοβαρό πρόβλημα με τα φαινόμενα να είναι ορατά όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το λιώσιμο των πάγων και η αύξηση της θερμοκρασίας. Ο παραπάνω συνδυασμός προβλημάτων καθιστά επιτακτική την ανάγκη να βρεθούν λύσεις για την μείωση της κλιματικής αλλαγής αλλά και την προσαρμογή του αστικού ιστού σε αυτήν. Τα κτίρια και οι πόλεις πρέπει να αποκτήσουν μια πιο βιώσιμη συμπεριφορά όχι μόνο για την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και για την μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, δηλαδή για λόγους υγιεινής και την καλύτερη διαβίωση των κατοίκων[1].

1.1 Φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα υψηλά ποσοστά της αστικοποίησης έχουν ολέθριες επιπτώσεις στα αστικά κέντρα των πόλεων και αυτό είναι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται στην αυξημένη θερμοκρασία στις κατοικημένες περιοχές και στα αστικά κέντρα σε σχέση με τις γύρω περιοχές που βρίσκονται στην ύπαιθρο. Το χαρακτηριστικό του φαινομένου είναι ουσιαστικά η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου της πόλης και της ανοιχτής υπαίθρου. Η ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, η πυκνή και υψηλή δόμηση άρα και η απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας λόγω αυτών, η συσσώρευση θερμότητας από την απουσία πρασίνου, οι εκτεταμένες ασφαλτοστρώσεις, η τεράστια κυκλοφορία των αυτοκινήτων και γενικότερα ο περιορισμός του φυσικού περιβάλλοντος είναι κύριοι λόγοι για την παρουσία αυτού του φαινομένου.

Για να μελετήσουμε το φαινόμενο αυτό, ουσιαστικά αναζητούμε τις διαφορές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος γύρω από την πόλη. Σύμφωνα με κλιματολογικές μετρήσεις, η διαφορά θερμοκρασίας υπολογίστηκε ότι μπορεί να ξεπερνά και τους 10°C [2].



Εικόνα 1 Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (Πηγή [ResearchGate](#))

Το φαινόμενο της ΑΘΝ γίνεται πιο έντονο κατά την διάρκεια της νύχτας λόγω της εκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος η οποία έχει απορριφθεί κατά την διάρκεια της μέρας στις εδαφικές επιφάνειες που αποτελούνται από άσφαλτο, τσιμέντο ή σκυρόδεμα καθώς και στα κελύφη των κτιρίων. Τα παραπάνω βέβαια μπορούν να γίνουν πολύ επικίνδυνα για την υγεία του ανθρώπου ιδιαίτερα κατά την διάρκεια ακραίων καιρικών συνθηκών. 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. Επίσης κατά τη διάρκεια καύσωνα αυξάνεται η ζήτηση ενέργειας για δροσισμό και επιδεινώνεται η ποιότητα του αέρα [3].

Σε χώρες που υπάρχουν αρκετοί ζεστοί μήνες (όπως στην περιοχή της Μεσογείου) οι επιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ στην κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικές. Διάφορες

μελέτες έχουν δείξει πως η κατανάλωση ενέργειας για μείωση της θερμοκρασίας δηλαδή την ψύξη, μπορεί να είναι διπλάσια λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στις περιοχές που επηρεάζονται από το φαινόμενο. Ταυτόχρονα υπάρχει σοβαρή επίπτωση στην ποιότητα του περιβάλλοντος καθώς τα επίπεδα μόλυνσης αυξάνονται, οπότε αυξάνεται και η αρνητική επίδραση της πόλης στο περιβάλλον [4] .

1.2 Κλιματολογικές συνθήκες

Σε μια αστική περιοχή επικρατούν διάφορες κλιματολογικές συνθήκες καθώς άλλες υπάρχουν στο κέντρο και στα όριά της και άλλες έξω από αυτήν. Παρόλα αυτά επικρατούν και διαφορετικές συνθήκες και εντός του ίδιου του αστικού ιστού σε διαφορετικά σημεία του, τα οποία μάλιστα, μπορεί να απέχουν μόλις μερικές δεκάδες μέτρα μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα ένας δρόμος με υψηλή κυκλοφορία οχημάτων και ένα πάρκο δίπλα του, με το τελευταίο να αποτελεί κάτι σαν πηγή οξυγόνου ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες σε πόλεις με μεσογειακό κλίμα όπως τα Χανιά [5] .

Υπάρχουν ποίκιλες παράμετροι που συμβάλλουν στην διαμόρφωση του αστικού και τοπικού μικροκλίματος όπως είναι η πυκνότητα και το σύστημα δόμησης σε σχέση με το ανάγλυφο του εδάφους και τους προσανατολισμούς των εκάστοτε κτιρίων. Τα ύψη των κτιρίων σε σχέση με το πλάτος των δρόμων και των ελεύθερων χώρων της πόλης και γενικότερα σε σχέση με τις μεταξύ τους αποστάσεις, επηρεάζουν την κίνηση του αέρα.

Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι ιδιότητες των υλικών των εξωτερικών επιφανειών των κτηρίων αλλά και οι ιδιότητες των υλικών του εξωτερικού περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα ένα πεζοδρόμιο με υλικά χαμηλής ανακλαστικότητας επηρεάζει τις συνθήκες θερμοκρασίας. Για τον εξωτερικό χώρο επιπλέον πέρα των υλικών, πρέπει να υπολογίζεται σαν παράγοντας και η ποσότητα πρασίνου καθώς και τα είδη των φυτών και των δέντρων που περιέχονται μέσα σε αυτόν. Επιπλέον, λόγω των έντονων ανθρώπινων δραστηριοτήτων αλλά και της έντονης κυκλοφορίας οχημάτων δημιουργούνται αέριοι ρύποι και υποβαθμίζεται η ποιότητα αέρα με αποτέλεσμα την βλαβερή επίδραση στην υγεία των ανθρώπων.

1.3 Λύσεις ανάσχεσης

Τα παραπάνω φαινόμενα της αστικοποίησης και της αστικής θερμικής νησίδας που μας προβληματίζουν όπως και οι επιπτώσεις τους στο αστικό κλίμα καθώς και στην υγεία των ανθρώπων που το απαρτίζουν, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη εύρεσης λύσεων. Αυτές οι στρατηγικές βιοκλιματικού σχεδιασμού έχουν ως στόχο την διόρθωση αυτών των αρνητικών επιδράσεων τόσο στις κλιματολογικές συνθήκες όσο και στις συνθήκες διαβίωσης.

1.3.1 Πράσινοι χώροι και βλάστηση

Το κλίμα μιας περιοχής ή ενός υπαίθριου χώρου απαρτίζεται από διάφορα στοιχεία τα οποία το καθένα ξεχωριστά ή και στο σύνολό τους, επηρεάζουν την άνεση του πολίτη. Τα στοιχεία αυτά σχετίζονται μεταξύ τους και ο σχεδιασμός νέων χώρων ή ακόμα οι παρεμβάσεις στους ήδη υπάρχοντες χώρους, επηρεάζουν τα στοιχεία αυτά. Η βλάστηση και οι χώροι πρασίνου αποτελούν κομμάτι αυτών των στοιχείων καθώς ο πολύπλευρος ρόλος της που είναι σημαντικός στην βελτίωση του αστικού μικροκλίματος αναλύεται παρακάτω.

Η βλάστηση και οι χώροι πρασίνου παίζουν τεράστιο και καθοριστικό ρόλο στην βελτίωση του μικροκλίματος και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη των αστικών χώρων ή και ακόμα στον σχεδιασμό και στην επέκτασή τους. Επιπλέον συμβάλλουν σημαντικά στην βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης ακόμα και στην αισθητική. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το μικροκλίμα μιας αστικής περιοχής και ιδιαίτερα στο κεντρικό σημείο της, υπάρχει αισθητή διαφορά από εκείνου στις περιφερειακές περιοχές. Εντός του αστικού ιστού υπάρχουν σε σχεδόν μέγιστο βαθμό υλικά όπως το σκυρόδεμα, η ασφαλτος και το γυαλί τα οποία όπως είναι γνωστό συσσωρεύουν την ηλιακή ακτινοβολία. Από την άλλη πλευρά όμως, η βλάστηση έχει χαμηλή θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα [6] και η απουσία της στον αστικό ιστό έχει ως αποτέλεσμα την διαμόρφωση ενός διαφορετικού θερμικού ισοζυγίου από εκείνο στον περιφερειακό ιστό και ουσιαστικά την αύξηση της θερμοκρασίας και την εμφάνιση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας το οποίο αναλύθηκε και παραπάνω. Η ύπαρξη βλάστησης και χώρων πρασίνου αλλά και δέντρων και φυτών σε διάφορα επιλεγμένα σημεία όπως για παράδειγμα σε πεζοδρόμια ή σε άλλους κοινόχρηστους χώρους όπως πάρκα, ή σε ακάλυπτους χώρους γύρω από τα σπίτια, περιορίζει το παραπάνω αρνητικό φαινόμενο αφού πέρα της φύτευσης της βλάστησης στους προαναφερθέντες χώρους άρα την δημιουργία σκίασης, μειώνεται επίσης και η έκθεση των υλικών (πεζοδρόμια) στην ηλιακή ακτινοβολία άρα και η συνεχόμενη συσσώρευση θερμότητας όπως και επίσης, η αντίστοιχη έκθεση των πολιτών.

Η σκίαση είναι πολύ σημαντική το καλοκαίρι, όχι όμως και κατά την διάρκεια του χειμώνα. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο πρέπει να επιλεγθεί και το κατάλληλο είδος δέντρου, ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χώρου. Ένα καλό παράδειγμα είναι τα φυλλοβόλα δέντρα που αποτελούν ιδανική λύση καθώς προσφέρουν σκίαση το καλοκαίρι και λόγω της πτώσης των φύλλων τους, ηλιασμό τον χειμώνα[7]. Ο βαθμός προστασίας από την ηλιακή προστασία όπως είναι φυσικό, διαφέρει ανάλογα το είδος του φυλλώματος και την πυκνότητά του. Επιπλέον σημαντικοί παράμετροι είναι η σωστή τοποθέτηση και ο κατάλληλος προσανατολισμός των δέντρων γύρω από τα κτίρια, τους κοινόχρηστους και ακάλυπτους χώρους έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση όσον αφορά την σκίαση.

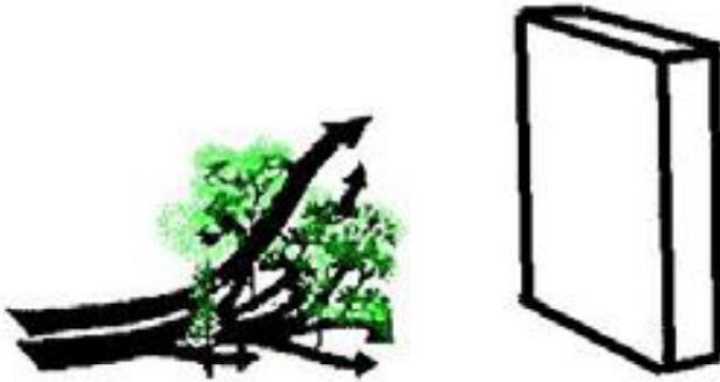


Εικόνα 2 Τα φυλλοβόλα δέντρα προσφέρουν σκίαση το καλοκαίρι και ηλιασμό τον χειμώνα (Πηγή **Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach** Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52)

Η φύτευση παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην σταθεροποίηση του μικροκλίματος καθώς οι χώροι βλάστησης σε μία αστική πόλη λιγοστεύουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Τις καλοκαιρινές μέρες, η θερμοκρασία στους πράσινους χώρους είναι χαμηλότερη ενώ τον χειμώνα είναι υψηλότερη. Μέσω της εξατμισοδιαπνοής, η βλάστηση επιδρά κάπως ευεργετικά καθώς αυξάνει την σχετική υγρασία και μετά ως συνέπεια μειώνει την θερμοκρασία του αέρα όταν το περιβάλλον είναι θερμό και ξηρό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προσφορά δροσισμού και ευχάριστης συνθήκης διαβίωσης ιδιαίτερα κατά τους θερινούς καλοκαιρινούς μήνες[8]. Επίσης όταν επικρατούν συνθήκες άπνοιας δημιουργούνται ρεύματα αέρα από την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στους χώρους που βρίσκονται τα κτίρια και στους χώρους πρασίνου. Αυτά τα ρεύματα επιδρούν θετικά στο κλίμα της πόλης αφού το καλοκαίρι βοηθούν στην μείωση της θερμοκρασίας και τον χειμώνα βοηθούν στην ελάττωση της έντασης του ψύχους [9].

Στον αστικό ιστό, η ύπαρξη βλάστησης και χώρων πρασίνου προστατεύει από τους δυνατούς ανέμους και μειώνει με αυτόν τον τρόπο την ταχύτητά τους. Με λίγα λόγια, η βλάστηση λειτουργεί και ως ανεμοφράκτης για τα τμήματα στα οποία βρίσκονται οι πεζοί [7]. Στην περιοχή μελέτης στην οποία αναφέρεται η διπλωματική στις εστίες του Πολυτεχνείου Κρήτης, όπου ο χώρος είναι αρκετά ανοιχτός και ευάλωτος σε ρέματα ανέμου, η τοποθέτηση βλάστησης θα ήταν μια πολύ καλή λύση στην αντιμετώπιση του ανέμου. Οι κατασκευές των κτιρίων οι οποίες είναι συμπαγείς προσφέρουν καλή προστασία παρόλα αυτά δημιουργούν υψηλές ταχύτητες ροής και είναι προτιμότερο στις περισσότερες περιπτώσεις να χρησιμοποιούνται οι φυσικοί ανεμοφράκτες [7]. Η βλάστηση λόγω των κλαδιών και των φυλλωμάτων που περιλαμβάνει επιβραδύνει τον άνεμο χωρίς να δημιουργεί υψηλά επίπεδα τύρβης. Από διάφορες μελέτες βγαίνει το συμπέρασμα πως καλύτερη προστασία δίνουν οι πιο κλειστές σειρές φυτών. Επίσης για τα κτίρια είναι σημαντικό η προστασία να καλύπτει σε όλο σχεδόν το ύψος του κτιρίου, οπότε υπάρχει και η πιθανότητα συνδυασμού διαφόρων ειδών βλάστησης δηλαδή δέντρων για το κτίριο και θάμνων για το έδαφος της γύρω περιοχής. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο περιορισμός του ανέμου σε μια οικιστική περιοχή συμβάλλει επίσης

στην μείωση της εμφάνισης της σκόνης, παράγοντας πολύ σημαντικός για την υγεία και ευεξία των πολιτών. Επιπλέον η βλάστηση μπορεί να τοποθετηθεί έτσι ώστε να κατευθύνει τον αέρα και με αυτόν τον τρόπο να συμβάλει στον αερισμό της περιοχής [6].



Εικόνα 3 Προστασία κτιρίων από τον άνεμο λόγω της βλάστησης (Πηγή **Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach** Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52)

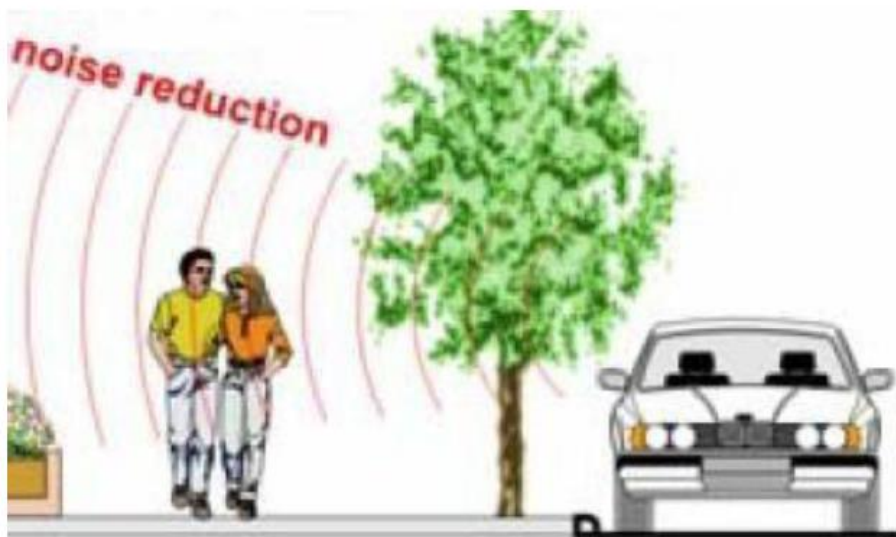


Εικόνα 4 Ανεμοφράγματα από δέντρα με πυκνά φυλλώματα (Πηγή **Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach** Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο περιορισμός της μεταφοράς της ρύπανσης και το φιλτράρισμα του αέρα αποτελούν σημαντικά στοιχεία που δείχνουν την συμβολή της βλάστησης στην βελτίωση του εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά και στην υγεία των πολιτών. Σε έναν αστικό ιστό η κυκλοφορία των οχημάτων, τα κτίρια, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες και γενικά όλος ο τομέας της βιομηχανίας, ρυπαίνουν και υποβαθμίζουν την ποιότητα αέρα,

ιδιαίτερα στα μεγάλα αστικά κέντρα. Οι χώροι πρασίνου όμως λειτουργούν ως φίλτρα καθώς απορροφούν ένα μέρος από αυτό το ρυπαντικό φορτίο [17].

Ένας ακόμα παράγοντας που δείχνει πόσο σημαντική είναι η συμβολή της βλάστησης στην βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης σε μια αστική περιοχή είναι ο παράγοντας της ηχορύπανσης. Ύστερα από διάφορες μελέτες έχει αποδειχθεί ότι οι ζώνες πρασίνου είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές εναντίον του αστικού θορύβου και η βλάστηση εκτός της αποτελεσματικότητάς της ως μέσο σκίασης και εμποδίσσης του ανέμου, χρησιμεύει και ως φράγμα ήχου. Επίσης, όταν τα δέντρα φυτεύονται κατά μήκος των οδών, μειώνεται η ένταση του ήχου από την κυκλοφορία στους δρόμους. Η βλάστηση στις όψεις των κτιρίων και στο έδαφος μπορεί να αυξήσει την διάχυση του ήχου στα όρια μειώνοντας ακόμα περισσότερο τον θόρυβο [7].



Εικόνα 5 Μείωση του θορύβου από την κυκλοφορία στους δρόμους λόγω της φύτευσης των δέντρων κατά μήκος του δρόμου (Πηγή **Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach** Nikolopoulou M Centre for Renewable Energy Sources (CRES), (2004), 52)

Η δεντροφύτευση σε μια συνοικία μπορεί να μειώσει τον θόρυβο τουλάχιστον 4 έως 6 φορές. Επιπλέον, όταν τα ακουστικά κύματα φιλτράρονται από ζώνες πρασίνου, ο θόρυβος από την κυκλοφορία ελαττώνεται και το αποτέλεσμα γίνεται ακόμα καλύτερο όταν υπάρχουν θάμνοι ανάμεσα σε ψηλά δέντρα. Το μέγιστο αποτέλεσμα στην μείωση του θορύβου υπάρχει όταν έχουμε φύτευση σε ελεύθερη διάταξη [17].

Επίσης, η οπτική άνεση στους ανοιχτούς χώρους είναι ακόμα μία σημαντική παράμετρος που επηρεάζεται από την βλάστηση. Με τον όρο οπτική άνεση εννοούμε την ποσότητα φωτισμού που επικρατεί σε μια περιοχή αλλά και την αισθητική που προσφέρει ο χώρος πρασίνου. Όσον αφορά τον φωτισμό, λόγω της διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φύλλα των δέντρων έχουμε βελτίωση του φωτισμού στην περιοχή [6]. Επιπλέον, τα φύλλα των δέντρων εμποδίζουν το πεδίο να γίνει πολύ θαμπό όταν η τιμή της φωτεινότητας φτάσει σε ψηλές τιμές με αποτέλεσμα να προκαλείται παρεμπόδιση της όρασης [7]. Ο παραπάνω συνδυασμός φυσικού φωτισμού με σκίαση μπορεί να αποτελέσει και αντικείμενο παραπάνω μελέτης, όπως επίσης και το κομμάτι της αισθητικής καθώς ένας χώρος όμορφα διανεμημένος και με βλάστηση

φυτεμένη υπό των παραπάνω παραμέτρων, φέρνει μια πολύ ωραία εμπειρία οπτικά αλλά και με σωστή περιβαλλοντική δομή. Τα δέντρα, οι θάμνοι και το γρασίδι δίνει στους πολίτες την επαφή με την φύση παρόλο που βρίσκονται στην πόλη και δημιουργεί ένα ευχάριστο και άνετο περιβάλλον στην καθημερινότητά τους.

1.3.2 Χρήση ψυχρών υλικών

Η συνεχώς αυξανόμενη θερμοκρασία και το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει άμεση ανάγκη για βελτίωση του συνολικού δομημένου περιβάλλοντος εντός του αστικού ιστού. Τα ψυχρά υλικά όπως ψυχρές οροφές και ψυχρά πεζοδρόμια μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά σε καλύτερες συνθήκες μικροκλίματος και θερμικής άνεσης όπως και ενεργειακή ζήτηση για ψύξη στα κτίρια.

Ως ψυχρά, εννοούμε τα υλικά τα οποία απορροφούν και αποθηκεύουν μικρότερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τα αντίστοιχά τους, έτσι ώστε η επιφάνειά τους να μην υπερβαίνει κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Τα ψυχρά υλικά χαρακτηρίζονται είτε από υψηλή ανακλαστικότητα είτε και από υψηλό συντελεστή εκπομπής. Υπήρχαν σαν ιδέα και αρχιτεκτονική από πολύ παλιά τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες με αρκετά θερμό κλίμα. Στην Ελλάδα υπάρχει φανερό παράδειγμα στα νησιά όπου οι στέγες ή και ακόμα ολόκληρα τα κτίρια είναι επιστρωμένα με λευκό χρώμα ώστε να αποκτήσουν την καλύτερη θερμική συμπεριφορά.



Εικόνα 6 Άποψη του νησιού της Σαντορίνης όπου η χρήση του λευκού χρώματος είναι πολύ γνωστή (Πηγή Διαδίκτυο)

(Πηγή

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ώστε να δημιουργήσουμε ψυχρά υλικά με τον πιο γνωστό να είναι αυτός που αυξάνουμε την ανακλαστικότητα ή αλλιώς τον δείκτη albedo. Με τον όρο albedo εννοούμε την ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας. Στα ελληνικά μπορεί να μεταφραστεί και ως λευκαύγεια παρόλα αυτά προτιμάται να χρησιμοποιείται ο όρος albedo. Είναι το μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ενός σώματος. Είναι δηλαδή ο λόγος της ακτινοβολίας που ανακλά ένα σώμα προς αυτήν που δέχεται. Το μέγεθος αυτό είναι αδιάστατο και παίρνει τιμές από μηδέν (0) έως ένα (1). Η τιμή του μηδέν αναφέρεται σε ένα σώμα το οποίο απορροφάει όλη την ακτινοβολία που δέχεται ενώ η τιμή του ένα αναφέρεται σε σώματα τα οποία ανακλάνε όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Σε γενικές γραμμές το albedo μπορεί να θεωρηθεί το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από μια επιφάνεια και περιγράφεται σε όλο το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η δημιουργία ενός ψυχρού υλικού μπορεί να γίνει με την αύξηση του albedo. Αποτέλεσμα αυτής της αύξησης είναι η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας του υλικού αφού απορροφάται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία από το υλικό. Επιπλέον πέρα από την μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας έρχεται και η μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος του αέρα λόγω της μειωμένης θερμότητας στην ατμόσφαιρα.

Τα ψυχρά υλικά είναι μια αρκετά οικονομική τεχνολογία όπως επίσης και εύκολη στην εφαρμογή. Η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει είτε στην οροφή και στους εξωτερικούς τοίχους των κτιρίων, είτε στο εξωτερικό περιβάλλον. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν οφέλη. Από την εφαρμογή των κτιρίων, βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων όπως και η ποιότητα του εσωτερικού χώρου. Στην άλλη πλευρά, με την εφαρμογή σε επιφάνειες στο εξωτερικό περιβάλλον τα ψυχρά υλικά βοηθάνε στον περιορισμό του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας όπως και στην βελτίωση της θερμικής άνεσης.



Εικόνα 7 Ιδιότητες και οφέλη ψυχρών υλικών (Πηγή [10])

Τα ψυχρά πεζοδρόμια τα οποία είναι το αντικείμενο που θα αναλυθεί, παρουσιάζουν χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από τα αντίστοιχα κανονικά. Βοηθάνε στην μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην μείωση της θερμότητας του αστικού περιβάλλοντος. Για να γίνει αυτό θα πρέπει ουσιαστικά να μειωθεί η επιφανειακή τους θερμοκρασία και αυτό μπορεί να γίνει με την αύξηση του albedo όπως αναφέρθηκε και παραπάνω [11], [12].

Με την αύξηση του albedo ουσιαστικά εννοούμε την αύξηση της ανακλαστικότητας. Αυτό γίνεται έτσι ώστε τα πεζοδρόμια να απορροφούν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το αποτέλεσμα ονομάζεται και ως ανακλαστικά ή ψυχρά πεζοδρόμια (reflective ή cool pavements). Στις περισσότερες οδηγίες και τεχνικές δημιουργίας ψυχρών πεζοδρομίων συναντάται η χρήση πεζοδρομίων από σκυρόδεμα. Οι τρόποι για την αύξηση του albedo που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας έχουν να κάνουν είτε με την δημιουργία από την αρχή νέων πεζοδρομίων είτε (αν ο χώρος μελέτης έχει αρκετή έκταση και η δημιουργία δεν προτιμάται), ανακατασκευή και συντήρηση των ήδη υπαρχόντων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με απλές τεχνικές όπως εφαρμογή τεχνικών λευκής επικάλυψης, ή εφαρμογή άχρωμων και

ανακλαστικών κονιαμάτων όπως και χρήση αδρανών ανοιχτού χρώματος στις επιφάνειες του πεζοδρομίου οι οποίες είναι από σκυρόδεμα [12], [13].

Στην περίπτωση λοιπόν που επιλεγθεί η χρήση των ψυχρών πεζοδρομίων στα ήδη υπάρχοντα πεζοδρόμια τότε υπάρχει η πολύ απλή τεχνική. Καθώς η επιφάνεια παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην τιμή του albedo, η καινούργια επιφάνεια δημιουργείται από τις παραπάνω τεχνικές που αναφέρθηκαν. Γίνεται ανάμειξη δηλαδή των αδρανών ανοιχτού χρώματος με τα άχρωμα και ανακλαστικά κονιάματα, είτε πάνω στην επιφάνεια που θέλουμε να επιστρώσουμε, είτε να γίνει η ανάμειξή τους από πριν, και το νέο μείγμα να στρωθεί πάνω στο πεζοδρόμιο.

1.4 Αστικός βελονισμός

Η θεωρία του αστικού πράσινου βελονισμού προήλθε από την άποψη ότι η πόλη είναι ένας ζωντανός οργανισμός και όχι απλά ένα σύμπλεγμα κτιρίων. Οι κλιματικές παρεμβάσεις που γίνονται σε μία πόλη είναι σαν μια θεραπεία η οποία στηρίζεται στον χρόνο και στους ανοιχτούς χώρους της πόλης, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να έχει και την συγκατάθεση της κοινής γνώμης. Η βασική αρχή αυτής της αστικής κοινωνικο-περιβαλλοντικής θεωρίας είναι πως η βελτίωση επιλεγμένων σημείων μιας πόλης μπορεί να λειτουργήσει σαν βάση η οποία σταδιακά βελτιώνει ολόκληρο το σύνολο. Ουσιαστικά είναι πολλές αλλαγές μικρού βελινεκούς η οποίες βαθμιαία μεταμορφώνουν ολόκληρο το αστικό σύνολο. Όπως και ο βελονισμός που με την πίεση συγκεκριμένων σημείων του σώματος είναι θεραπευτικός, έτσι και ο αστικός πράσινος βελονισμός λειτουργεί με την ίδια φιλοσοφία. Τα σημεία που επιλέγονται για να γίνει η παρέμβαση προέρχονται ύστερα από οικονομική, κοινωνική και οικολογική ανάλυση, όπως και επίσης την κοινωνική συζήτηση [14].

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Με την έντονη αστικοποίηση και την εμφάνιση του φαινομένου της Αστικής θερμικής νησίδας κρίθηκε αναγκαία η έρευνα και η μελέτη διαφόρων τεχνικών ανάσχεσης. Σκοπός αυτών των τεχνικών είναι η βελτίωση του μικροκλίματος και διαμόρφωση καλύτερων συνθηκών διαβίωσης των πολιτών.

2.1 Παλαιότερες μελέτες και αποτελέσματα

Εφόσον το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής νησίδας είναι έντονο τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει διάφορες έρευνες και μελέτες ώστε να μειωθεί η ένταση του φαινομένου. Μία τέτοια μελέτη, είχε γίνει στην αστική περιοχή των Αχαρνών στην Αθήνα (D. D. Kolokotsa, G. Giannariakis, K. Gobakis, G. Giannarakis, A. Synnefa, and M. Santamouris), όπου εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάσχεσης των ψυχρών υλικών. Συγκεκριμένα στις οροφές των κτιρίων εγκαταστήθηκαν ψυχρές οροφές με την μορφή των πλακιδίων οροφής ενώ τα συμβατικά πεζοδρόμια αντικαταστάθηκαν από ψυχρές πλάκες. Με την τοποθέτηση των ψυχρών οροφών στα κτίρια, η καταναλωμένη ενέργεια για ψύξη μειώθηκε κατά 17% ενώ η ετήσια ενέργεια που χρειάζεται για θέρμανση και ψύξη μειώθηκε κατά 8,9%. Με την τοποθέτηση ψυχρών πεζοδρομίων και την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε στις 16/6/15 στις 14:00 παρατηρήθηκε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα για το ύψος ενός

ανθρώπου περίπου μισό βαθμό Κελσίου. Επίσης η επιφανειακή θερμοκρασία στο τμήμα που τοποθετήθηκαν τα ψυχρά πεζοδρόμια μειώθηκε κατά περίπου 10 βαθμούς Κελσίου [13].

Παρόμοια μελέτη που αφορούσε το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής νησίδας, έχει πραγματοποιηθεί στην περιοχή του Σύδνευ. Συγκεκριμένα, στην αστική περιοχή μελέτης εφαρμόστηκαν ψυχρά πεζοδρόμια και δρόμοι, ενώ επίσης χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος της πρασινάδας. Με την προσομοίωση να γίνεται στις 14:00 παρατηρήθηκε πως οι παρεμβάσεις που αφορούσαν την αύξηση του δείκτη albedo με την χρήση των ψυχρών υλικών ήταν πολύ αποτελεσματικές στην μείωση της θερμοκρασίας. Μια μείωση από 0.3 έως και 3 βαθμούς Κελσίου ενώ ο δείκτης albedo αυξήθηκε από 0.1 και 0.6.

Επιπλέον ήταν πολύ αποτελεσματικές οι παρεμβάσεις που έγιναν στο εξωτερικό περιβάλλον, είτε με την αύξηση του δείκτη albedo, είτε με την τοποθέτηση πρασίνου. Σημειώθηκε μείωση της θερμοκρασίας από 0.3 έως 1.4 βαθμούς Κελσίου [15].

2.2 Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη του εξωτερικού χώρου που βρίσκονται οι εστίες του Πολυτεχνείου Κρήτης και η έρευνα πιθανών σεναρίων και πρακτικών αντιμετώπισης ώστε να βελτιωθούν οι κλιματολογικές συνθήκες, μέσα από εφαρμογές προσομοιώσεων που θα γίνουν στο λογισμικό ENVI-met V5 το οποίο εξετάζει και καλύπτει ολόκληρο τον χώρο μελέτης.

Στόχοι είναι η βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης αλλά και κλίματος μέσα από μια σειρά παρεμβάσεων βιοκλιματικού σχεδιασμού, κατά τις οποίες θα πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις για μια καλοκαιρινή μέρα του χρόνου όπου οι συνθήκες θερμοκρασίας είναι υψηλές. Επίσης θα σχεδιαστεί εκ νέου το οικιστικό συγκρότημα με βάση τα σενάρια ανάλυσης.

3 Μεθοδολογία

3.1 Περιγραφή θέσης μελέτης

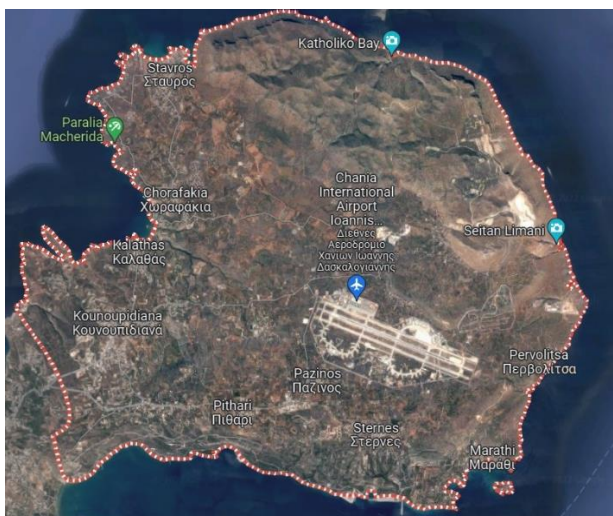
Τα Χανιά είναι η δεύτερη σε πληθυσμό πόλη της Κρήτης και εμφανίζεται από τα νεολιθικά χρόνια. Από τα παλιά χρόνια, τα Χανιά αποτελούν σημαντική πόλη για το νησί της Κρήτης. Η πόλη δέχθηκε αρκετές επιδράσεις και αυτό το δείχνει η αρχιτεκτονική της καθώς έχει διάφορους τύπους (Βυζαντινό, Ενετικό, Οθωμανικό και Νεοκλασικό). Δεν μπορεί να παραλειφθεί και το ενετικό λιμάνι και οι δρόμοι που οδηγούν σε αυτό καθώς αποτελούνται από στενά σοκάκια με παραδοσιακά σπίτια από διάφορες εποχές. Από τα τέλη του περασμένου αιώνα γύρω από την παλιά πόλη έχει αναπτυχθεί με γρήγορους ρυθμούς η καινούργια πόλη με έντονη την παρουσία των κτιρίων και της κυκλοφορίας των οχημάτων. Επιπλέον υπάρχει έντονα η ανθρώπινη δραστηριότητα και ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα αυξημένα ποσοστά αστικοποίησης άλλαξαν δραματικά και την εικόνα του κέντρου της πόλης των Χανίων, τόσο με θετικό όσο όμως και με αρνητικό πρόσημο. Παρά την θετική εξέλιξη αναφορικά με τους τομείς της υγείας, της εκπαίδευσης, των τεχνικών γνώσεων και της άνεσης των πολιτών της πόλης έχουν προκύψει περιβαλλοντικά προβλήματα εξαιτίας της αστικής

πυκνότητας και της ακατάστατης δόμησης, που χαρακτηρίζει αρκετές περιοχές του κέντρου. Ως μια μικρή Μεσογειακή πόλη η οποία αστικοποιήθηκε πάρα πολύ γρήγορα τις τελευταίες δεκαετίες εμφανίζει έντονα το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Οι εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν στην παράκτια και περιαστική περιοχή, επιδεινώνονται καθώς οδεύουμε προς το κέντρο της πόλης. Τα ψηλά κτίρια και οι εκτενείς ανθρωπογενείς δραστηριότητες εκπέμπουν μεγάλη ποσότητα θερμότητας και σε συνδυασμό με τους περιορισμένους χώρους πρασίνου φέρνουν αποτελέσματα θερμικής καταπόνησης στο κέντρο της πόλης σε σχέση με τις περιαστικές και αγροτικές περιοχές [16].



Εικόνα 8 Αεροφωτογραφίες από την πόλη των Χανίων (Πηγή Διαδίκτυο)

Η θέση μελέτης της παρακάτω διπλωματικής αφορά τις εστίες του Πολυτεχνείου Κρήτης το οποίο βρίσκεται στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Το Ακρωτήριο βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού Χανίων και αποτελεί το ανατολικότερο ακρωτήριο των Χανίων. Εκτείνεται στα βορειοανατολικά της πόλης των Χανίων και συνθέτει κυρίως μια παραθαλάσσια περιοχή καθώς όλη σχεδόν η οριογραμμή του βρέχεται από το Κρητικό πέλαγος. Βρίσκεται σε υψόμετρο 120 μέτρων, 8 χιλιόμετρα από τα Χανιά.



Εικόνα 9 Όρια της περιοχής του Ακρωτηρίου (Πηγή Google Maps)

Στην έκταση του Ακρωτηρίου αναπτύσσεται τόσο περιοχή με έντονο ανάγλυφο όσο και πεδινή ζώνη. Η περιοχή με το έντονο ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από μια εκτεταμένη ζώνη με λόφους,

διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, καταλαμβάνοντας το βορειοανατολικό τμήμα του Ακρωτηρίου. Αποτελείται εξ ολοκλήρου από ανθρακικά πετρώματα και παρουσιάζεται με πολυάριθμες κορυφές υψομέτρων συνήθως 350 - 420 μέτρα. Επίσης υπάρχει και η παραθαλάσσια ζώνη του Ακρωτηρίου η οποία διαθέτει ζώνη μήκους 59,55 χιλιομέτρων. Στο βόρειο-βορειοανατολικό τμήμα η λοφώδης περιοχή βυθίζεται στην θάλασσα του Κρητικού πελάγους δημιουργώντας έτσι απότομες βραχώδης ακτές με έντονες κλίσεις. Στο βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα δημιουργούνται μικροί κόλποι και παραλίες κατάλληλες για αναψυχή και τουρισμό.

Στην περιοχή του Ακρωτηρίου υπάρχουν ποικίλα κλιματικά δεδομένα για όλο τον χρόνο με διάφορες τιμές με ελάχιστη θερμοκρασία στους 7,8 °C η οποία είναι για τον μήνα Φλεβάρη και μέγιστη θερμοκρασία στους 30,7 °C η οποία είναι για τον μήνα Ιούλη. Επίσης υπάρχουν διάφορες τιμές και για την υγρασία η οποία κυμαίνεται από 50,5% έως 70,5% για μέση μηνιαία υγρασία για τους μήνες Ιούλιο και Ιανουάριο αντίστοιχα, στοιχεία που συλλέχθηκαν από την επίσημη σελίδα την [Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας](http://www.tug.gr).

Επιπλέον στο Ακρωτήρι βρίσκεται και το Πολυτεχνείο Κρήτης και σε αυτόν τον χώρο μελέτης θα γίνει η παρέμβαση για την οποία γράφεται αυτή η εργασία. Το Πολυτεχνείο Κρήτης ιδρύθηκε το 1977 και η Πολυτεχνειούπολη καταλαμβάνει έκταση περίπου 3000 στρεμμάτων. Εσωτερικά στην Πολυτεχνειούπολη λειτουργεί φοιτητική εστία στην οποία οι επιλαχόντες φοιτητές μπορούν να μείνουν. Αποτελείται από συγκρότημα κτιρίων που κατασκευάστηκε σε τρεις φάσεις. Το συγκρότημα της Α φάσης που είναι και το πιο παλιό και κατασκευάστηκε το 1993, το συγκρότημα της Β φάσης που ολοκληρώθηκε το 2019 και το συγκρότημα της Γ φάσης το οποίο παραδόθηκε το καλοκαίρι του 2021.



Εικόνα 10 Αεροφωτογραφία των εστιών (Πηγή www.tug.gr)



Εικόνα 11 Αεροφωτογραφία του συγκροτήματος της Α φάσης (Πηγή www.tuc.gr)



Εικόνα 12 Αεροφωτογραφία του τμήματος της Β και Γ φάσης (Πηγή www.tuc.gr)



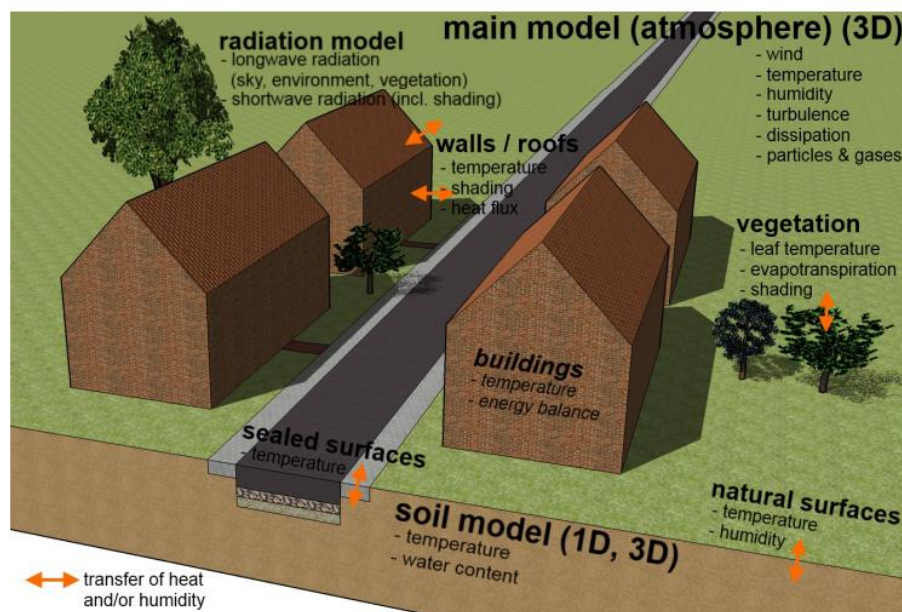
Εικόνα 13 Αεροφωτογραφία που δείχνει και το εξωτερικό περιβάλλον γύρω από τις εστίες (Πηγή www.tuc.gr)

Εκτός από τα κτίρια των εστιών στις παραπάνω φωτογραφίες φαίνεται και το εξωτερικό περιβάλλον το οποίο αποτελείται από μεγάλο τμήμα εδάφους στο οποίο υπάρχει χώμα και είναι πολύ καλή επιλογή για την τοποθέτηση χώρων πρασίνου, δεδομένου της μεγάλης έκτασής του. Επιπλέον υπάρχει και ο χώρος στάθμευσης των οχημάτων καθώς και ο δρόμος, τα οποία σημεία αποτελούνται από ασφαλτό. Φαίνεται επίσης και η περιοχή των πεζοδρομίων και των χώρων ανάμεσα στα κτίρια στους οποίους κοινούνται οι φοιτητές. Τα πεζοδρόμια αυτά αποτελούνται κυρίως από σκυρόδεμα. Ο χώρος μελέτης αποτελείται από τα τρία συκροτήματα καθώς και τον περιβάλλοντα χώρο καθώς σε αυτόν θα γίνουν οι παρεμβάσεις που έχουν συζητηθεί.

3.2 Προσομοίωση με το λογισμικό ENVI-met

3.2.1 Μαθηματικά μοντέλα του προγράμματος

Για την υλοποίηση της παρακάτω διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε σε όλη την διάρκειά της το λογισμικό ρευστομηχανικής θερμοδυναμικής ENVI-met (Environmental-meteorology). Το παραπάνω λογισμικό χρησιμοποιείται παγκοσμίως για περιβαλλοντική ανάλυση και πολεοδομικό σχεδιασμό και με τις διάφορες διαδραστικές ενότητες του μπορούμε να καθορίσουμε διάφορους τύπους επιφανειών και οικοδομικά υλικά, καθώς και βλάστηση σε τοίχους και στέγες, ώστε να αναλυθούν επιστημονικά οι επιπτώσεις των μέτρων σχεδιασμού στο τοπικό περιβάλλον. Σε γενικές γραμμές, το λογισμικό μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε βιώσιμες συνθήκες διαβίωσης σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον ή αλλιώς, σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Για να γίνει αυτό, το ENVI-met χρησιμοποιεί διάφορα μοντέλα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 14 Σχηματική απεικόνιση των υπομοντέλων του ENVI-met (Πηγή [17])

Το βασικό μοντέλο (ατμοσφαιρικό) περιλαμβάνει μεταβλητές που θα αναλυθούν παρακάτω όπως την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, την θερμοκρασία του αέρα αλλά και την επιφανειακή θερμοκρασία αλλά και την υγρασία. Για τον υπολογισμό της **ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου**, το λογισμικό χρησιμοποιεί τις τρισδιάστατες μη υδροστατικές εξισώσεις Navier-Stokes:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u * \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(Km \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Km \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(Km \frac{\partial u}{\partial z} \right) + f(v - v_g) - Su(x, y, z) \quad [1]$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u * \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(Km \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Km \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(Km \frac{\partial v}{\partial z} \right) + f(u - u_g) - Sv(x, y, z) \quad [2]$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u * \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(Km \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Km \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(Km \frac{\partial w}{\partial z} \right) - Sw(x, y, z) \quad [3]$$

Το p' είναι η τοπική μεταβολή της πίεσης και Km ο τοπικός συντελεστής μεταβολής. Su , Sv και Sw είναι τοπικοί όροι πηγής/καταβόθρας που διαμορφώνουν την αντίσταση του ανέμου των ημιπερατών εμποδίων, δηλαδή της βλάστησης.

Η **δυναμική θερμοκρασία** μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση της συνδυασμένης εξίσωσης μεταφοράς-διάχυσης:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + ui * \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2 i} = Kh \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2 i} + \frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial Rlw}{\partial z} + Q\theta \quad [4]$$

Το $Q\theta$ είναι μια παράμετρος που περιγράφει την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στον αέρα και στην βλάστηση και το Kh είναι ο συντελεστής τυρβώδους ανταλλαγής θερμότητας. Ο όρος $\frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial Rlw}{\partial z}$ περιγράφει την μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα λόγω της απόκλισης της ακτινοβολίας μεγάλων κυμάτων.

Για την **υγρασία**, η εξίσωση μεταφοράς διάχυσης μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + ui * \frac{\partial^2 q}{\partial x^2 i} = Kq \frac{\partial^2 q}{\partial x^2 i} + Qq \quad [5]$$

Το Qq ορίζει την ανταλλαγή υγρασίας μεταξύ αέρα και βλάστησης ενώ το Kq είναι ο συντελεστής τυρβώδους ανταλλαγής θερμοκρασίας.

Για τον υπολογισμό της **επιφανειακής θερμοκρασίας**, πρέπει να λυθεί το ισοζύγιο ενέργειας στο επίπεδο του εδάφους:

$$0 = R_{sw,net} + R_{lw,net} - c_p \rho J_h^0 - \rho L * J_v^0 - G \quad [6]$$

Το $R_{sw,net}$ και το $R_{lw,net}$ είναι οι φυσικές πηγές ενέργειας ακτινοβολίας ενώ το J_h και J_v είναι οι τυρβώδεις πηγές θερμότητας και υδρατμών. Το G είναι η φυσική ροή θερμότητας του εδάφους. [18]

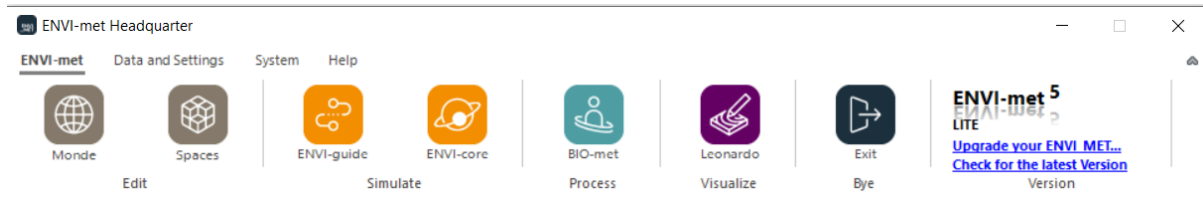
Όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου, βασίζεται στους θεμελιώδεις νόμους της μηχανικής των ρευστών και της θερμοδυναμικής, ενώ στην προσομοίωση περιλαμβάνει:

- Τη ροή ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους κύματος, λαμβάνοντας υπόψη και τη σκίαση.
- Την ανάκλαση ακτινοβολίας και την ακτινοβολία από τα κτίρια και τη βλάστηση.
- Τη διαπνοή, την εξάτμιση και την αισθητή ροή θερμότητας από τη βλάστηση στον αέρα, με πλήρη προσομοίωση όλων των φυσικών παραμέτρων των φυτών όπως, για παράδειγμα, ο ρυθμός φωτοσύνθεσης.
- Την επιφανειακή θερμοκρασία και αυτήν των τοίχων, για κάθε σημείο στον κάναβο και κάθε τοίχο.

Το λογισμικό βασίζεται σε ένα ολιστικό, τρισδιάστατο μοντέλο μικροκλίματος. Προσομοιώνει τις κλιματολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιφανειών, των φυτών και της ατμόσφαιρας. Εκτός από τη δημιουργία υπολογισμών μικροκλίματος με ακρίβεια έως και ένα τετραγωνικό μέτρο, το ENVI-met αναλύει επίσης τις επιπτώσεις των μέτρων σχεδιασμού στο αστικό κλίμα, όπως για παράδειγμα την άνοδο ή την κάθοδο της θερμοκρασίας μετά από κάποιες παρεμβάσεις. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται σε οριζόντια ανάλυση και σε χρονικό πλαίσιο συνήθως μεταξύ 24 ωρών και μερικών ημερών. Το αποτέλεσμα θα είναι ένας φιλικός προς το κλίμα αστικός σχεδιασμός για βιώσιμες πόλεις στο μέλλον, ενώ θα μας δώσει και την δυνατότητα να καταλάβουμε πως λειτουργεί ένας χώρος μελέτης σαν ένα κομμάτι αστικού μέρους.

3.2.2 Περιγραφή του προγράμματος και των εφαρμογών του

Για να δημιουργηθούν τα διάφορα μοντέλα προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε η έκδοση Envi-met V5.1 Summer 2022. Η παρπάνω έκδοση διατίθεται δωρεάν αλλά με κάποιες περιορισμένες δυνατότητες οι οποίες θα αναλυθούν και παρακάτω. Το αρχικό παράθυρο του λογισμικού είναι το **Envi-met Headquarter** όπου ανοίγοντάς το εμφανίζονται όλες οι εφαρμογές του λογισμικού.



Εικόνα 15 Αρχικό παράθυρο του λογισμικού (Πηγή Προσωπική Εργασία)

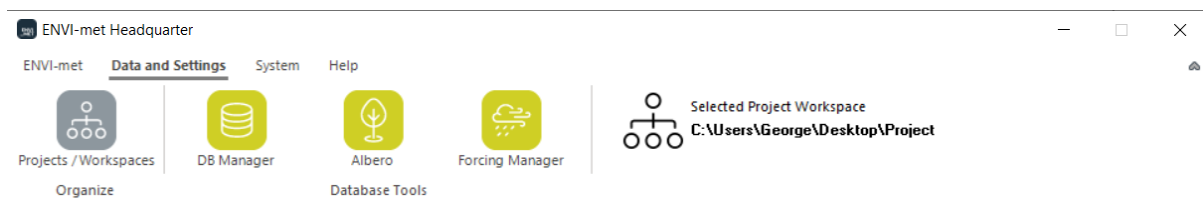
Στο αρχικό παράθυρο του λογισμικού υπάρχει πρώτα το **Envi-met Edit** όπου περιέχει το **Monde** και το **Spaces**. Η εφαρμογή **Monde** είναι μια πρόσφατη προσθήκη στο λογισμικό και δίνει την δυνατότητα διανυσματικής σχεδίασης διευκολύνοντας έτσι την δημιουργία μοντέλων.

Στην εφαρμογή **Spaces** την οποία θα χρησιμοποιήσουμε, γίνεται η εισαγωγή της περιοχής ενδιαφέροντος και στην συνέχεια ο σχεδιασμός της. Αποτελείται από υπολογιστικά κελιά x, y και z (x-Grids, y-Grids, z-Grids), όπου μπορούμε και επίσης να καθορίσουμε τον αριθμό τους. Εκτός από αυτό, μπορεί να καθοριστεί και ο αριθμός των ζωνών που περιβάλλουν το μοντέλο (Nr of nesting grids) αλλά και οι διαστάσεις των υπολογιστικών κελιών dx, dy, dz. Επιπλέον ορίζεται και ο προσανατολισμός του μοντέλου και η γωνία του σε σχέση με τον Βορρά (Model rotation out of grid North) όπως και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής μελέτης.

Συνεχίζοντας τις εφαρμογές, υπάρχει το **Envi-met Simulate** το οποίο περιέχει το **Envi-guide** και **Envi-core**. Είναι οι δύο κύριες εφαρμογές του προγράμματος που τρέχουν την προσομοίωση.

Στο **Envi-met Process** περιέχεται το **Bio-met** όπου υπολογίζει διάφορους δείκτες θερμικής άνεσης.

Τέλος στο **Visualize**, μέσω της εφαρμογής του **Leonardo** γίνεται η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων των διαφόρων χαρτών που έχουμε φτιάξει.



Εικόνα 16 Αρχικό παράθυρο λογισμικού Data and Settings (Πηγή προσωπική εργασία)

Η επιλογή **Data and Settings** στο Headquarters έχει τις παρακάτω εφαρμογές:

Το κεφάλαιο **Organize** που περιέχει την εφαρμογή **Projects/Workspaces** όπου είναι ο χώρος που δημιουργούνται οι φάκελοι και οι χώροι αποθήκευσης των καινούργιων Projects

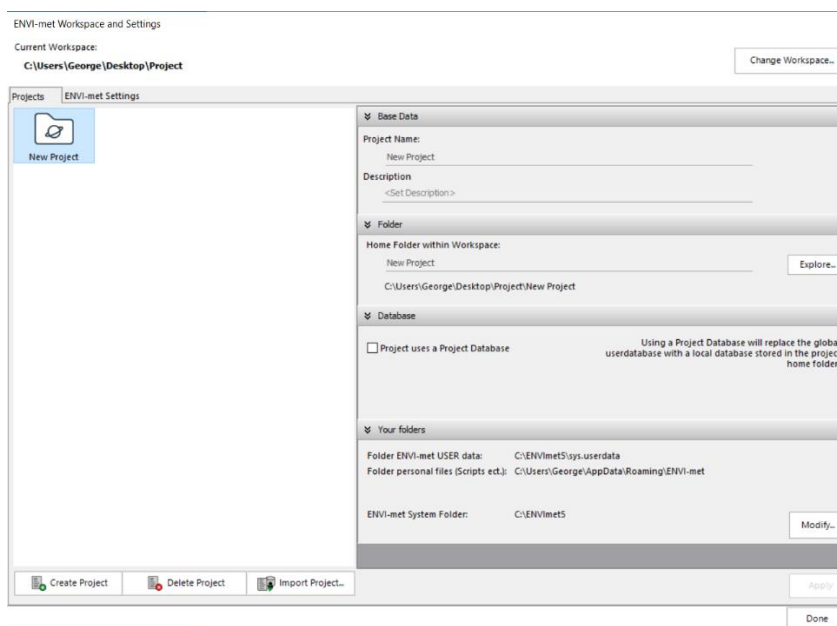
Τις εφαρμογές **DB Manager**, **Albero** και **Forcing Manager** του **Database Tools** όπου στο DB Manager δημιουργούνται ή τροποποιούνται οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση του μοντέλου. Επίσης στο DB Manager περιέχονται τύποι εδαφών, φυτών, τοίχοι και υλικά. Στην εφαρμογή Forcing Manager εισάγουμε τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Στο Albero μπορούμε να δημιουργήσουμε και να τροποποιήσουμε τρισδιάστατα φυτά.

3.3 Μοντελοποίηση της περιοχής

Οι προσομοιώσεις που εφαρμόστηκαν στο ENVI-met είναι τέσσερις στο σύνολο. Η πρώτη προσομοίωση αφορά την παρούσα κατάσταση για μια καλοκαιρινή μέρα όπου η θερμοκρασία θα είναι υψηλή. Σαν καλοκαιρινή μέρα θα επιλεγθεί στις 15 Ιούλη (15/7/22). Η δεύτερη θα αφορά την προσομείωση στις 15 Ιούλη αλλά θα έχουν εφαρμοστεί τα σενάρια παρέμβασης (ψυχρά υλικά, πράσινο) τα οποία θα αναλυθούν και στην συνέχεια.

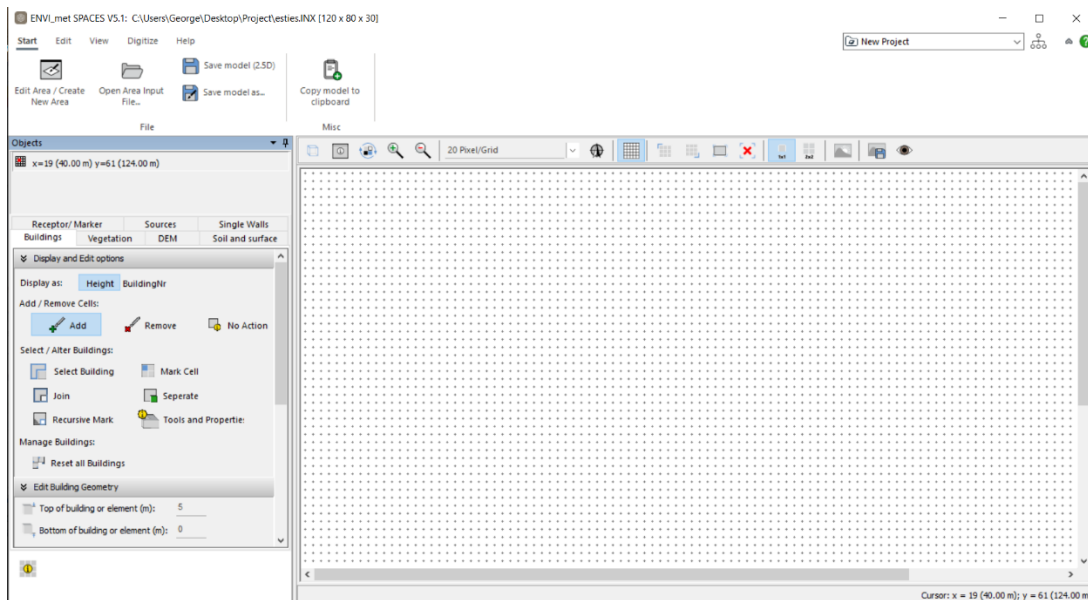
3.3.1 Σχεδιασμός μοντέλου

Πριν γίνουν όλα αυτά θα πρέπει πρώτα να σχεδιαστεί το μοντέλο στο οποίο θα γίνουν οι προσομοιώσεις, δηλαδή όλος ο χώρος των εστιών. Ανοίγοντας λοιπόν την εφαρμογή Projects/Workspaces στο Data and Settings, δημιουργούμε έναν νέο φάκελο 'New Project' έτσι ώστε να έχουμε έναν χώρο όπου θα αποθηκεύονται τα διάφορα αρχεία της προσομοίωσης.

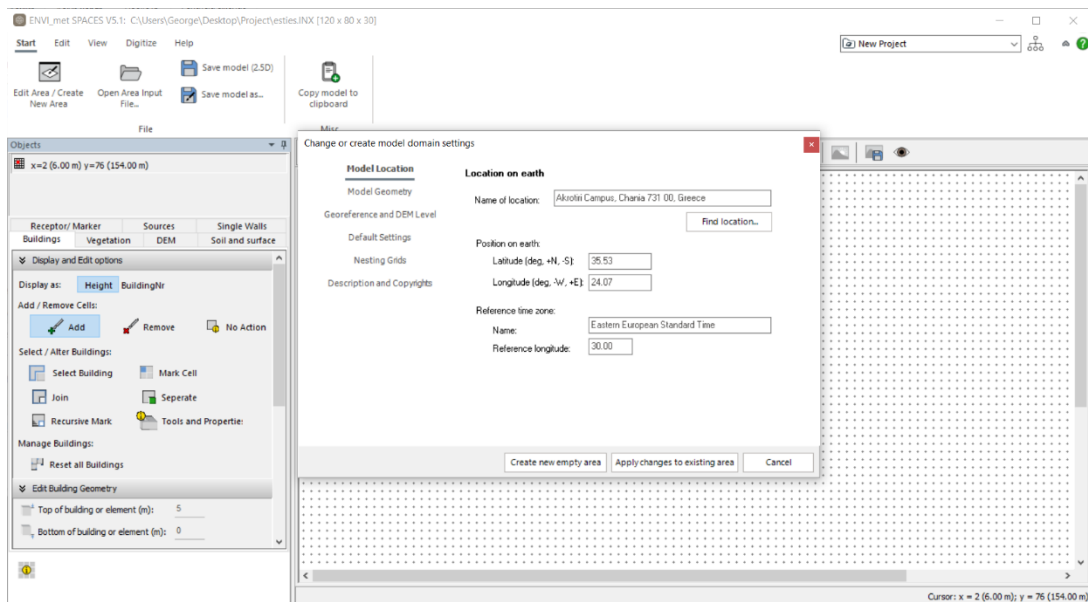


Εικόνα 17 Δημιουργία νέου αρχείου αποθήκευσης στο Projects/Workspaces (Πηγή προσωπική εργασία)

Αφού δημιουργήσουμε το αρχείο αποθήκευσης ανοίγουμε την εφαρμογή Spaces ώστε να μοντελοποιήσουμε τρισδιάστατα τον χώρο μελέτης μας. Το πρώτο βήμα είναι να γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις του χώρου σχεδιασμού όπως είναι η τοποθεσία και η γεωμετρία του μοντέλου. Επιλέγουμε λοιπόν το εικονίδιο Edit Area/Create New Area και στην πρώτη ενότητα που αναφέρεται στην τοποθεσία του μοντέλου, εισάγουμε τα δεδομένα μας. Η τοποθεσία του χώρου μελέτης είναι η Πολυτεχνειούπολη που βρίσκεται στο Ακρωτήριο του Νομού Χανίων (Akrotiri Campus, Chania 731 00, Greece).



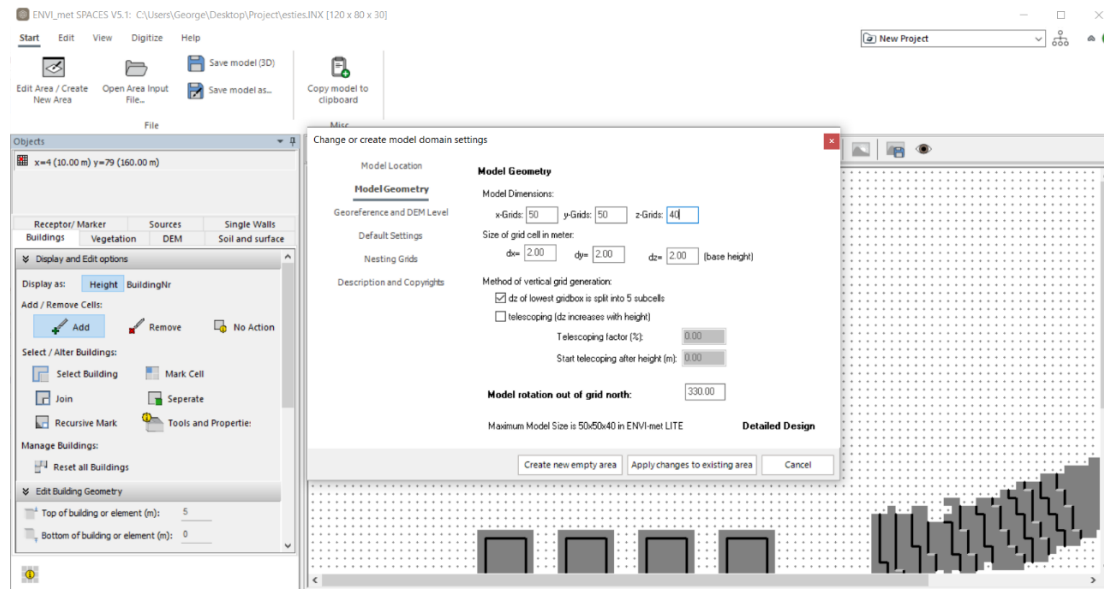
Εικόνα 18 Αρχική σελίδα της εφαρμογής Spaces (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 19 Ρύθμιση της τοποθεσίας του μοντέλου (Πηγή προσωπική εργασία)

Αφού ρυθμίσουμε την τοποθεσία του μοντέλου σειρά έχει και η γεωμετρία του. Στην ενότητα Model Geometry θα ρυθμίσουμε τις διαστάσεις του μοντέλου αλλά και θα καθορίσουμε την γωνία περιστροφής του μοντέλου σε σχέση με τον βορρά. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω

επειδή το Envi-met είναι στην Lite έκδοση, έχουμε περιορισμένες δυνατότητες και μια από αυτές είναι τα όρια στις διαστάσεις του μοντέλου. Στην Lite έκδοση είναι 50x50x40 οπότε θα περιοριστούμε σε αυτές. Επίσης στην γωνία περιστροφής (Model rotation out of grid north) θα βάλουμε 330°. Στο Default Settings έχουμε την δυνατότητα προεπιλογής του υλικού των τοίχων και των οροφών όπου στην περιοχή μελέτης τα υλικά των οικοδομών είναι συμβατικά υλικά από οπλισμένο σκυρόδεμα.



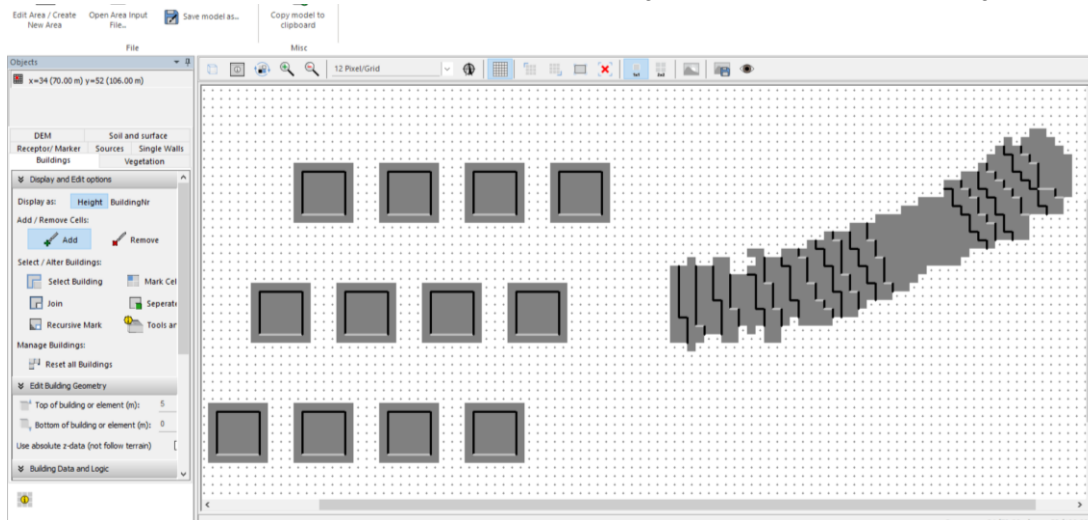
Εικόνα 20 Ρύθμιση της γεωμετρίας του μοντέλου (Πηγή προσωπική εργασία)

Το επόμενο βήμα στον σχεδιασμό είναι να αποτυπωθούν τα κτίρια με οδηγό μια φωτογραφία από την περιοχή των εσίων όπως έχει παρθεί από τους χάρτες. Στο εικονίδιο Digitize επιλέγουμε το Select Bitmap όπου εισάγουμε την κάτοψη της περιοχής μελέτης σε μορφή εικόνας graphic (bmp). Η εικόνα αυτή είναι μια αεροφωτογραφία της περιοχής και πάρθηκε από το διαδίκτυο στο Google Maps όπου φαίνεται όλο το οικοδομικό τετράγωνο με τα συγκροτήματα των κτιρίων και το εξωτερικό περιβάλλον. Η αεροφωτογραφία δεν είναι τόσο πρόσφατη με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ολοκληρωμένες οι εστίες, παρόλα αυτά δεν υπήρχε πρόβλημα στην μοντελοποίηση της περιοχής.



Εικόνα 21 Επιλογή αερογωτογραφίας για κάτοψη και οδηγό (Πηγή Google Maps)

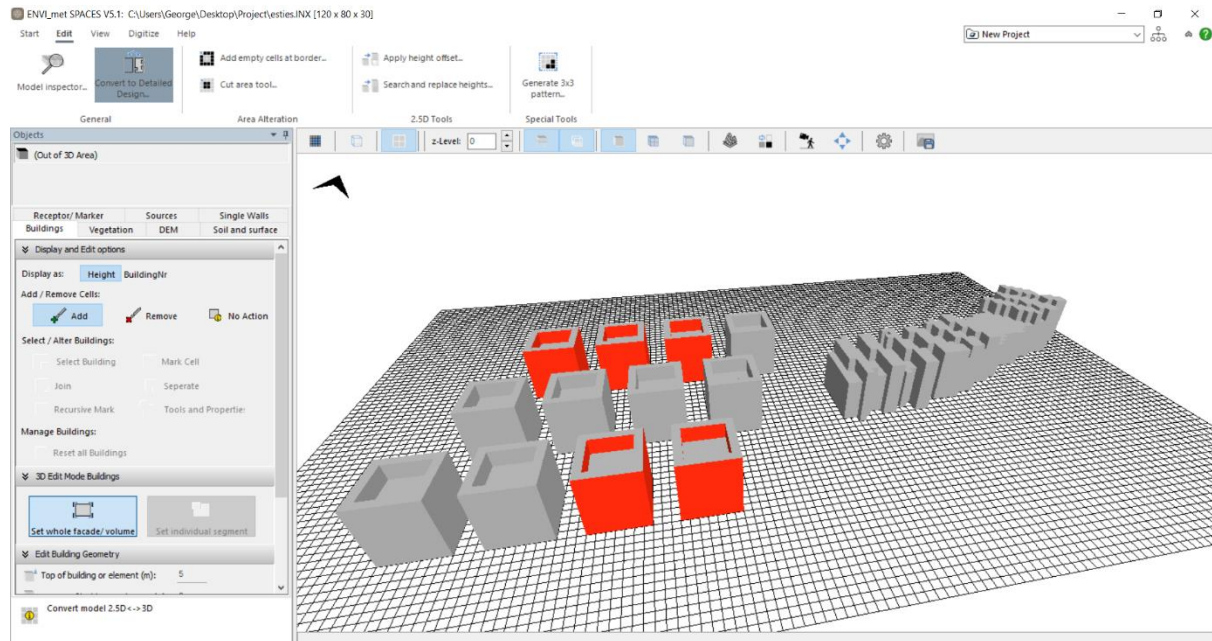
Αφού ολοκληρώθηκαν οι ρυθμίσεις της τοποθεσίας και της γεωμετρίας, έρχεται το κομμάτι του σχεδιασμού. Στην αρχική σελίδα του Spaces στην επιλογή Buildings, ρυθμίζουμε το ύψος του κτιρίου από την στάθμη του εδάφους. Ως τυπικό ύψος θεωρήσαμε τα 15 μέτρα και το εσωτερικό τμήμα στα 12 μέτρα για τα συγκροτήματα της Β και Γ φάσης ενώ για την Α φάση τα ψηλότερα τμήματα είναι στα 15 μέτρα ενώ τα υπόλοιπα στα 12. Με αυτόν τον τρόπο έγινε η αποτύπωση των κτηρίων με βάση την κάτοψη της παραπάνω φωτογραφίας.



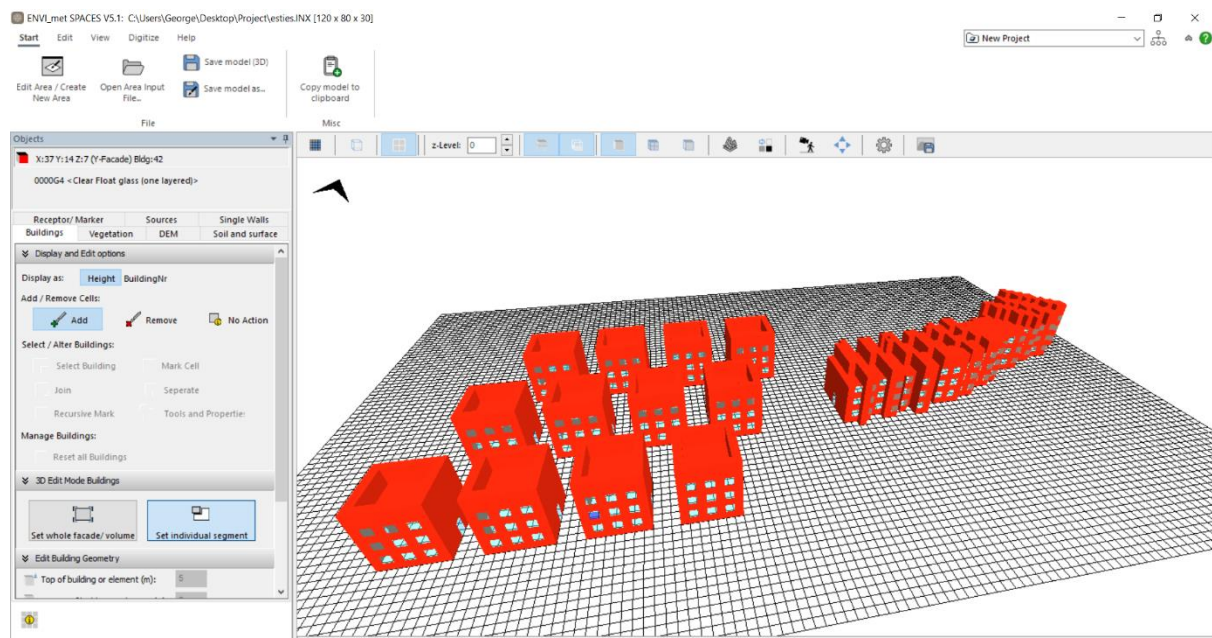
Εικόνα 22 Αποτύπωση των κτιρίων στο Buildings του Spaces (Πηγή προσωπική εργασία)

Παρακάτω στο Buildings στην επιλογή Materials επιλέγουμε το υλικό των επιφανειών των κτιρίων. Υπάρχουν πάρα πολλές επιλογές υλικών για τις επιφάνειες. Μπορεί κάποιος να επιλέξει επιφάνειες από σκυρόδεμα (concrete wall), αλουμίνια, χαλκό (copper), σίδηρο, ως και τοίχοι από τζάμι. Στο μοντέλο μας επιλέξαμε το Brick Wall και το εφαρμόσαμε σε όλα τα συγκροτήματα. Επιπλέον για να τοποθετηθούν και τα τζάμια στα ανοίγματα των συγκροτημάτων επιλέξαμε το υλικό Clear Float Glass (one layer) όπου είναι και το τυπικό υλικό γυαλιών που τοποθετούνται στα κτίρια. Τα υλικά εφαρμόζονται μέσω της επιλογής Set Individual Segment αφού πρώτα στην καρτέλα Edit επιλέξουμε το Convert to Detailed Design,

ώστε να μετατρέψει το δισδιάστατο (2D) μοντέλο που δημιουργήσαμε σε τρισδιάστατη μορφή (3D).



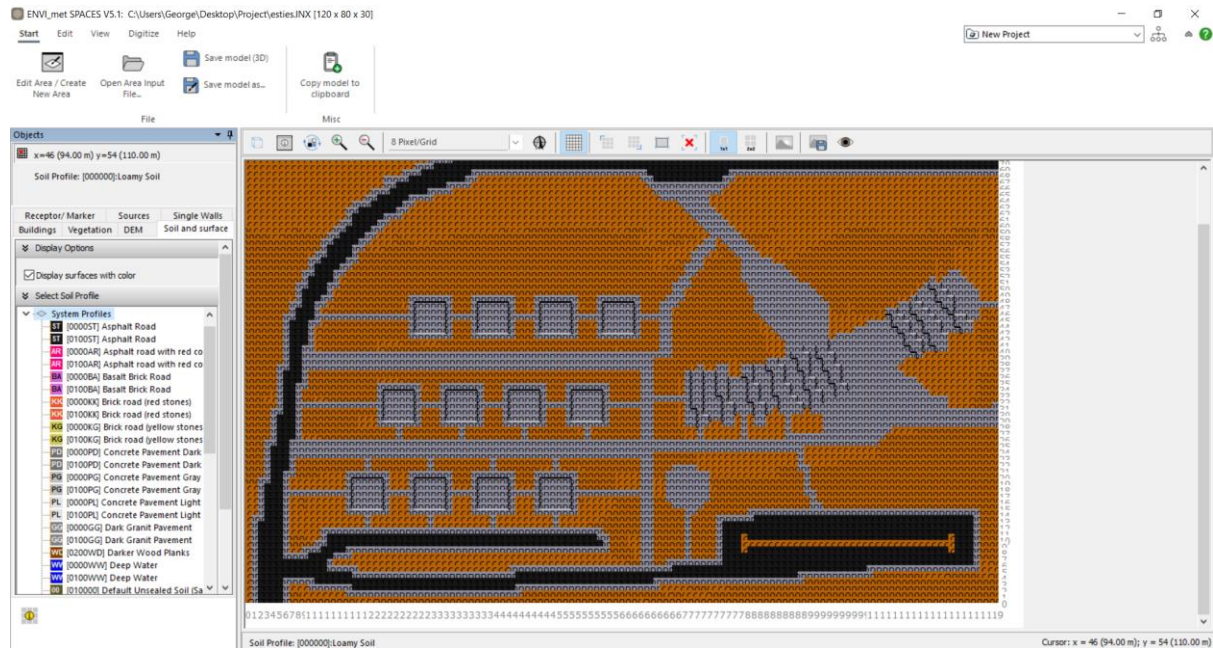
Εικόνα 23 Μετατροπή του μοντέλου από δισδιάστατη σε τρισδιάστατη μορφή (Πηγή προσωπική εργασία)



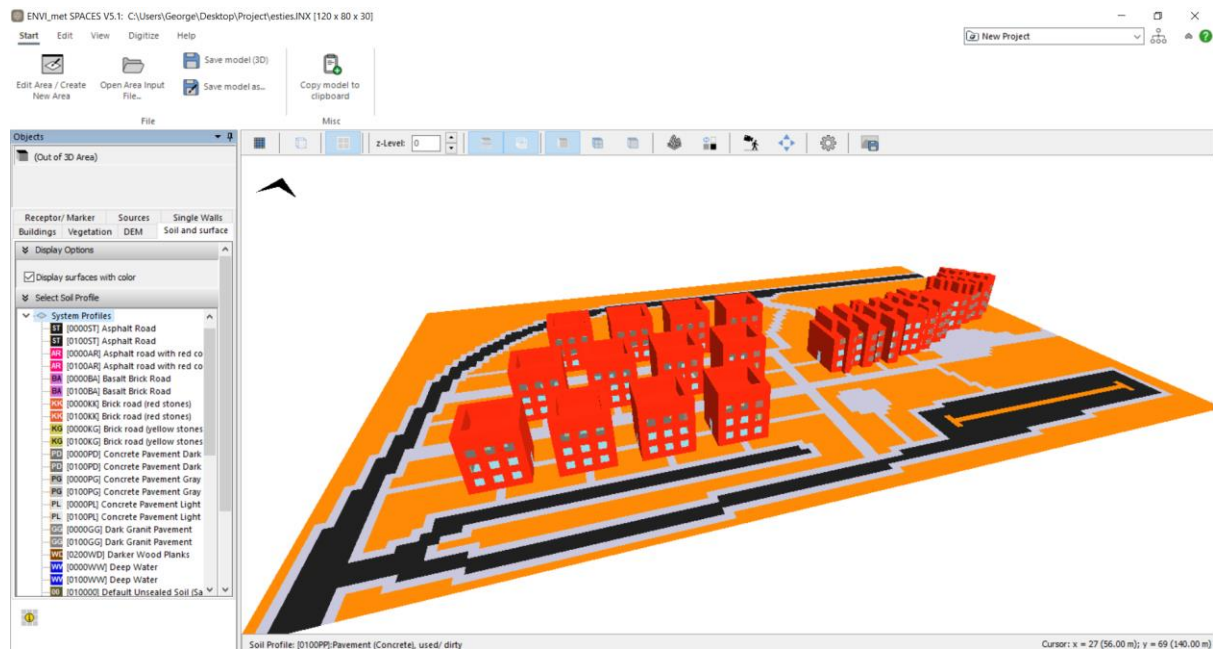
Εικόνα 24 Τοποθέτηση υλικών στην επιφάνεια των κτιρίων (Πηγή προσωπική εργασία)

Με την επιλογή Soils and Surface ρυθμίζεται ο τύπος εδάφους που επιθυμούμε. Καθώς το μεγαλύτερο τμήμα στον χώρο μελέτης είναι αργιλώδες έδαφος και το τυπικό έδαφος που υπάρχει στο πρόγραμμα είναι επίσης το αργιλώδες έδαφος, δεν χρειάζεται μεγάλη αλλαγή. Εκτός όμως από το αργιλώδες έδαφος ο χώρος μελέτης περιλαμβάνει ασφαλτο και πεζοδρόμιο. Έτσι όπως και με την δημιουργία των κτιρίων, αντίστοιχα θα κάνουμε και με το έδαφος όπου και θα το αποτυπώσουμε σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Για τους δρόμους θα επιλέξουμε ασφαλτο ενώ για τα πεζοδρόμια θα χρησιμοποιήσουμε το πεζοδρόμιο από

τσιμέντο αλλά θα διαλέξουμε πεζοδρόμιο που είναι ήδη σε χρήση ώστε να έχουμε καλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα (Pavement(Concrete) Used/Dirty).



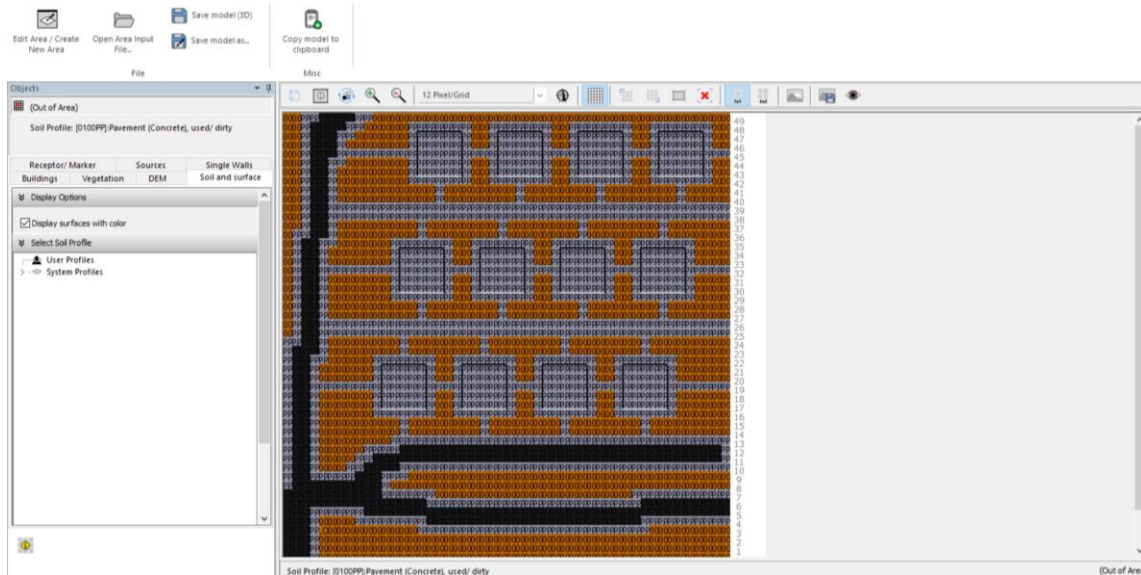
Εικόνα 25 Εφαρμογή του εδάφους στο Soil and Surface (Πηγή προσωπική εργασία)



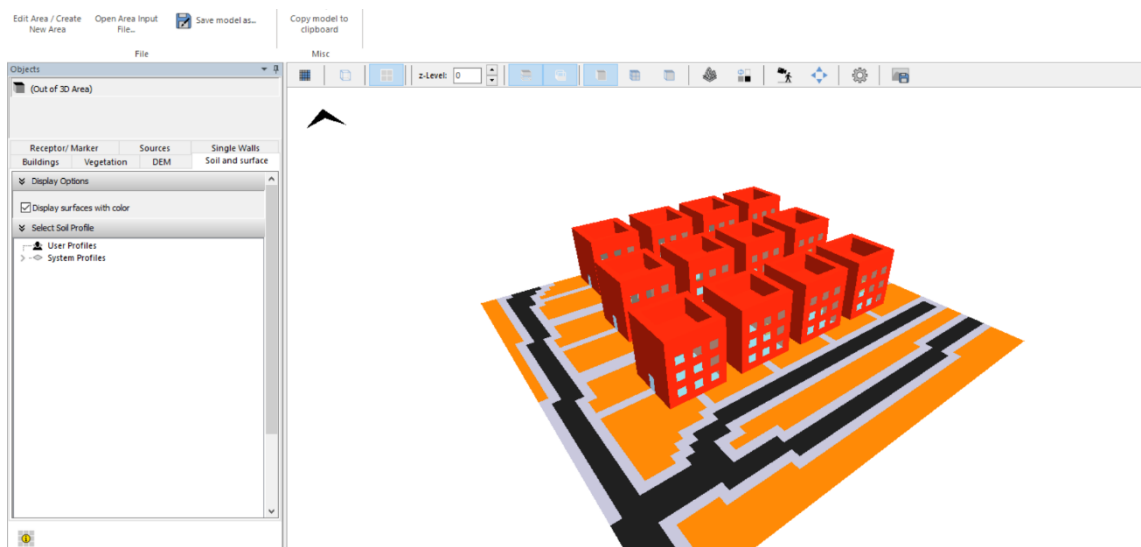
Εικόνα 26 Τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση του μοντέλου (Πηγή προσωπική εργασία)

Με την ενότητα Vegetation εντοπίζονται και τοποθετούνται δέντρα τα οποία χρειάζονται και γενικότερα βλάστηση(θάμνοι, γρασίδι). Η περιοχή μελέτης δεν έχει και ιδιαίτερη βλάστηση, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας και ανεβάζοντας την θερμοκρασία του μικροκλίματος. Το κεφάλαιο της τοποθέτησης πρασίνου θα αναλυθεί παρακάτω. Εφόσον η μοντελοποίηση τελείωσε το αρχείο μας θα αποθηκευτεί ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της προσομείωσης. Επισημαίνεται ότι το Envi-met είναι σχεδιασμένο

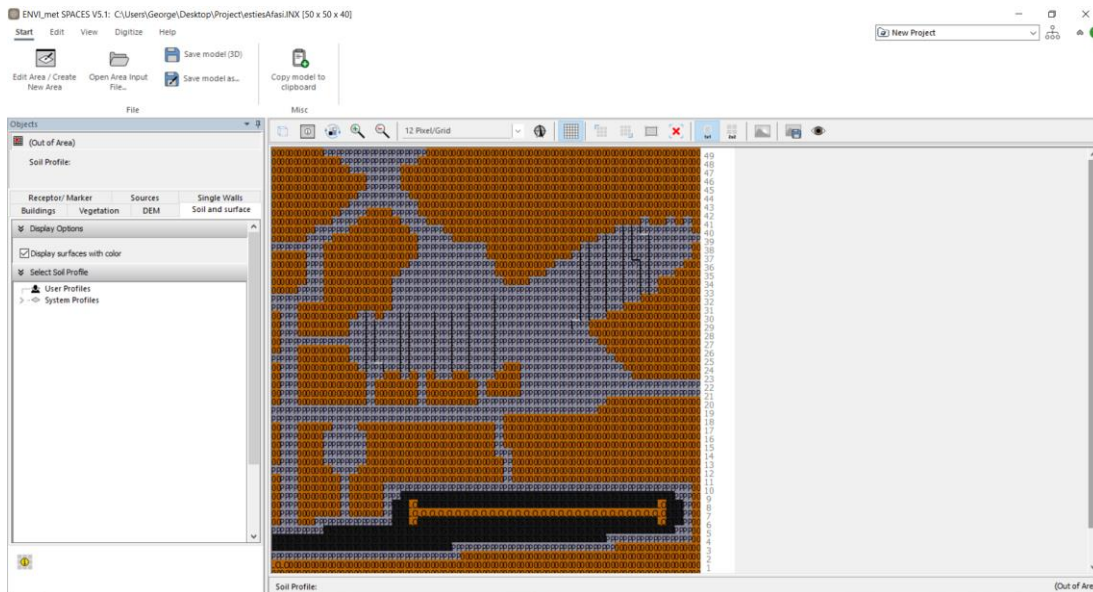
για προσομοιώσεις σε μικρή κλίμακα. Ως ένα C.F.D. μοντέλο, έχει υψηλές απαιτήσεις από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του υπολογιστή (Central Processing Unit - C.P.U.) και γι' αυτό οι προς προσομοίωση περιοχές και οι χρόνοι πρέπει να είναι περιορισμένοι. Επιπλέον λόγω της χρήσης της Lite έκδοσης, επιτρέπεται η προσομοίωση σε συγκεκριμένες διαστάσεις. Το αρχικό μας μοντέλο έχει διαστάσεις 120x80x30 οπότε δεν θα είναι δυνατή η προσομοίωση ολόκληρου του μοντέλου. Για αυτόν τον λόγο το μοντέλο θα χωριστεί σε δυο τμήματα. Το πρώτο τμήμα θα αφορά το συγκρότημα των Β' και Γ' φάσεων καθώς και τον περιβάλλοντα χώρο. Το δεύτερο τμήμα θα αφορά το συγκρότημα της Α' φάσης καθώς επίσης και το εξωτερικό περιβάλλον.



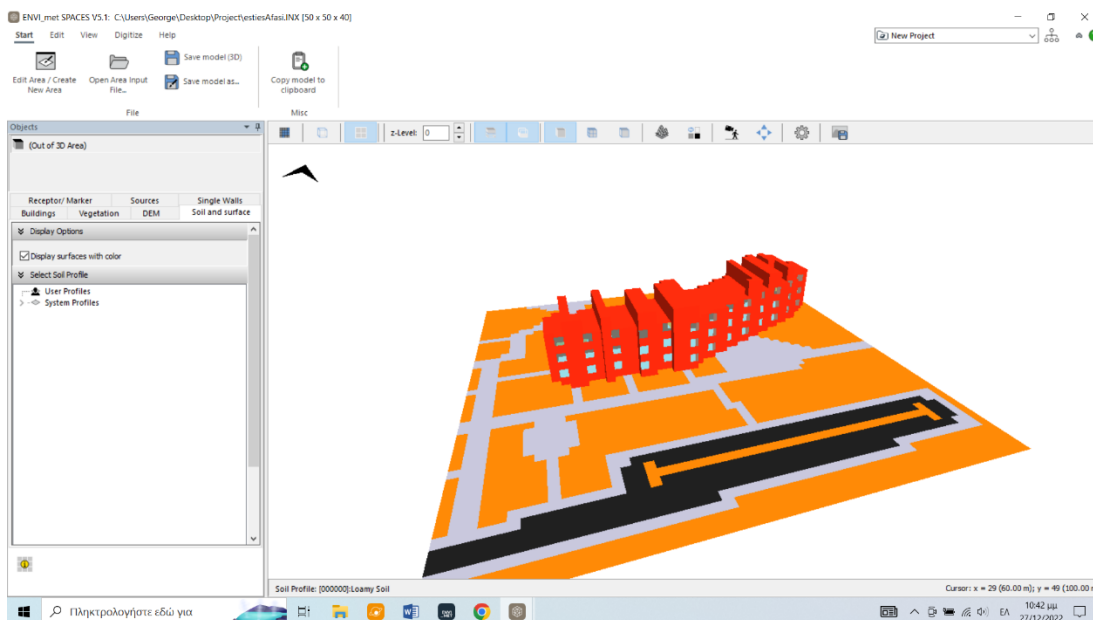
Εικόνα 27 Δισδιάστατη απεικόνιση του 1^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 28 Τρισδιάστατη απεικόνιση του 1^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 29 Δισδιάστατη απεικόνιση του 2^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία)



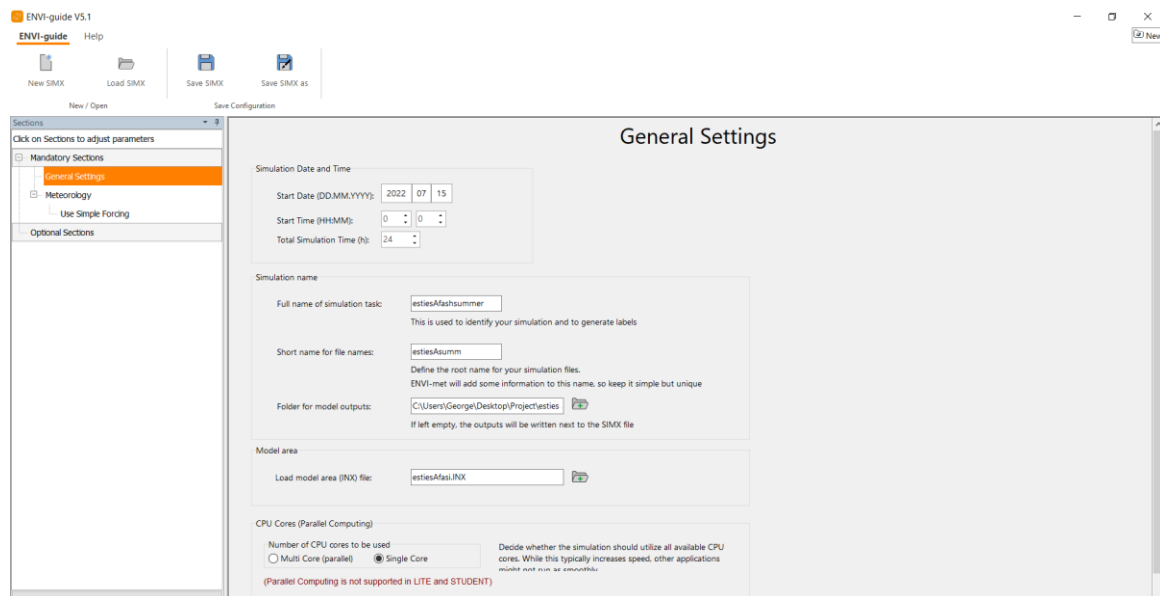
Εικόνα 30 Τρισδιάστατη απεικόνιση του 2^{ου} τμήματος (Πηγή προσωπική εργασία)

3.3.2 Προσομοίωση του αρχείου

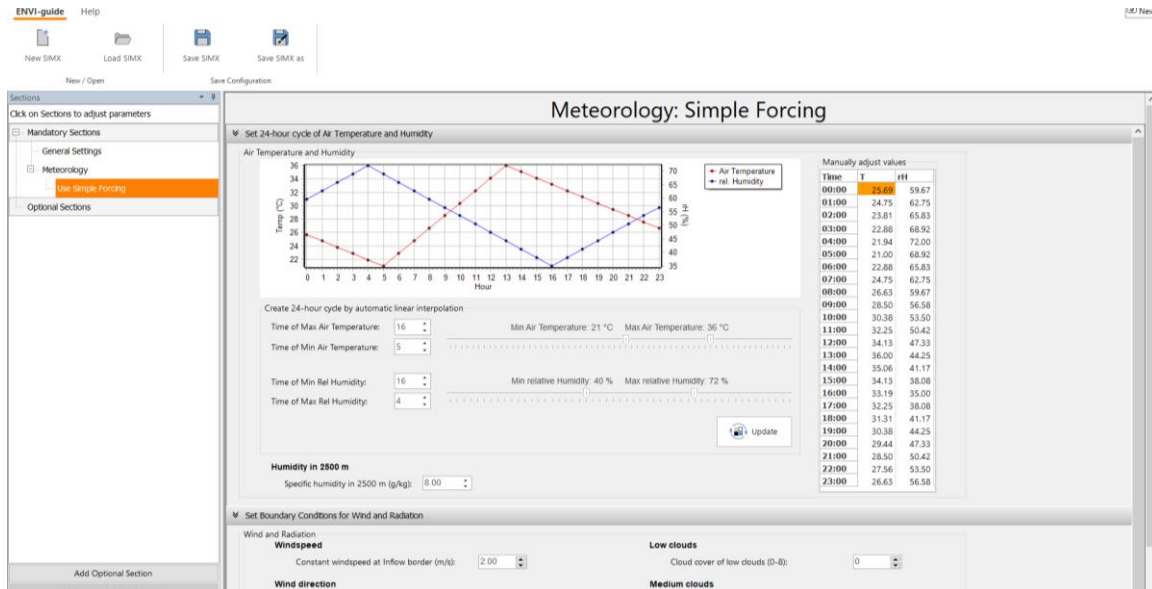
Εφόσον χωρίσαμε το μοντέλο στις επιτρεπόμενες διαστάσεις μεταφερόμαστε στο αρχικό μενού ENVI-met Headquarter όπου στο κεφάλαιο Simulate επιλέγουμε το ENVI-guide. Το ENVI-guide είναι η εφαρμογή με την οποία θα δημιουργήσουμε το αρχείο προσομοίωσης. Με το που ανοίγουμε την εφαρμογή βλέπουμε την αρχική σελίδα με τις γενικές ρυθμίσεις. Το

πρώτο πράγμα που θα οριστεί είναι η ημερομηνία προσομείωσης. Ως ημερομηνία προσομείωσης επιλέγεται η 15/7/22. Στην συνέχεια επιλέγουμε ώρα έναρξης που είναι στις 00:00 ενώ η διάρκεια προσομείωσης θα είναι 24ωρη. Αφού ονομάσουμε το αρχείο και δημιουργήσουμε και φάκελο αποθήκευσης των στοιχείων, το μόνο που μένει είναι να ρυθμίσουμε τα δεδομένα θερμοκρασίας. Στο κεφάλαιο Meteorology υπάρχουν δύο επιλογές, η απλή χρήση και η πλήρης χρήση. Για την εκπόνηση της διπλωματικής επιλέχθηκε η απλή χρήση καθώς μπορούν να επεξεργαστούν και από τον χρήστη τα δεδομένα καιρού. Όπως πάρθηκαν από την σελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), για την καλοκαιρινή μέρα η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι στους 21°C ενώ η μέγιστη φτάνει στους 36°C. Επίσης ρυθμίστηκε και η σχετική υγρασία στα ανάλογα κλιματικά δεδομένα με την ελάχιστη και μέγιστη σχετική υγρασία την θερινή μέρα να είναι στο 40%-75% αντίστοιχα. Αφού ρυθμίστηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα το αρχείο .sim είναι έτοιμο για αποθήκευση.

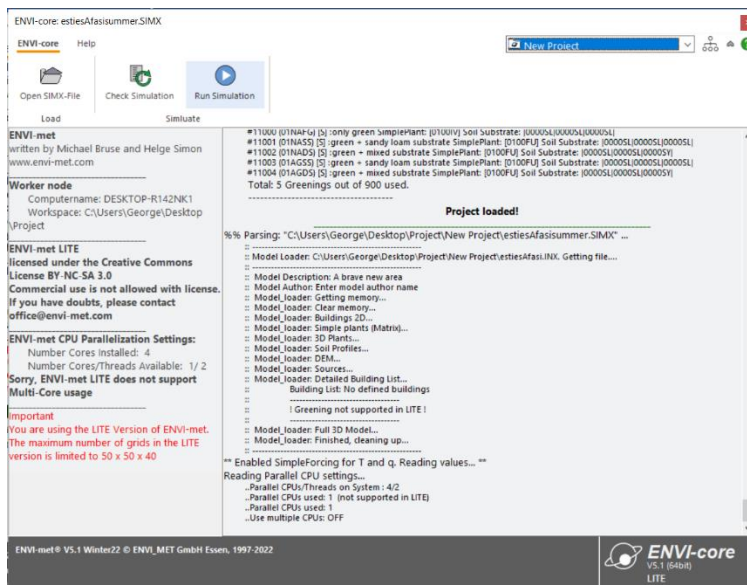
Με την εφαρμογή ENVI-core, θα εισάγουμε το αρχείο .sim που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα και επιλέγουμε το 'Run Simulation' ώστε να ξεκινήσει η προσομείωση. Η προσομείωση ξεκινάει από τις 00:00 και θα κρατήσει 24 ώρες, παρόλα αυτά σε πραγματικό χρόνο μπορεί να διαρκέσει από 1 έως και 3 μέρες ανάλογα τα δεδομένα του μοντέλου που έχει να επεξεργαστεί το ENVI-core.



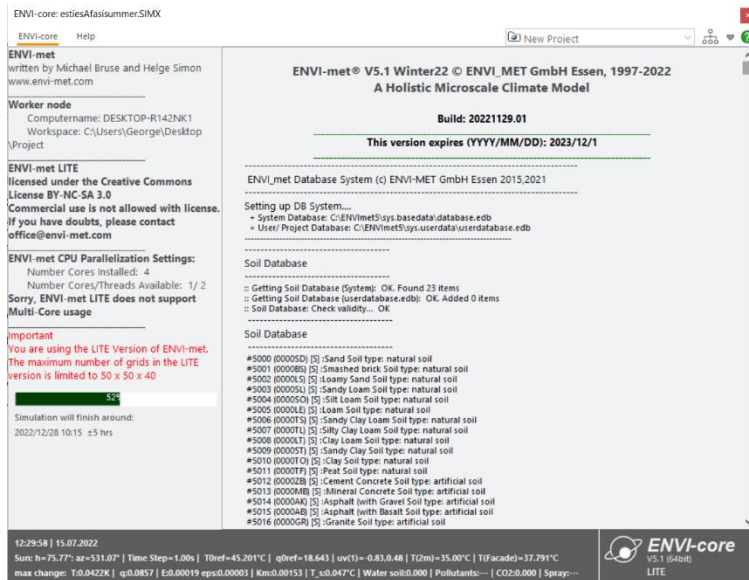
Εικόνα 31 Οι γενικές ρυθμίσεις στο ENVI-guide για τις 15/7/22 (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 32 Οι ρυθμίσεις μετεωρολογικών δεδομένων στις 15/7/22 (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 33 Αρχική σελίδα του ENVI-core με το αρχείο έτοιμο για προσομείωση (Πηγή προσωπική εργασία)



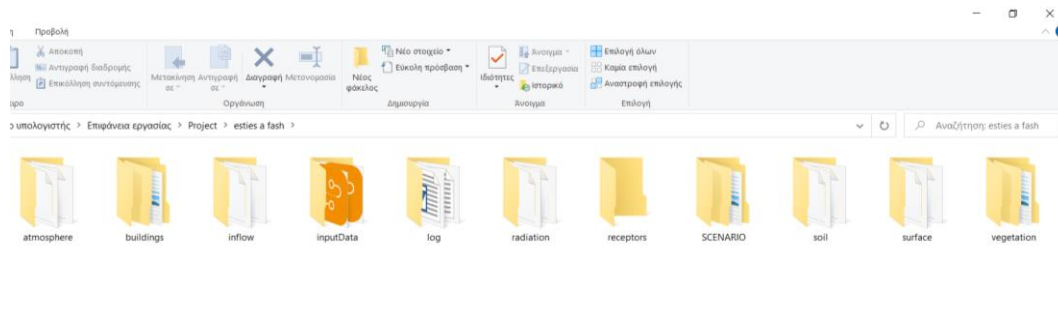
Εικόνα 34 Η διαδικασία της προσομοίωσης (Πηγή προσωπική εργασία)

3.3.3 Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων

Το επόμενο βήμα μετά την προσομοίωση θα είναι η εμφάνιση των αποτελεσμάτων. Το λογισμικό Leonardo του ENVI-met είναι το εργαλείο που θα εμφανίσει τα αποτελέσματα σε μορφή διαγράμματος και έτσι θα είναι πιο εύκολο να αναλυθούν και τα αποτελέσματα καθώς θα έχουμε μια εικόνα του χώρου μελέτης. Θα έχουμε μια σειρά αποτελεσμάτων που αφορούν την υπάρχουσα κατάσταση για τις δυο διαφορετικές ημερομηνίες. Τα στοιχεία που θα δείξουν τα νούμερα θα αφορούν την Σχετική υγρασία (%), την ταχύτητα του ανέμου (m/s), την θερμοκρασία στην επιφάνεια (°C) και την δυναμική θερμοκρασία(°C).

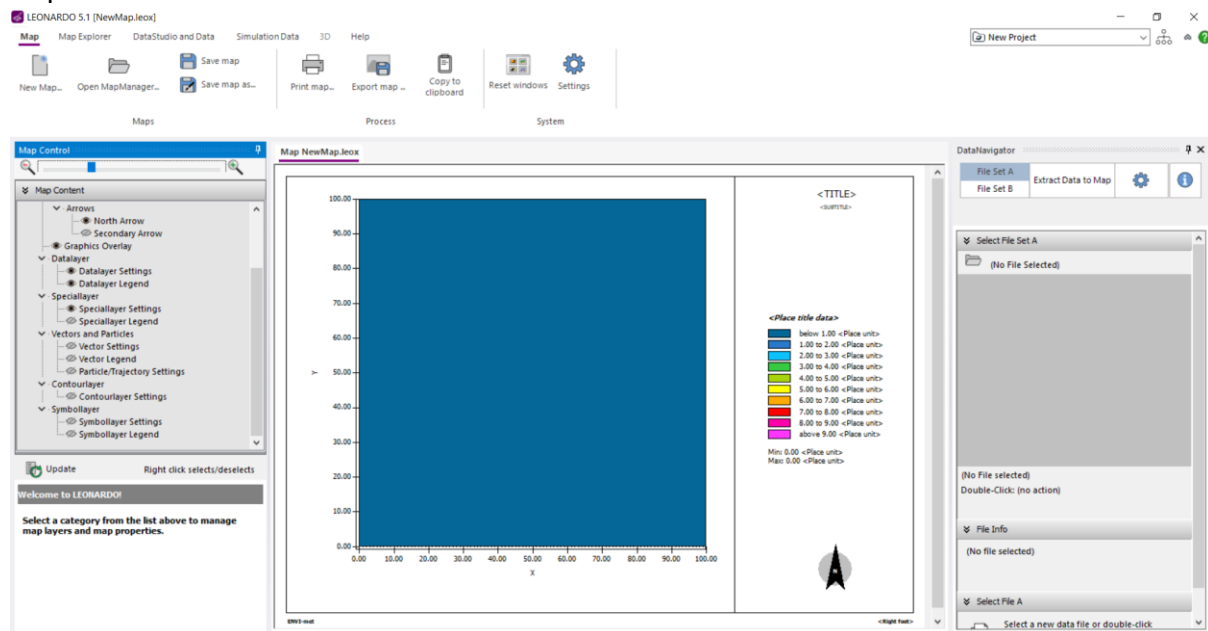
Η δυνητική ή δυναμική θερμοκρασία (Potential Air Temperature) (θ) ορίζεται ως η θερμοκρασία που θα είχε μια μάζα εάν η μάζα εκτελούσε μια αδιαβατική μεταβολή (εκτόνωση ή συμπίεση) από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες βρίσκεται, σε επίπεδο πίεσης (P₀=100kPa). Σε αδιαβατικές μεταβολές όμως η θ παραμένει σταθερή οπότε είναι ένα πιο σημαντικό μέγεθος από την πραγματική θερμοκρασία. Οι κινήσεις του αέρα θεωρούνται αδιαβατικές οπότε ανάλογα το ύψος η θερμοκρασία θα αλλάζει, ενώ η δυναμική θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Οπότε για την σύγκριση δύο πακέτων αέρα σε διαφορετικά ύψη στην τροπόσφαιρα, το καλύτερο μέγεθος είναι η δυναμική θερμοκρασία.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της προσομοίωσης θα δημιουργηθεί ο παρακάτω φάκελος με τα εξής αρχεία.



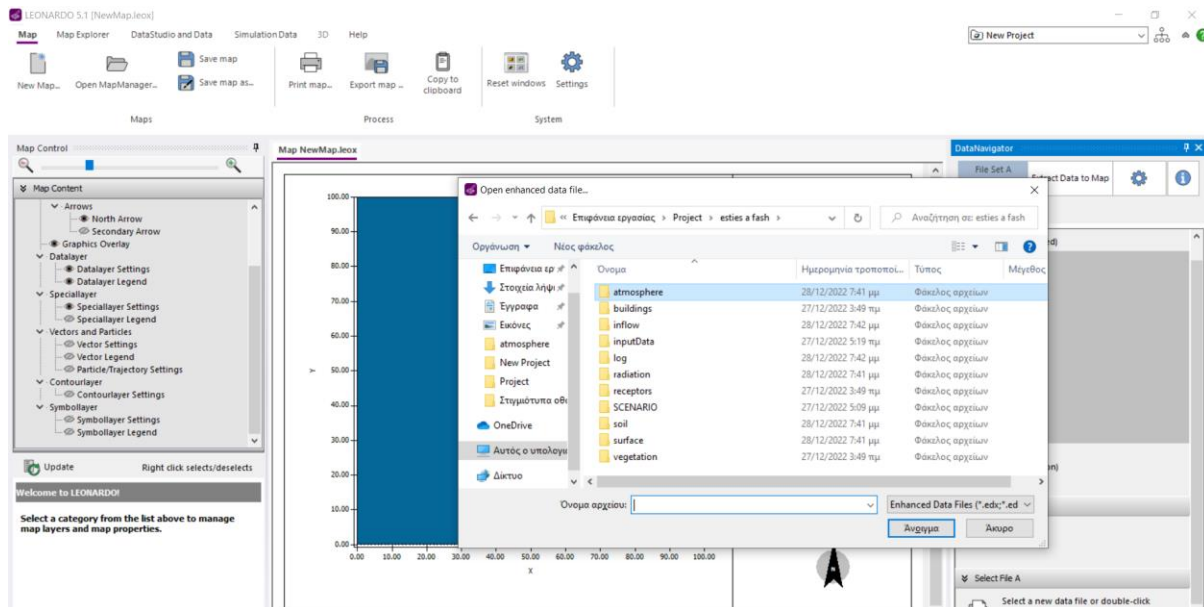
Εικόνα 35 Ο φάκελος με τα αρχεία που δημιουργούνται από την προσομοίωση (Πηγή προσωπική εργασία)

Ανοίγοντας την εφαρμογή του Leonardo εισερχόμαστε στην αρχική σελίδα όπως φαίνεται και παρακάτω.



Εικόνα 36 Αρχική σελίδα της εφαρμογής του Leonardo (Πηγή προσωπική εργασία)

Στο αριστερό τμήμα περιέχονται οι ρυθμίσεις για το περιεχόμενο του χάρτη ενώ στα δεξιά είναι το τμήμα που θα χρησιμοποιήσουμε για την εισαγωγή των δεδομένων. Στην καρτέλα Select File A επιλέγουμε το Select a new data ώστε να εισάγουμε ένα αρχείο από τους φακέλους προσομοίωσης.

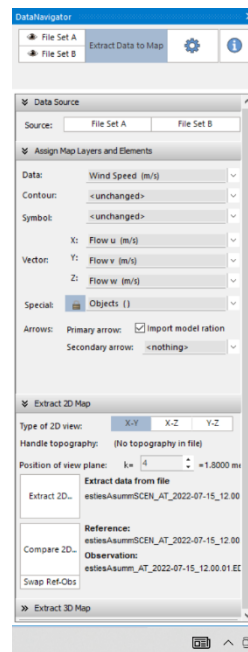


Εικόνα 37 Εισαγωγή αρχείου από τους φακέλους προσομοίωσης (Πηγή προσωπική εργασία)

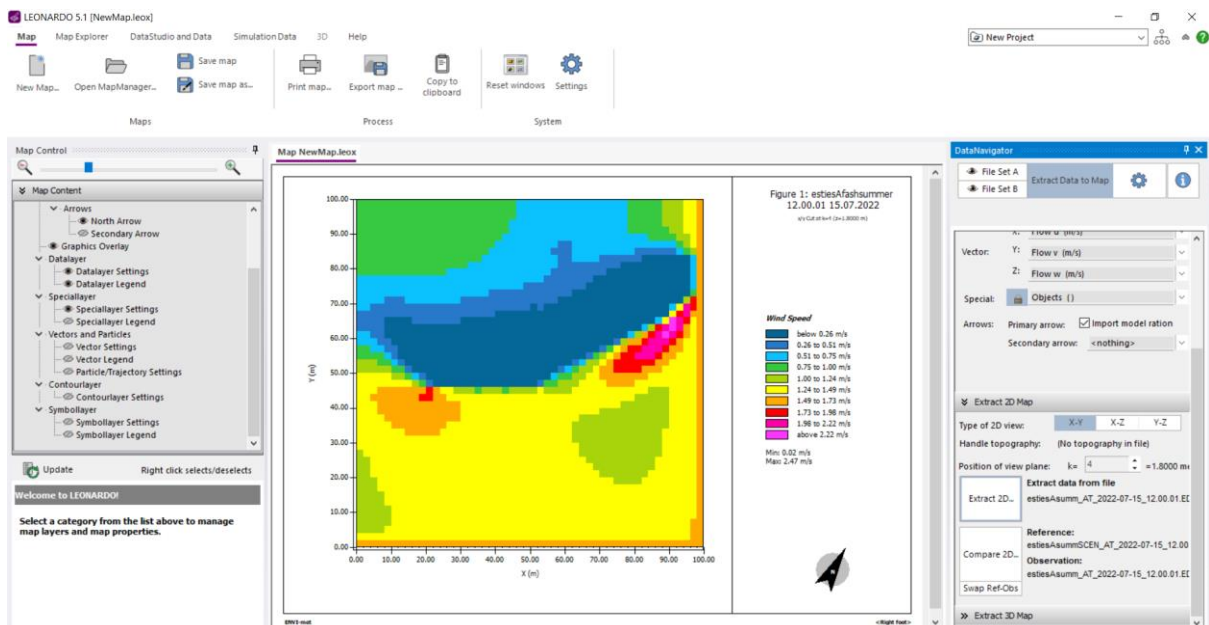
Για παράδειγμα στην περίπτωση που θέλουμε να οπτικοποιήσουμε την ταχύτητα του ανέμου στις 12 το μεσημέρι για το 2^ο τμήμα (Α'φάση), επιλέγουμε στον φάκελο atmosphere το αρχείο που αντιστοιχεί στις 12 το μεσημέρι. Στο File Set A κάθε ορθογώνιο κουτάκι που εμφανίζεται αντιστοιχεί σε μια ώρα της μέρας και αυτό που αναφέρεται στις 12, φαίνεται σαν επιλεγμένο. Στο επόμενο βήμα, στην καρτέλα Extract Data to Map θα ρυθμίσουμε το προφίλ του χάρτη και τα στοιχεία που επιθυμούμε να εμφανίσει. Στην επιλογή Data θα βάλουμε το Wind Speed(m/s), ενώ στο πεδίο Vector βρίσκονται τα διανυσματικά μεγέθη, όπως είναι η ροή του αέρα κατά τις διευθύνσεις x,y, z. Στο πεδίο type of 2D επιλέγουμε ποιες διαστάσεις θα εμφανίσει το Leonardo (το ποιο σύνηθες είναι X-Y). Επίσης θα συμπληρώσουμε και το ύψος που γίνονται αντιληπτές οι μετρήσεις. Για να δούμε δηλαδή πως επηρεάζει η ταχύτητα του ανέμου άμεσα έναν άνθρωπο θα συμπληρώσουμε στο Position of View Plane την τιμή k=4 η οποία αντιστοιχεί στο 1,80 μέτρα, τυπικό ύψος ανθρώπου. Το 0 αντίστοιχα αντιστοιχεί στο έδαφος. Στο τέλος, με το Extract 2D μπορούμε να δούμε την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων στον χάρτη. Στα αριστερά του χάρτη στο Map Content μπορούμε να ρυθμίσουμε τα χαρακτηριστικά του χάρτη όπως ονόματα αξόνων, ετικέτες, χρώματα και διάφορες άλλες παραμέτρους.



Εικόνα 38 Επιλογή αρχείων για οπτικοποίηση (Πηγή προσωπική εργασία)

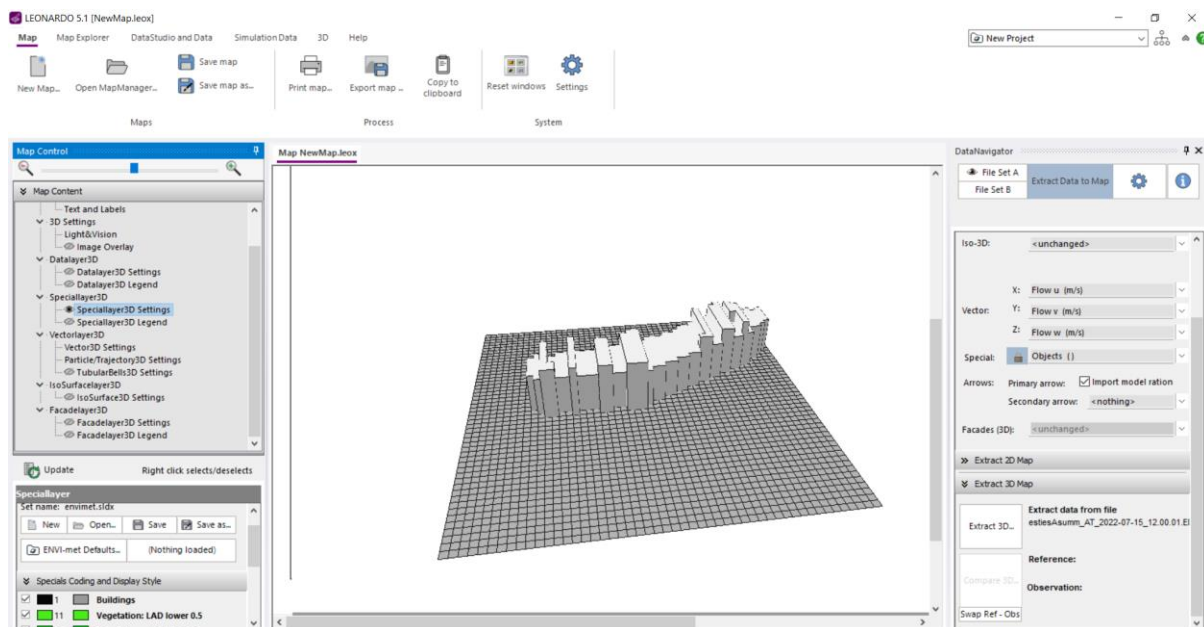


Εικόνα 39 Ρυθμίσεις στοιχείων και προφίλ χάρτη (Πηγή προσωπική εργασία)



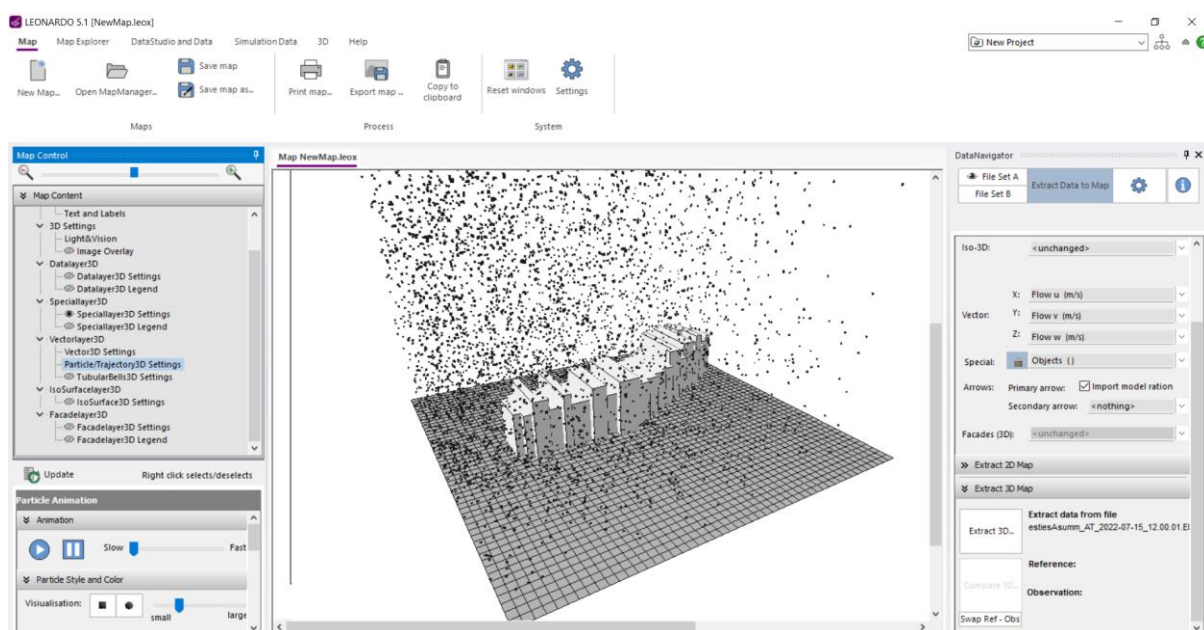
Εικόνα 40 Οπτικοποίηση ταχύτητας ανέμου (Πηγή προσωπική εργασία)

Μια άλλη δυνατότητα που μας δίνει το Data Navigator είναι η απεικόνιση του χάρτη σε τρισδιάστατη μορφή με την επιλογή Extract 3D Map.



Εικόνα 41 Τρισδιάστατη απεικόνιση του χάρτη (Πηγή προσωπική εργασία)

Στο αριστερό τμήμα στο Map Content όπου ρυθμίζουμε τα χαρακτηριστικά του χάρτη, στην ενότητα Speciallayer 3D Settings, εμφανίζονται τα υπομνήματα του χάρτη όπως τα κτίρια του τμήματος ή και τα φυτά. Στην συνέχεια στην ενότητα Vector Layer 3D μπορούμε να ενεργοποιήσουμε το Vector 3D Settings και εφόσον στο δεξί τμήμα έχουμε βάλει στο Vector τα διανυσματικά μεγέθη, έχουμε την δυνατότητα να αναπαράγουμε την ροή του ανέμου με κινούμενο σχέδιο.



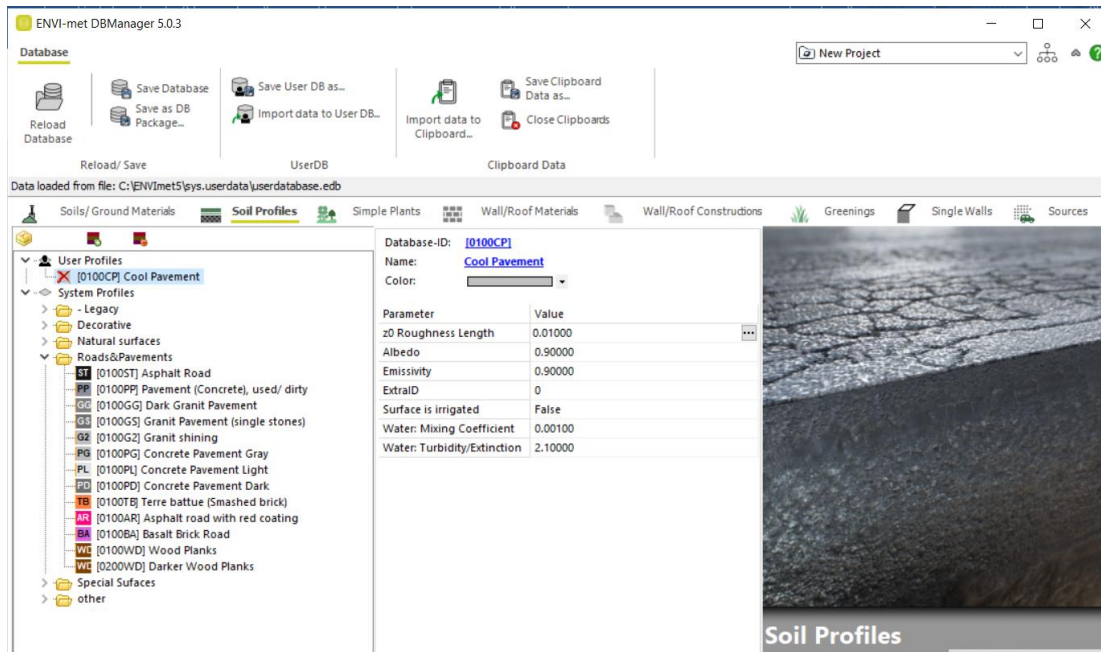
Εικόνα 42 Τρισδιάστατη απεικόνιση και αναπαραγωγή της ροής του ανέμου (Πηγή προσωπική εργασία)

3.4 Ανάλυση των σεναρίων που θα ληφθούν για την βελτίωση του μικροκλίματος

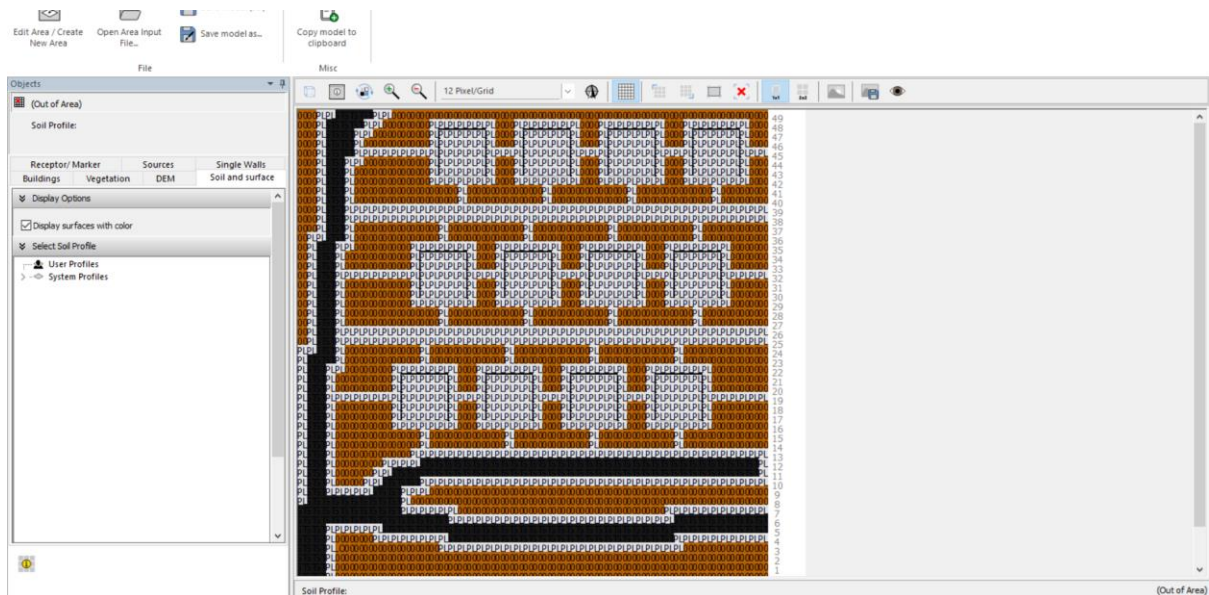
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στον χώρο μελέτης μας θα γίνει μια σειρά επεμβάσεων με γνώμονα τον βιοκλιματικό σχεδιασμό και την θετική βελτίωση του μικροκλίματος. Η διαδικασία που θα ακολουθήσει θα είναι ίδια ακριβώς με την μοντελοποίηση της περιοχής για την υπάρχουσα κατάσταση με την μόνη διαφορά στις παρεμβάσεις που θα γίνουν στο μοντέλο.

3.4.1 Αντικατάσταση υπάρχοντος πεζοδρομίου με πιο ψυχρό υλικό.

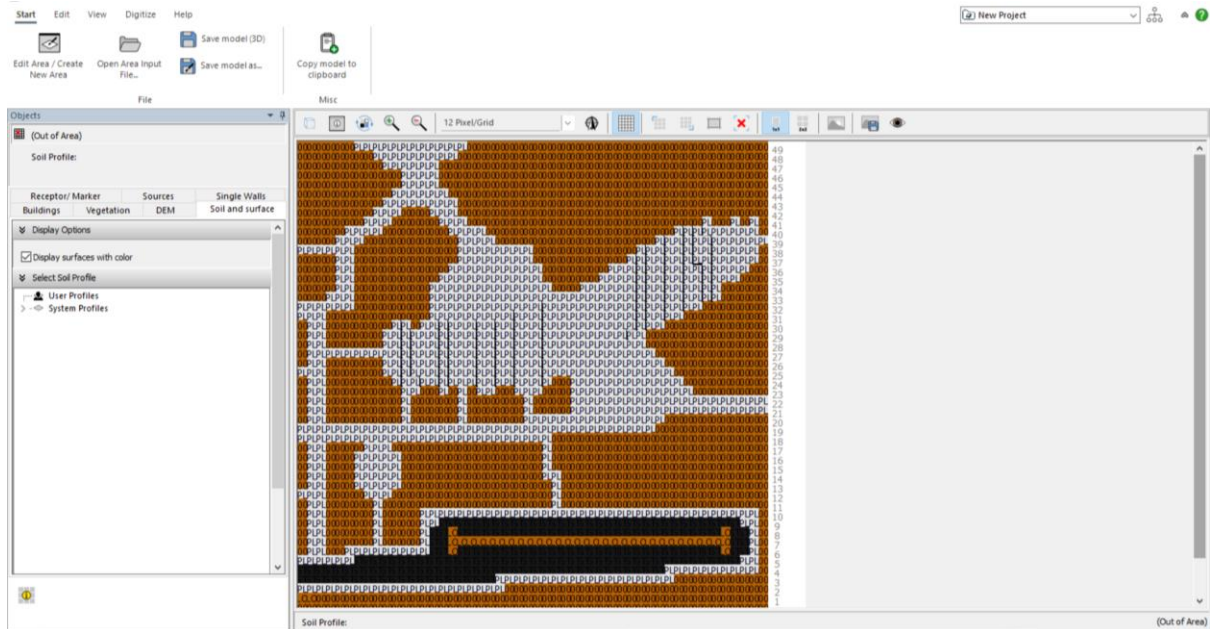
Μία παρέμβαση που εφαρμόζουμε στο οικιστικό συγκρότημα είναι η αντικατάσταση των υλικών του πεζοδρομίου με αντανakλαστικά υλικά υψηλού δείκτη albedo. Τα ψυχρά υλικά όπως αναφέρονται και παραπάνω είναι τα υλικά με υψηλές τιμές ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας και μεγάλη ικανότητα εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το χρώμα και η υφή των εξωτερικών επιφανειών του πεζοδρομίου καθορίζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται, καθώς και την ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται το βράδυ προς την ατμόσφαιρα, ρυθμίζοντας έτσι την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επειδή η θέση μελέτης έχει ήδη υπάρχοντα πεζοδρόμια, η δημιουργία από την αρχή νέων οδοστρωμάτων δεν προτείνεται. Παρόλα αυτά σε ήδη υπάρχοντα πεζοδρόμια μπορεί να γίνει ανακατασκευή της επιφάνειάς τους με τα υλικά υψηλού δείκτη Albedo. Το ENVI-met μας επιτρέπει την δημιουργία νέου πεζοδρομίου μέσω του Headquarter στην ενότητα Data and Settings με το DB Manager. Ανοίγοντας την εφαρμογή μπορούμε στην ενότητα Soil Profiles μέσω του Add new item να δημιουργήσουμε το πεζοδρόμιο που ονομάζεται Cool Pavement. Αυτό που κάνουμε είναι στα χαρακτηριστικά του υλικού να αυξήσουμε τον δείκτη Albedo στο 0.9. Αφού δημιουργήσουμε το υλικό, μεταφερόμαστε στον χώρο μελέτης και σε όποιο σημείο βρίσκεται πεζοδρόμιο, κάνουμε αντικατάσταση με το Cool Pavement που μόλις φτιάξαμε όπως ακριβώς τοποθετήσαμε τα πεζοδρόμια και στην υπάρχουσα κατάσταση.



Εικόνα 43 Η δημιουργία του Cool Pavement με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά στο DB Manager του ENVI-met (Πηγή προσωπική εργασία)



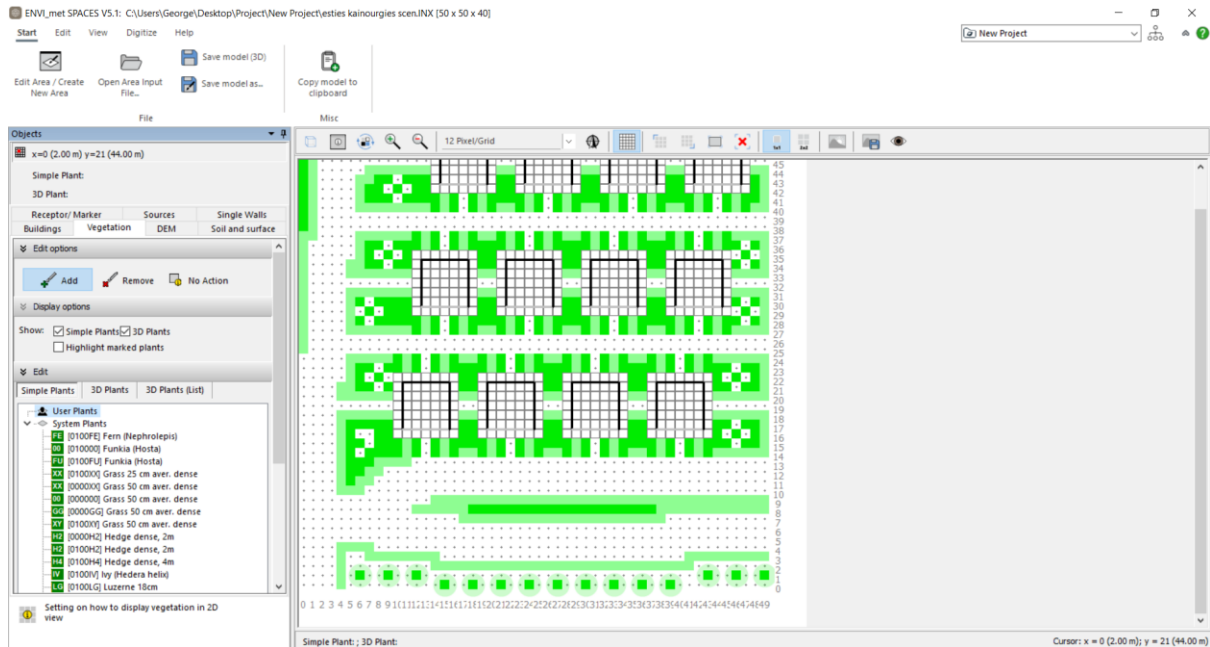
Εικόνα 44 Δισδιάστατη απεικόνιση του 1ου τμήματος με την τοποθέτηση ψυχρών πεζοδρομίων (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 45 Δισδιάστατη απεικόνιση του 2^{ου} τμήματος με την τοποθέτηση των ψυχρών πεζοδρομίων (Πηγή προσωπική εργασία)

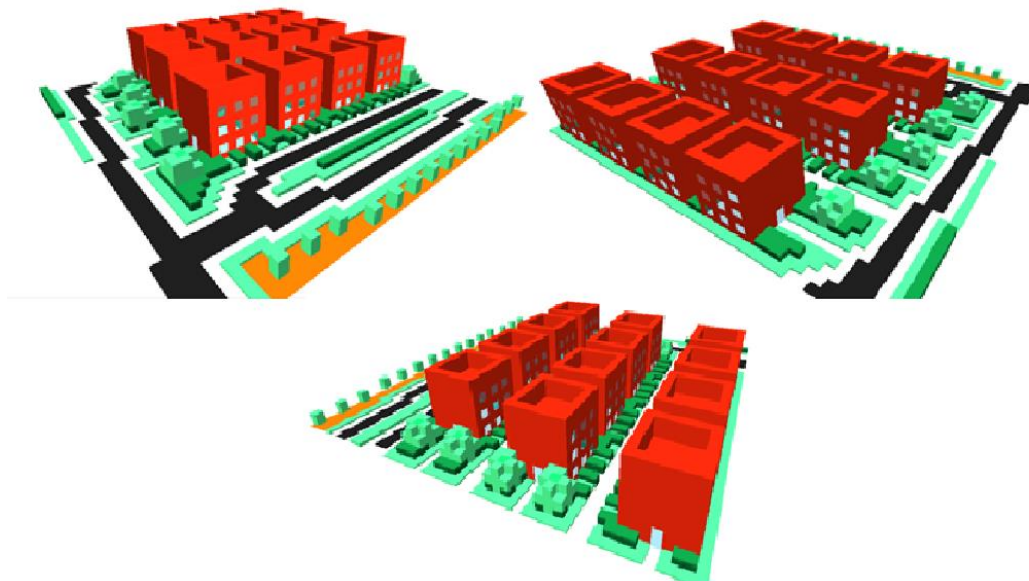
3.4.2 Φύτευση

Η φύτευση είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην διατήρηση σωστών επιπέδων δυναμικής και επιφανειακής θερμοκρασίας. Καθώς η περιοχή μελέτης μας δεν είχε και ιδιαίτερη βλάστηση με την τοποθέτηση σημείων πρασίνου και δέντρων θα συμβάλλουμε σημαντικά στην βελτίωση του μικροκλίματος. Επιλέχθηκε μια ποικιλία βλάστησης αλλά καθόλου δύσκολη στην εύρεση και τοποθέτησή της. Για την περιοχή μελέτης έχει επιλεγεί η τοποθέτηση γρασιδιού από ύψος 25 έως 50 εκατοστά, η τοποθέτηση θάμνων από 2 έως 4 μέτρα. Τα δέντρα που επιλέχθηκαν είναι η ελιά καθώς είναι η δημοφιλέστερη καλλιέργεια της Ελλάδας και ευδοκίμει σε περιοχές με μεσογειακό εύκρατο κλίμα που χαρακτηρίζεται από ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια. Ένα ακόμα φυτό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η τούγια καθώς είναι ένας μεγάλος θάμνος ουσιαστικά και επιλέγεται πολύ συχνά για δημιουργία πυκνού φράχτη όπως και για φύτευση κατά μήκους του δρόμου. Δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις προς το χώμα και ούτε προς το κλίμα καθώς ευδοκίμει σε θέσεις με ηλιοφάνεια και είναι ανθεκτική και στην καλοκαιρινή ζέστη αλλά και στην χειμωνιάτικη παγωνιά. Σημαντικός παράγοντας επίσης είναι η ανθεκτικότητά της σε υψηλά επίπεδα αμοσφαιρικής ρύπανσης οπότε μπορεί να τοποθετηθεί και κατά μήκος των δρόμων. Τέλος επιλέχθηκε και η αργυρόφυλλη η οποία αποτελεί φυλλοβόλο είδος με μεγάλη ανάπτυξη και χαρακτηριστικό ασημένιο φύλλωμα. Τα φυλλοβόλα δέντρα είναι σημαντικά καθώς αποτελούν μέρος σκίασης το καλοκαίρι και μέρος ηλιασμού τον χειμώνα. Αφού επιλέξαμε ποια φυτά θέλουμε να τοποθετήσουμε, μεταφερόμαστε στην αρχική σελίδα του Spaces με το μοντέλο μας. Όπως αναφέρθηκε, έχουμε ήδη τοποθετήσει τα ψυχρά πεζοδρόμια οπότε σειρά έχει η βλάστηση. Στα αριστερά στην ενότητα Vegetation επιλέγουμε το Simple Plants και στον φάκελο με τα διάφορα φυτά επιλέγουμε αυτά που επιθυμούμε.



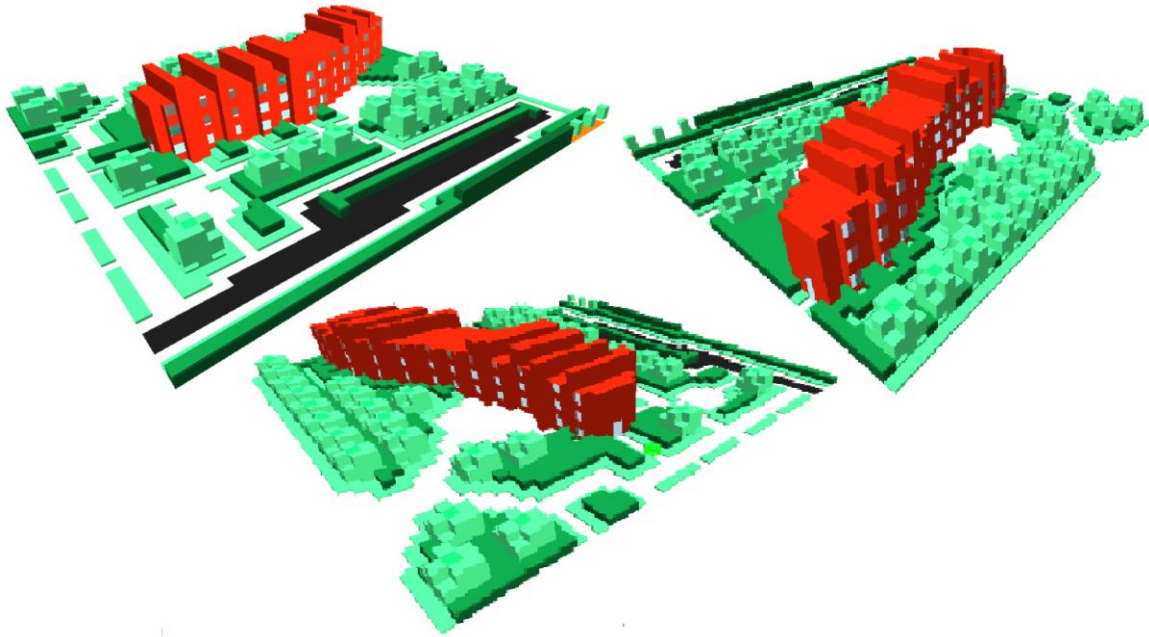
Εικόνα 46 Επιλογή πρασίνου στο Spaces (Πηγή προσωπική εργασία)

Κατά μήκος του δρόμου τοποθετήθηκε γρασίδι 25 εκατοστών και στην συνέχεια θάμνος 2 μέτρα. Στο τμήμα των Β' και Γ' φάσεων μπουστά από τον χώρο στάθμευσης τοποθετήθηκαν ελιές. Ενώ περιμετρικά των 12 κτιρίων τοποθετήθηκαν γρασίδι και θάμνοι. Επίσης στις άκρες των κτιρίων επιλέξαμε να φυτέψουμε τούγιες με τρόπο ώστε να καλύπτουν τα κτίρια και να φιλτράρουν τους επερχόμενους ρύπους από τα κινούμενα αμάξια. Επίσης, το γρασίδι και οι θάμνοι τοποθετήθηκαν και εκείνα με τέτοιο τρόπο ώστε να πηγαίνουν με την ροή του δρόμου και της κυκλοφορίας. Η προτίμηση που έχει τις ελιές να τοποθετηθούν πιο μακριά είναι λόγω και της διαδικασίας του μαζέματός τους που είναι μια απαιτητική και θορυβώδη διαδικασία και με το να υπήρχαν κοντά στα σπίτια, θα προκαλούσε θόρυβο και ανησυχία στους φοιτητές.



Εικόνα 47 Τρισδιάστατες απεικονίσεις του 1^{ου} τμήματος με την εισαγωγή ψυχρών υλικών και πρασίνου (Πηγή προσωπική εργασία)

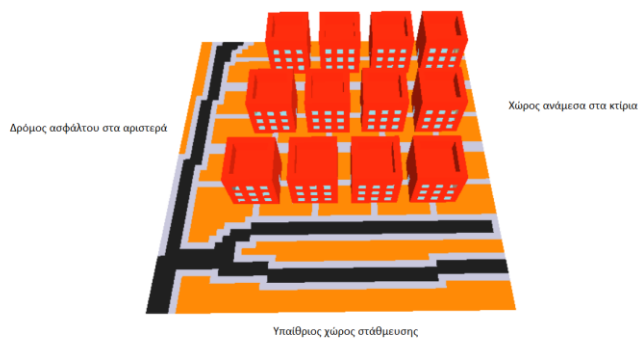
Αντίστοιχη διαδικασία θα επακολουθήσει και στο 2^ο τμήμα που αφορά το κομμάτι της Α΄ φάσης. Περιμετρικά του δρόμου θα τοποθετηθεί γρασίδι και θάμνος ενώ γύρω από το μεγάλο κτίριο θα τοποθετηθούν θάμνοι και τούγιες ώστε όπως και στο 1^ο τμήμα, να παίξουν τον ρόλο των φίλτρων από την ρύπανση που προκαλείται.



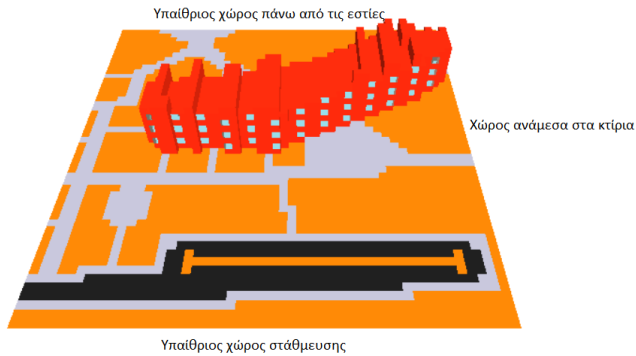
Εικόνα 48 Τρισδιάστατες απεικονίσεις του 2^{ου} τμήματος με την εισαγωγή ψυχρών υλικών και πρασίνου (Πηγή προσωπική εργασία)

4 Ανάλυση αποτελεσμάτων και συζήτηση

Εφόσον τελείωσαν και οι παρεμβάσεις, η προσομοίωση θα γίνει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως και για την υπάρχουσα κατάσταση. Μέσω του ENVI-guide θα δημιουργηθεί αρχείο προσομοίωσης για τις 15/7 και 15/1 με τις ανάλογες καιρικές συνθήκες, ενώ με το ENVI-core θα γίνει η προσομοίωση. Τα στοιχεία που θα αναλυθούν θα είναι η δυναμική θερμοκρασία, η επιφανειακή θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα ανέμου, για τις δυο ημερομηνίες. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οπτικοποιημένα τα αποτελέσματα των αναλύσεων.



Εικόνα 49 Απεικόνιση του πρώτου τμήματος με τις επιγραφές του χώρου

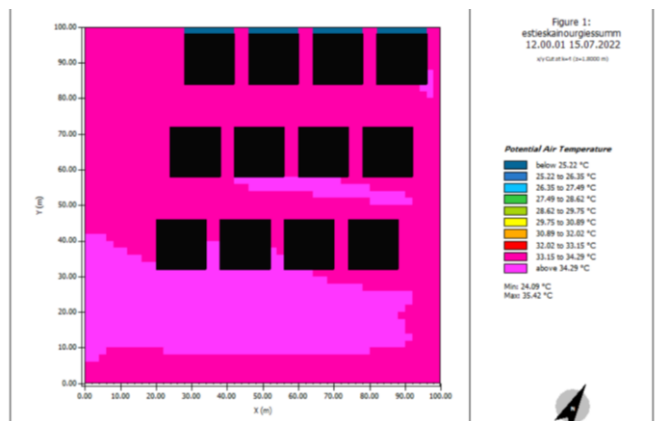


Εικόνα 50 Περιγραφή του δεύτερου τμήματος με τις επιγραφές του χώρου

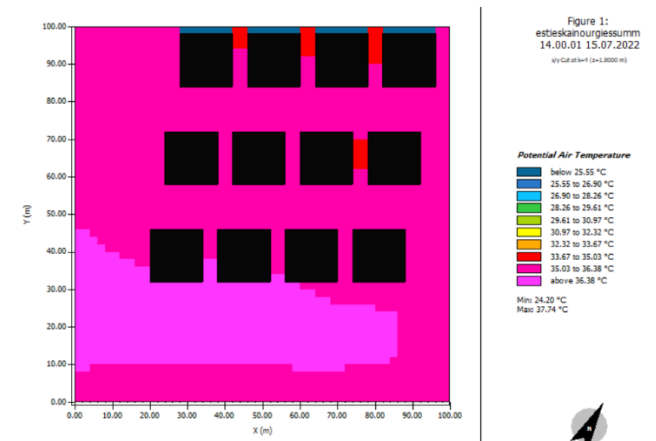
4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την παρούσα κατάσταση και την περίπτωση του σεναρίου την θερινή ημέρα (15/7/22) στις 12:00, στις 14:00 και στις 16:00.

4.1.1 Δυναμική Θερμοκρασία (Potential Air Temperature)

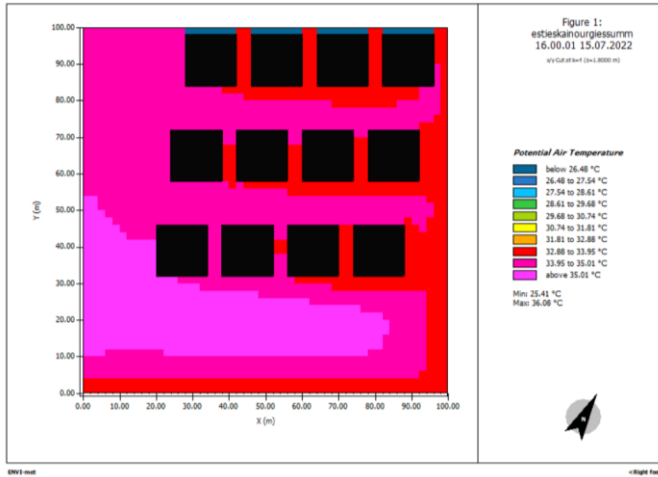
4.1.1.i Παρούσα κατάσταση



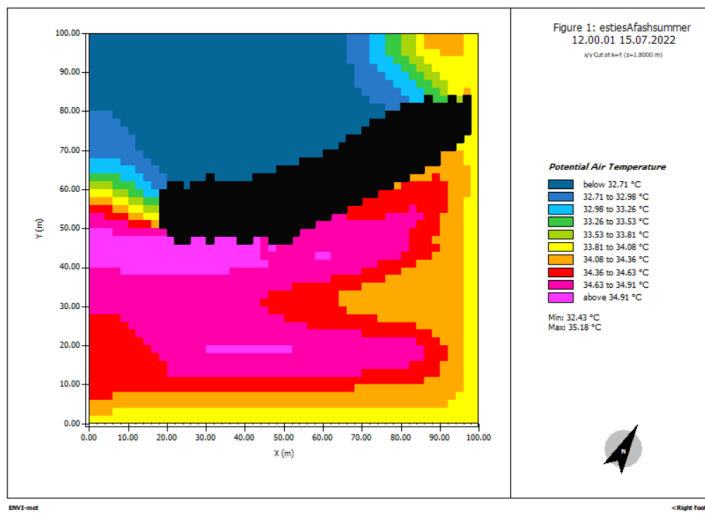
Εικόνα 51 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



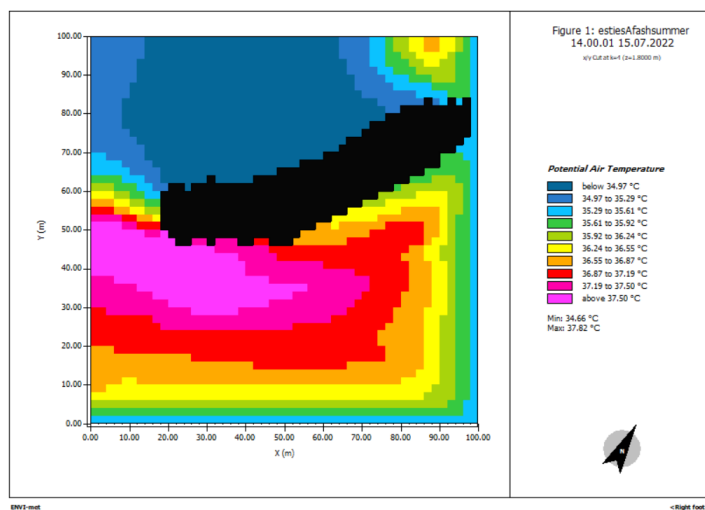
Εικόνα 52 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



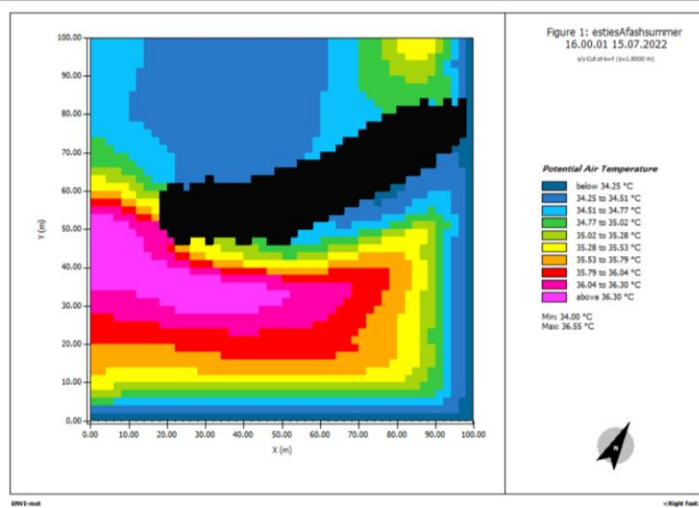
Εικόνα 53 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 54 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

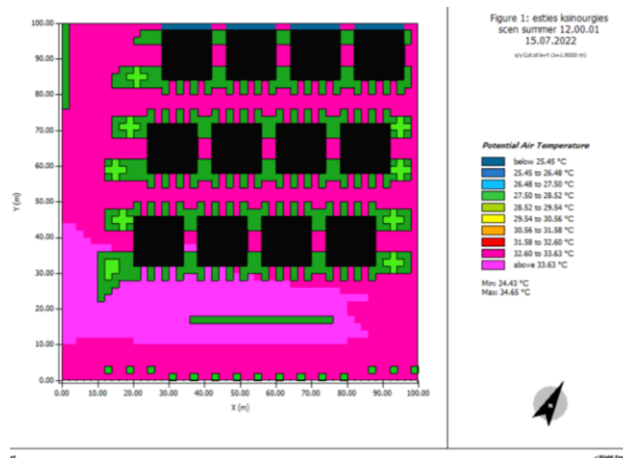


Εικόνα 55 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

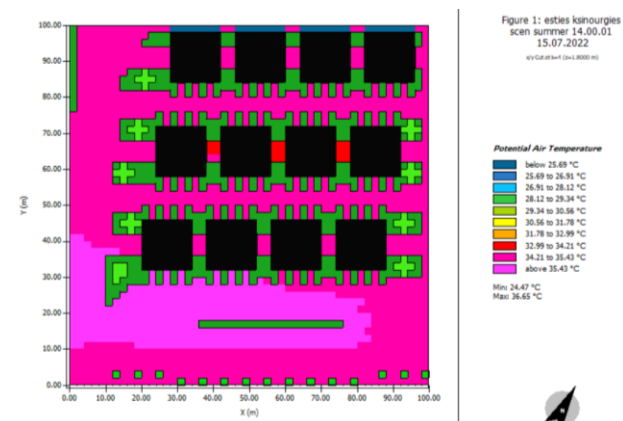


Εικόνα 56 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

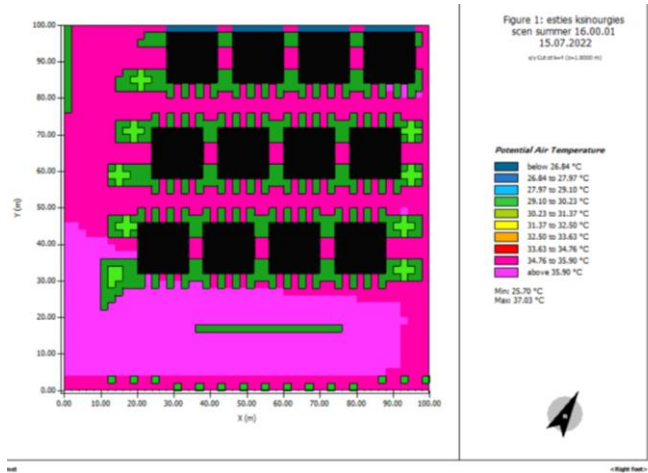
4.1.1.ii Περίπτωση σεναρίου με χρήση ψυχρών υλικών και βλάστησης



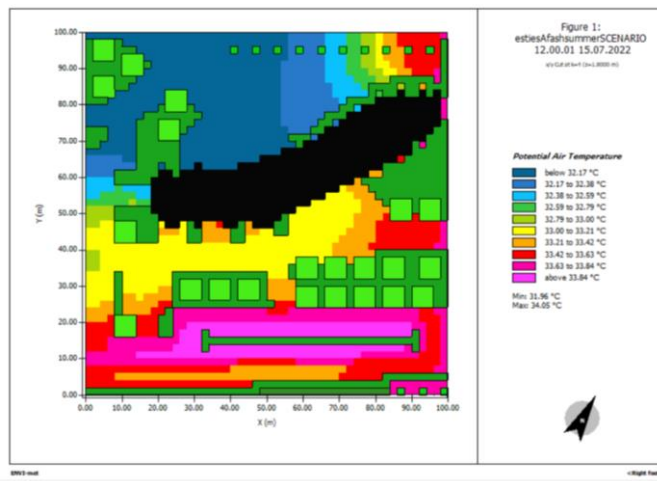
Εικόνα 57 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



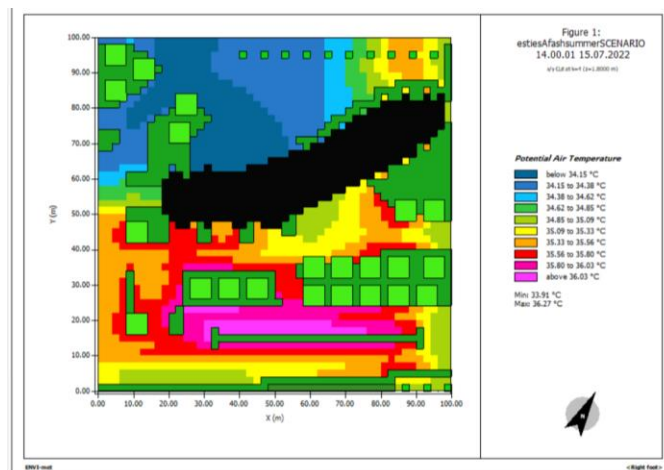
Εικόνα 58 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



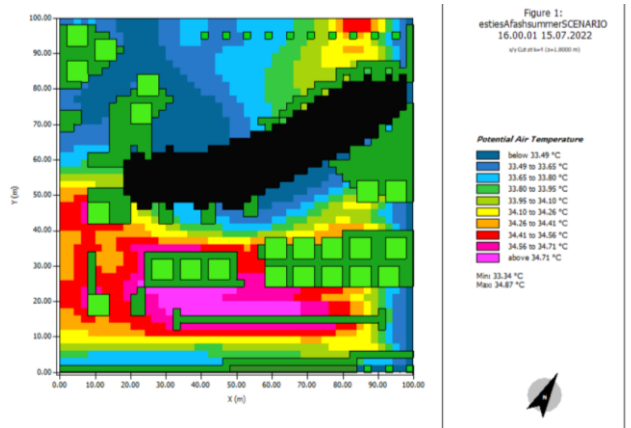
Εικόνα 59 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 60 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 61 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 62 Κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

1ο Τμήμα			
Δυναμική θερμοκρασία °C	Ώρα		
Υπάρχουσα κατάσταση	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	35,42	37,74	35,59
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	33,72	35,84	34,48
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	34,29	36,52	35,38
Αποτελέσματα επέμβασης	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	33,63	35,43	35,90
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	33,10	34,82	35,33
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	34,14	36,04	35,33
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	1,80	2,32	-0,31
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	0,62	1,02	-0,85
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	0,14	0,48	0,05

Εικόνα 63 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την δυναμική θερμοκρασία του αέρα για το 1^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

2ο Τμήμα			
Δυναμική θερμοκρασία °C	Ώρα		
Υπάρχουσα κατάσταση	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	34,63	36,71	35,28
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	34,50	36,71	35,40
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	32,98	35,29	34,89
Αποτελέσματα επέμβασης °C	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	33,63	35,56	34,41
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	33,32	35,33	33,95
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	32,48	34,74	33,80
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης °C	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	1,00	1,15	0,87
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	1,18	1,39	1,45
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	0,50	0,55	1,09

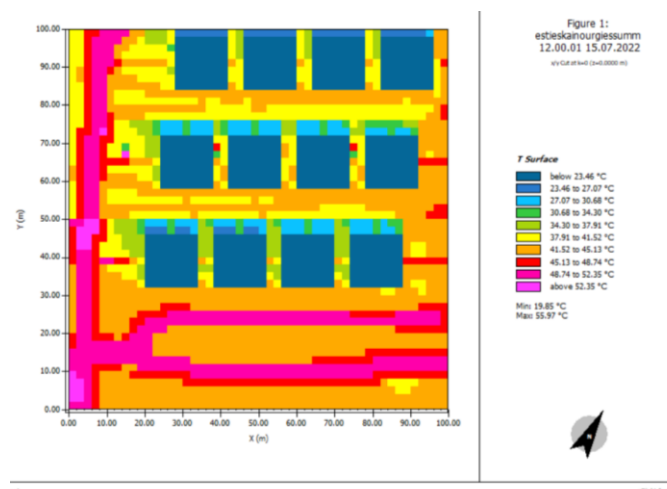
Εικόνα 64 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την δυναμική θερμοκρασία του αέρα για το 2^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

Όπως φαίνεται παραπάνω, στην περίπτωση της δυναμικής θερμοκρασίας του αέρα παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφορές τόσο στο χώρο στάθμευσης, όσο και στον υπαίθριο χώρο αλλά και στο γύρο περιβάλλον των εστιών. Συγκεκριμένα για το 1^ο τμήμα, στον υπαίθριο χώρο στάθμευσης παρατηρείται μείωση στους 1,80 βαθμούς Κελσίου, στα πεζοδρόμια ανάμεσα στις εστίες υπάρχει μείωση 0,68 βαθμών Κελσίου ενώ στον δρόμο κυκλοφορίας η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται κατά 0,14 βαθμούς Κελσίου. Δεδομένου πως στον δρόμο το μεγαλύτερο κομμάτι το καλύπτει η ασφαλτος και ότι επέμβαση έγινε ήταν στο πεζοδρόμιο και στα φυτά δίπλα, είναι λογική η τόσο μικρή μείωση καθώς η ασφαλτος έχει πολύ χαμηλό δείκτη

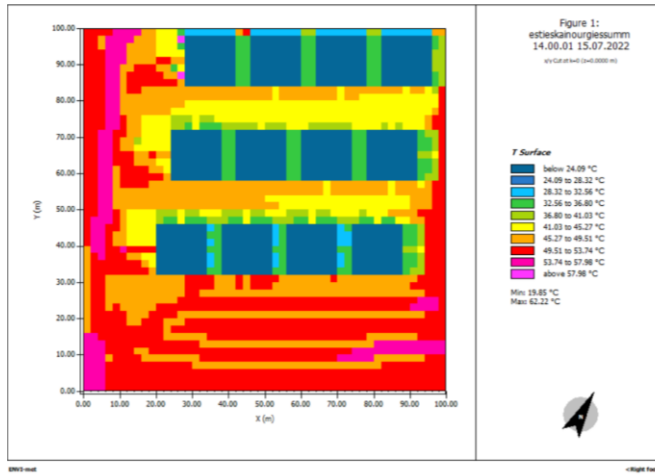
ανακλαστικότητα και υπάρχει συσσωρευμένη ηλιακή ακτινοβολία και εκπέμπεται μεγάλο ποσό θερμότητας από την ασφαλτο. Στις 14:00 βλέπουμε πως υπάρχει ακόμα μεγαλύτερη μείωση σε βαθμούς Κελσίου. Συγκεκριμένα παρατηρείται διαφορά 2,32 βαθμών Κελσίου, στον χώρο στάθμευσης, διαφορά 1,02 βαθμών στον χώρο ανάμεσα στα κτίρια και στην περιοχή που βρίσκεται ο δρόμος υπάρχει διαφορά 0,48 βαθμών. Στις 16:00 παρατηρείται κάποια αύξηση της θερμοκρασίας στην περίπτωση της επέμβασης ενώ τις προηγούμενες ώρες υπήρχε διαφορά. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να πούμε πως υπάρχει και το ενδεχόμενο σφάλματος της προσομοίωσης για εκείνη την συγκεκριμένη ώρα καθώς και στο 2^ο τμήμα στα αποτελέσματα από τις 16:00 είναι φυσιολογικά σε σχέση με αυτήν την περίπτωση. Για τις εστίες της Α΄φάσης παρατηρούμε επίσης πως υπάρχει διαφορά στην θερμοκρασία του αέρα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση τόσο στις 12:00 όσο και στις 14:00 αλλά και στις 16:00. Συγκεκριμένα για τον υπαίθριο χώρο στάθμευσης στις 12:00 υπάρχει μείωση ενός βαθμού Κελσίου, στον χώρο ανάμεσα στα κτίρια διαφορά 1,18 βαθμών και στον υπαίθριο χώρο πάνω από τις εστίες μείωση μισού βαθμού Κελσίου. Στις 14:00 υπάρχει επίσης διαφορά 1,15, 1,39 και 0,55 βαθμών Κελσίου ενώ στις 16:00 αυτήν την φορά παρατηρείται επίσης διαφορά 0,87, 1,45 και 1,09 βαθμοί Κελσίου. Από τα αποτελέσματα μπορεί κάποιος να παρατηρήσει πως μεγαλύτερη διαφορά υπήρχε στον χώρο ανάμεσα στα κτίρια, λογικό εάν αναλογισθούμε τις παρεμβάσεις που έγιναν σε αυτό το τμήμα, τα ψυχρά υλικά και η βλάστηση.

4.1.2 Επιφανειακή θερμοκρασία (T surface)

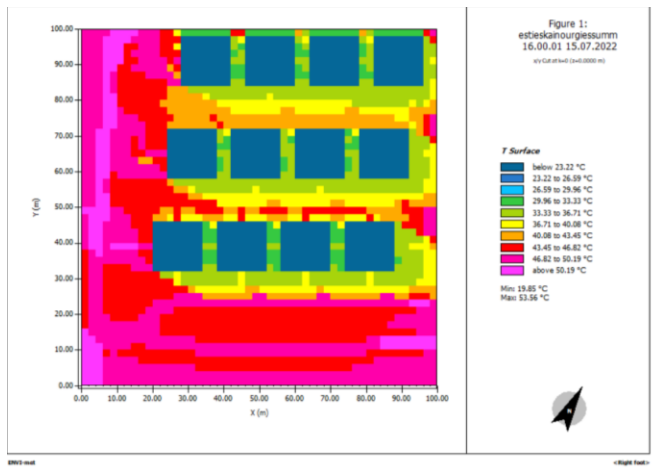
4.1.2.i Παρούσα κατάσταση



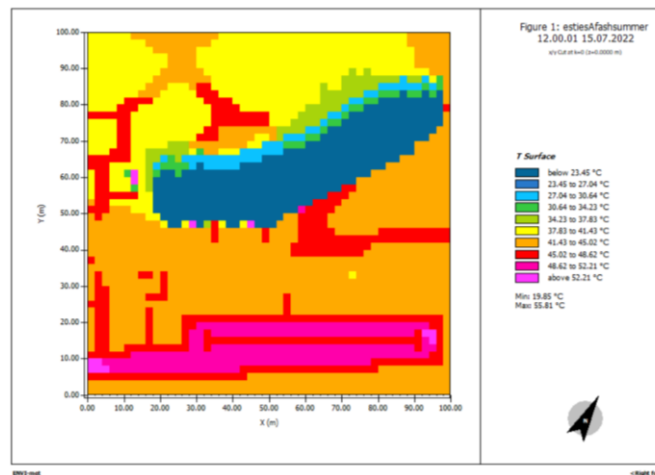
Εικόνα 65 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εσίων (Πηγή προσωπική εργασία)



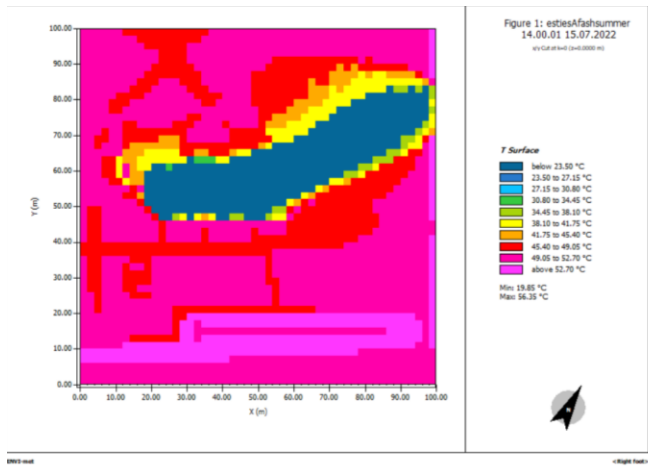
Εικόνα 66 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



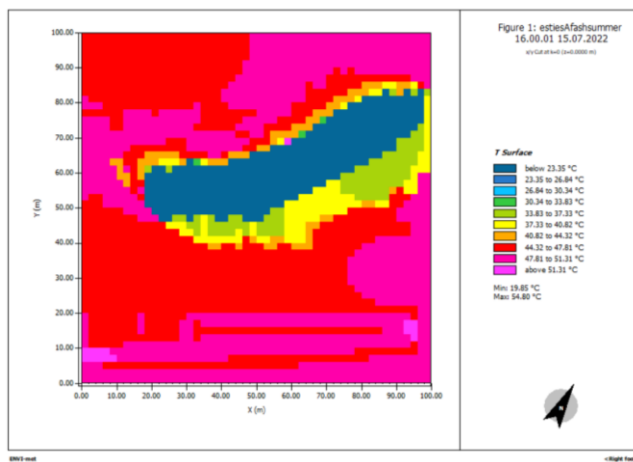
Εικόνα 67 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 68 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

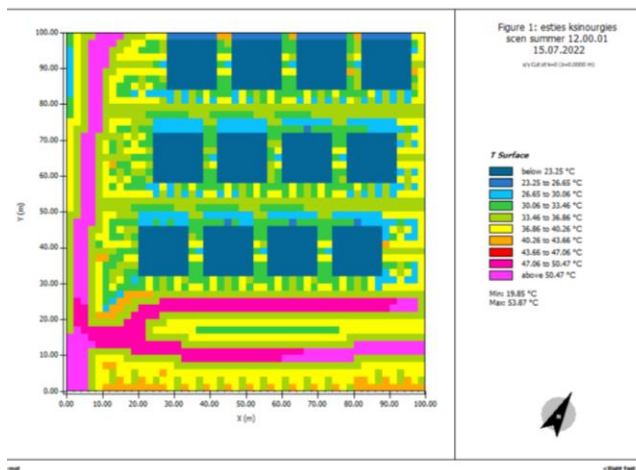


Εικόνα 69 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

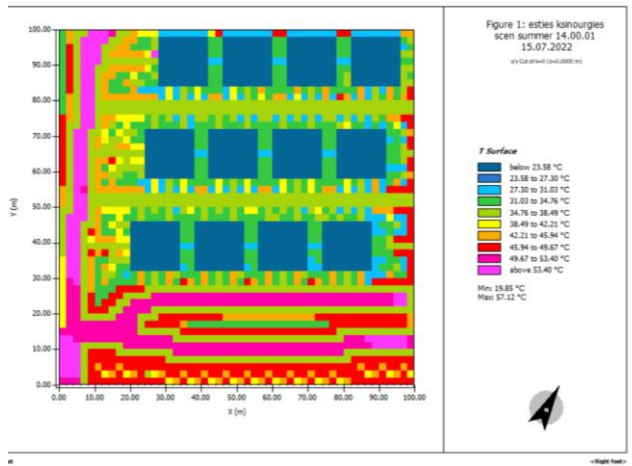


Εικόνα 70 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

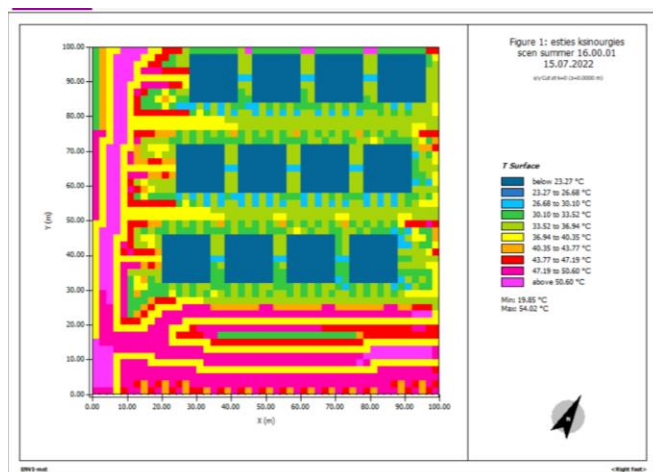
4.1.2.ii Περίπτωση σεναρίου



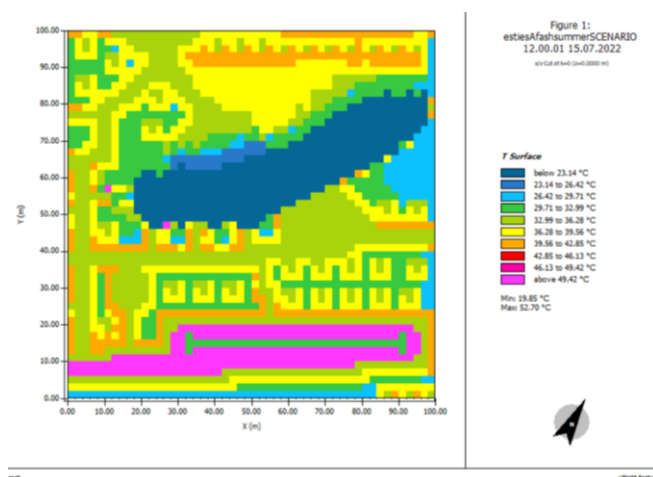
Εικόνα 71 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



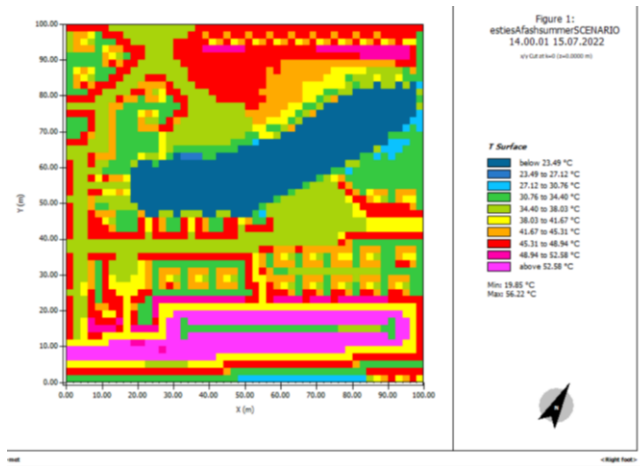
Εικόνα 72 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



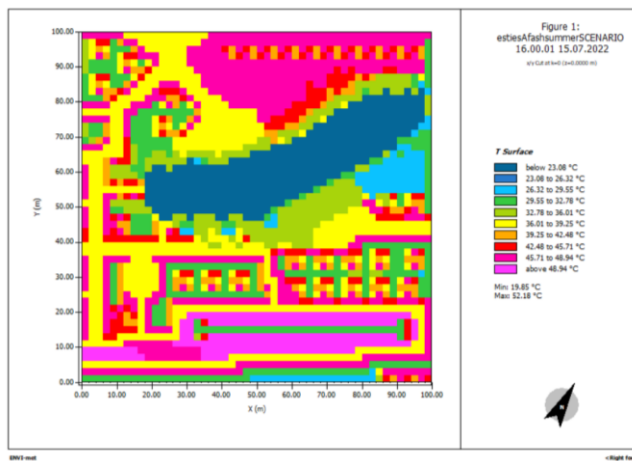
Εικόνα 73 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 74 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 75 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 76 Κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

1ο τμήμα			
Επιφανειακή θερμοκρασία °C	Ώρα		
Υπάρχουσα κατάσταση °C	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	48,74	53,74	48,51
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	41,52	45,27	38,39
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	46,94	55,86	48,51
Αποτελέσματα επέμβασης °C	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	41,96	42,21	40,35
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	31,76	32,90	33,52
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	41,96	44,08	42,06
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης °C	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	6,78	11,53	8,15
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	9,76	12,38	4,87
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	4,97	11,79	6,44

Εικόνα 77 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την επιφανειακή θερμοκρασία για το 1^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

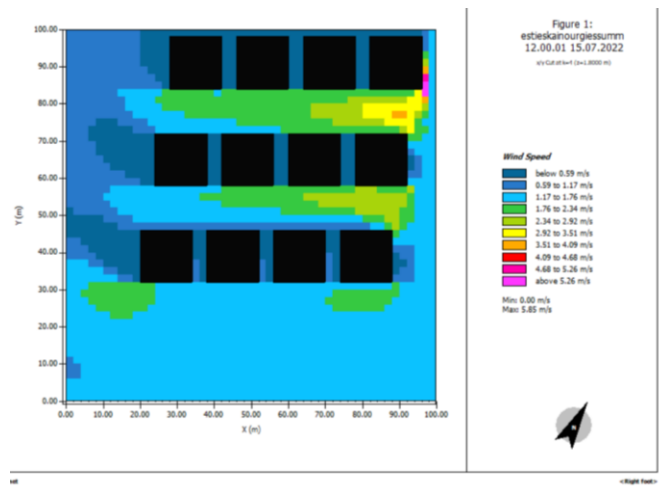
2ο Τμήμα			
Επιφανειακή θερμοκρασία °C	Ώρα		
Υπάρχουσα κατάσταση	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	46,82	52,70	51,31
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	43,23	49,05	44,32
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	39,63	47,23	47,81
Αποτελέσματα επέμβασης °C	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	39,56	41,67	39,25
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	32,99	36,22	31,17
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	34,64	38,03	40,86
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης °C	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	7,26	11,03	12,06
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	10,23	12,84	13,15
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	4,99	9,19	6,95

Εικόνα 78 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την επιφανειακή θερμοκρασία για το 2ο τμήμα των εσίων (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

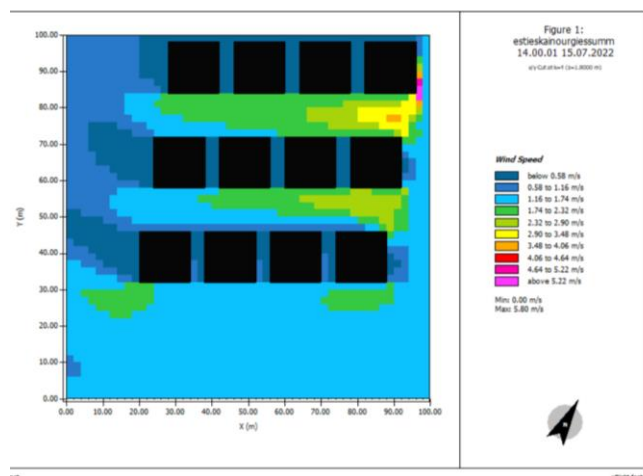
Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται φανερά η επίδραση των παρεμβάσεων στην επιφανειακή θερμοκρασία. Στα αποτελέσματα της παρούσας κατάστασης, η επιφανειακή θερμοκρασία έχει πολύ υψηλές τιμές με τις μέγιστες να φτάνουν τους 55,86 βαθμούς Κελσίου, στις 14:00. Δεδομένου της υψηλής θερμοκρασίας και της συνεχόμενης δυνατής ηλιακής ακτινοβολίας, είναι λογικό στις 2 το μεσημέρι να συγκεντρωθεί το μεγαλύτερο ποσό καθώς έχουμε περάσει και το μισό της ημέρας. Επιπλέον μπορεί κάποιος να δει ότι το μέγιστο ποσό θερμοκρασίας το έχει συγκεντρώσει ο δρόμος της ασφάλτου που είναι λογικό διότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, έχει πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα και συσσωρεύεται η ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της μέρας. Γενικότερα σε όλες τις προσομοιώσεις, τα τμήματα που καλύπτονται από ασφαλτο καταγράφουν το μεγαλύτερο ποσό θερμοκρασίας. Στην περίπτωση των παρεμβάσεων παρατηρείται έντονα η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας τόσο στο κτίριο της Α' φάσης όσο και στα κτίρια της Β' φάσης. Στο κτίριο της Α' φάσης παρατηρείται πολύ μεγάλη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας σε ποσό μεγαλύτερο των 10 βαθμών Κελσίου στον χώρο γύρω από το κτίριο καθώς εκεί έχει τοποθετηθεί ψυχρό πεζοδρόμιο αλλά λαμβάνεται υπόψη και η σκίαση που έχει προκληθεί από τα δέντρα δίπλα στα πεζοδρόμια. Στον χώρο στάθμευσης που αποτελείται από ασφαλτο και πεζοδρόμια, υπάρχει επίσης μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας από 7 μέχρι 12 βαθμούς Κελσίου για τις τρεις διαφορετικές ώρες που επιλέξαμε. Για τα κτίρια της Β' και Γ' φάσης παρατηρείται διαφορά στην επιφανειακή θερμοκρασία μετά την χρήση των ψυχρών υλικών και της βλάστησης. Στις 14:00 όπου είχε σημειωθεί η μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία στην υφιστάμενη κατάσταση, παρατηρείται σημαντική μείωση των 10 βαθμών Κελσίου σε όλο το τμήμα της περιοχής.

4.1.3 Ταχύτητα ανέμου (Wind Speed (m/s))

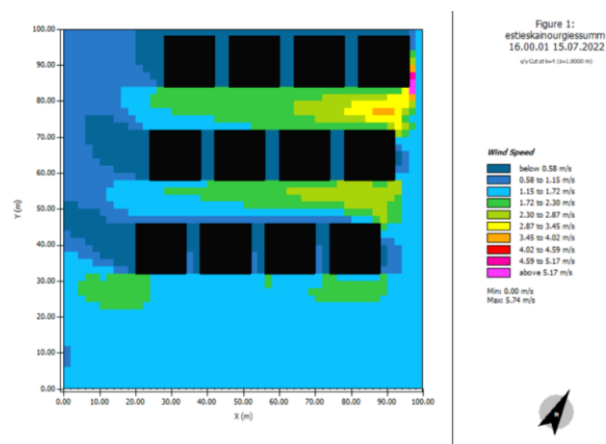
4.1.3.ι Παρούσα κατάσταση



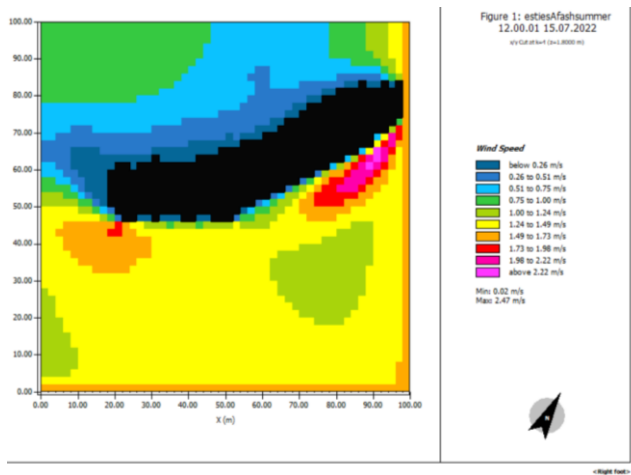
Εικόνα 79 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



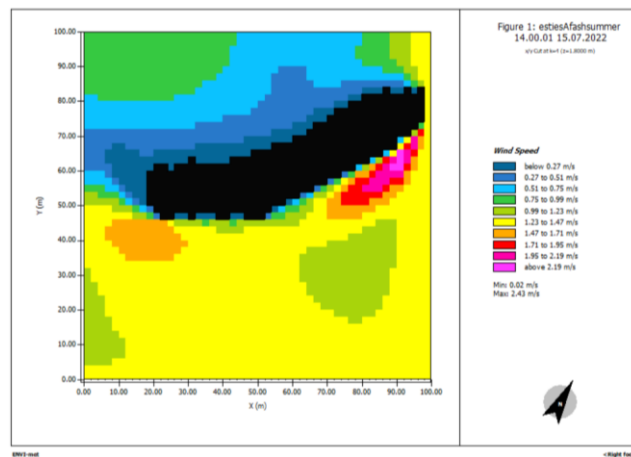
Εικόνα 80 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



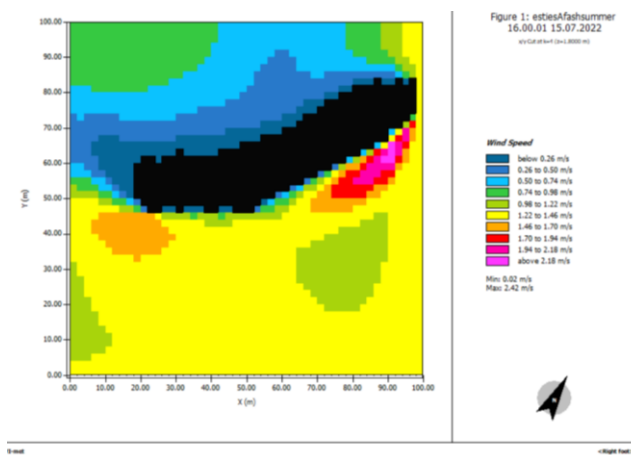
Εικόνα 81 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 82 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

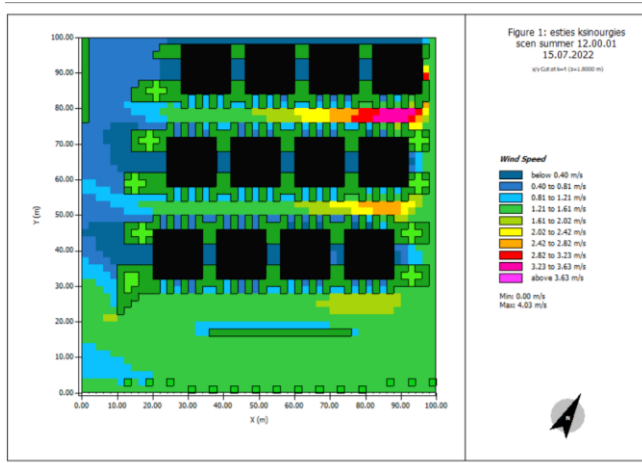


Εικόνα 83 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

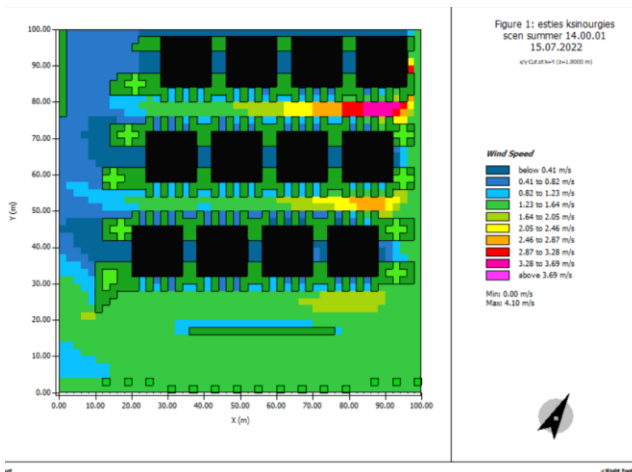


Εικόνα 84 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

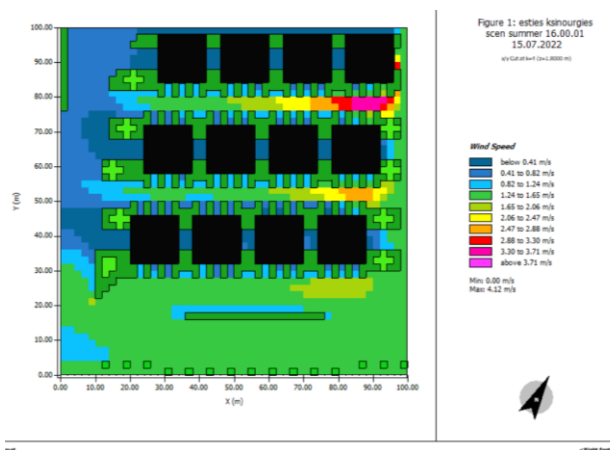
4.1.3.ii Περίπτωση σεναρίου



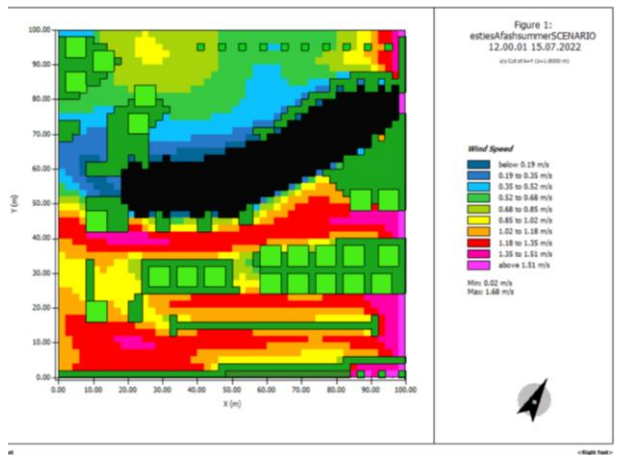
Εικόνα 85 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



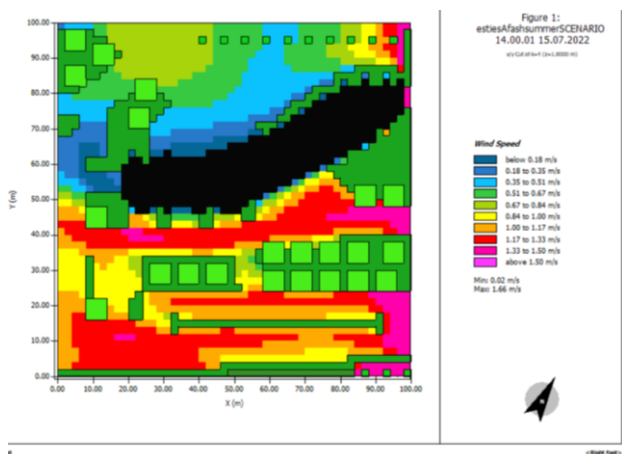
Εικόνα 86 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



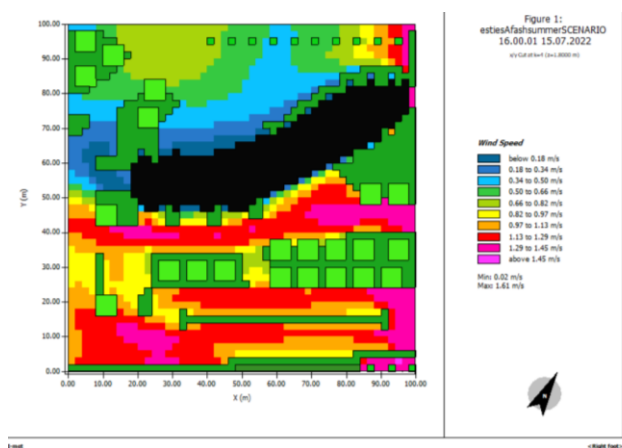
Εικόνα 87 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 88 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 89 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 90 Κατανομή ταχύτητας ανέμου σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

1ο τμήμα			
Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ώρα		
Υπάρχουσα κατάσταση (m/s)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	2,05	2,03	2,01
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	2,34	2,32	2,30
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	1,17	1,16	1,15
Αποτελέσματα επέμβασης (m/s)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	1,41	1,44	1,44
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	2,02	2,05	2,06
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	0,81	0,82	0,82
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης (m/s)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	0,64	0,60	0,57
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	0,32	0,27	0,24
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	0,37	0,34	0,33

Εικόνα 91 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την ταχύτητα του ανέμου για το 1^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

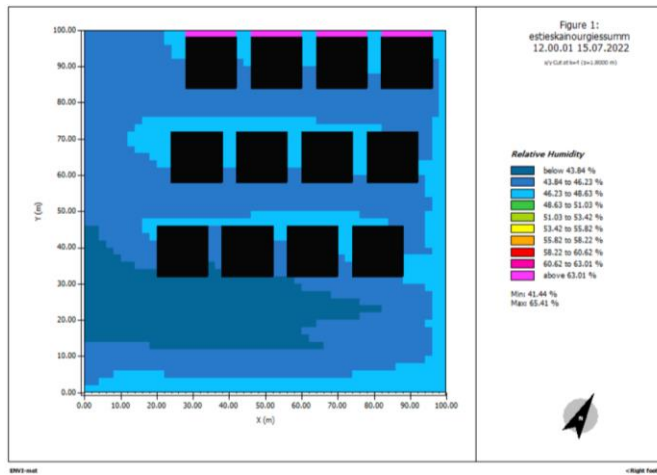
2ο Τμήμα			
Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ώρα		
Υπάρχουσα κατάσταση (m/s)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	1,24	1,23	1,22
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	1,73	1,71	1,70
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	0,63	0,63	0,62
Αποτελέσματα επέμβασης (m/s)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	1,10	1,09	1,05
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	1,02	1,00	0,97
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	0,44	0,43	0,42
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης (m/s)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	0,14	0,15	0,17
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	0,72	0,71	0,73
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	0,20	0,20	0,20

Εικόνα 92 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την ταχύτητα του ανέμου για το 2^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

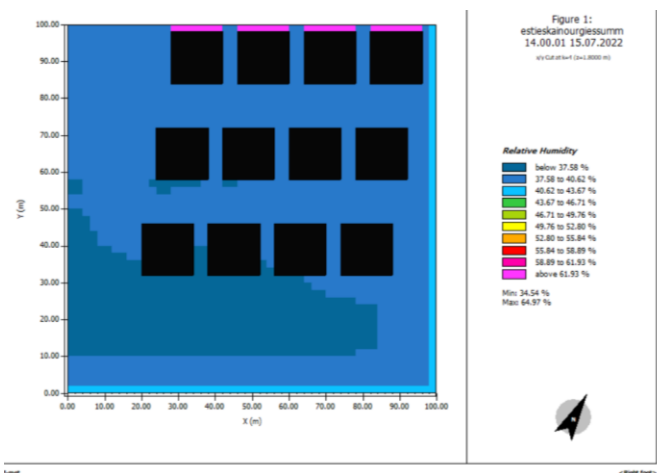
Όσον αφορά την ταχύτητα του ανέμου παρατηρείται μια ελαφρώς μικρή διαφορά καθώς από τα αποτελέσματα της επέμβασης βλέπουμε την ταχύτητα του ανέμου μικρότερη σε σχέση με την παρούσα κατάσταση. Καθώς αναφερόμαστε σε καλοκαιρινή περίοδο η πνοή του ανέμου είναι ελάχιστη, παρόλα αυτά η τοποθεσία του Πολυτεχνείου που είναι στον κόλπο του Ακρωτηρίου και είναι πολύ ανοιχτή θέση, επιτρέπει την παρουσία ανέμου με τιμές να φτάνουν περίπου τα 2 m/s στις 12 το μεσημέρι στον υπαίθριο χώρο στάθμευσης των κτιρίων της Β΄ και Γ΄ φάσης, ενώ φτάνει και τα 2,3 m/s στις 16:00 στον χώρο ανάμεσα στα κτίρια. Οι παρεμβάσεις που εφαρμόσαμε είχαν αποτελέσματα καθώς μείωσαν την πνοή του ανέμου από 0,24 έως και 0,67 m/s σε όλα τα τμήματα της περιοχής στις 3 ώρες που επιλέξαμε να οπτικοποιήσουμε. Στο κτίριο της Α΄ φάσης επίσης παρατηρείται παρουσία αέρα σε όλα τα τμήματα του χώρου με μεγαλύτερες τιμές να συγκεντρώνονται στον ανοιχτό χώρο γύρω από το κτίριο αλλά και στον χώρο στάθμευσης που βρίσκεται ακριβώς από κάτω. Οι παρεμβάσεις που εφαρμόσαμε έφεραν μια μικρή μείωση της ταχύτητας του ανέμου με τιμές από 0,14 έως 0,73 m/s.

4.1.4 Σχετική Υγρασία (Relative Humidity %)

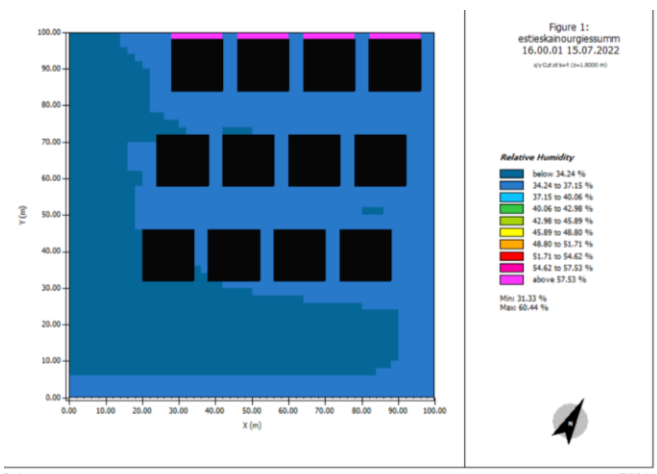
4.1.4.ι Παρούσα κατάσταση



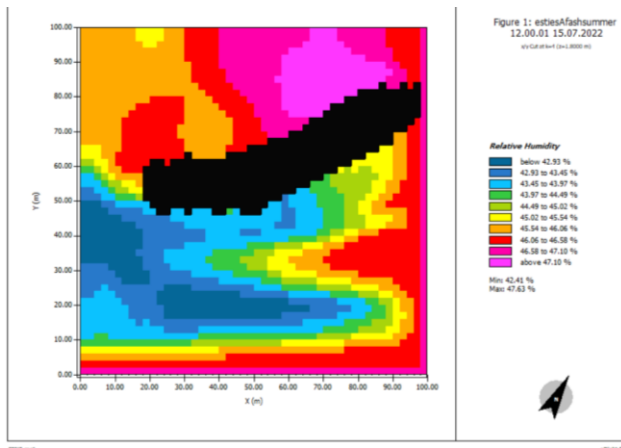
Εικόνα 93 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



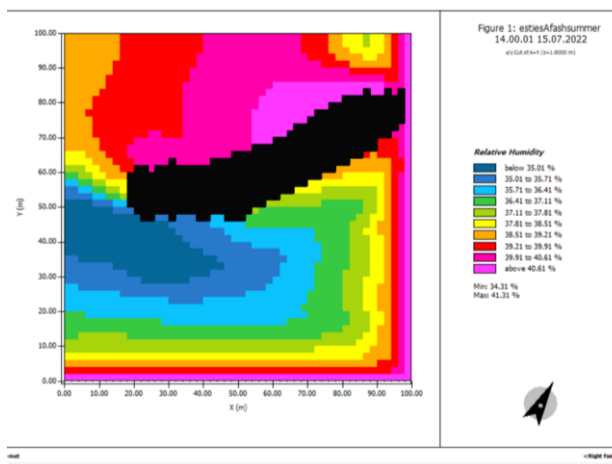
Εικόνα 94 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



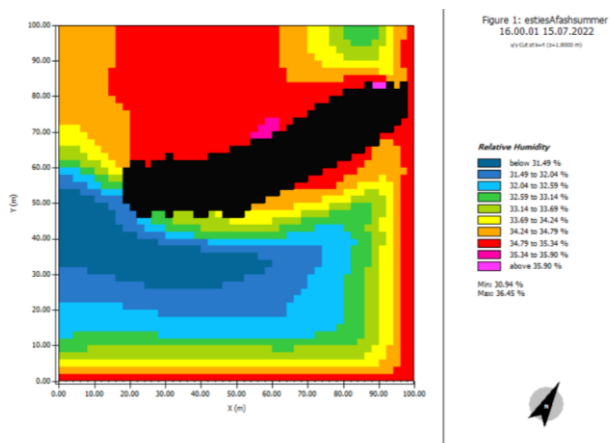
Εικόνα 95 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 96 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

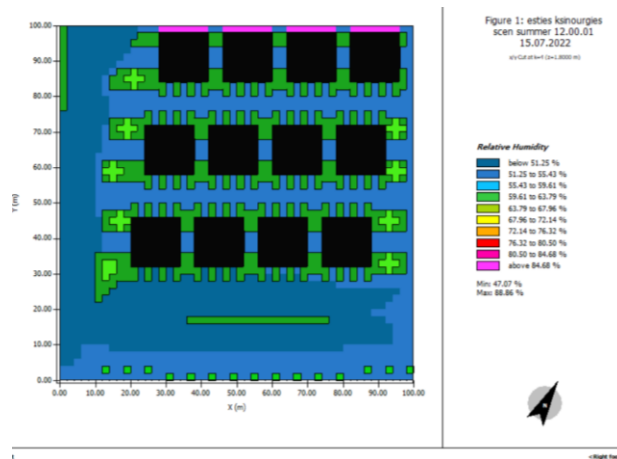


Εικόνα 97 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

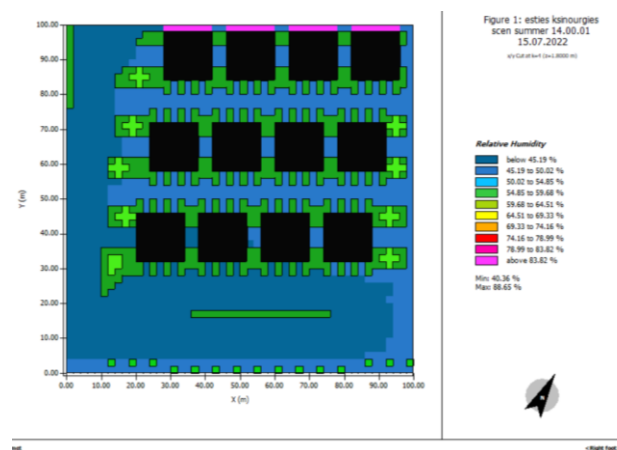


Εικόνα 98 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

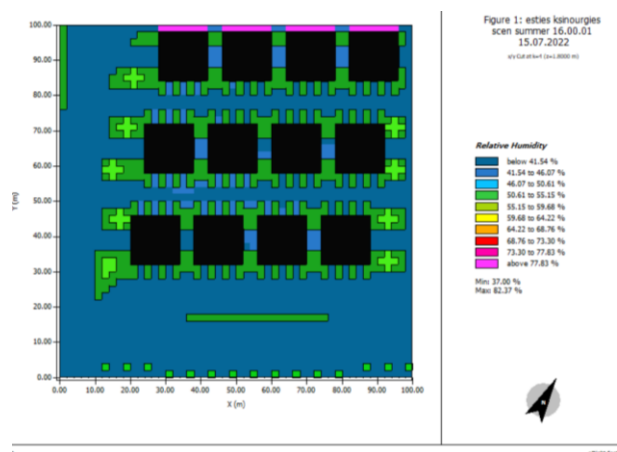
4.1.4.ii Περίπτωση σεναρίου



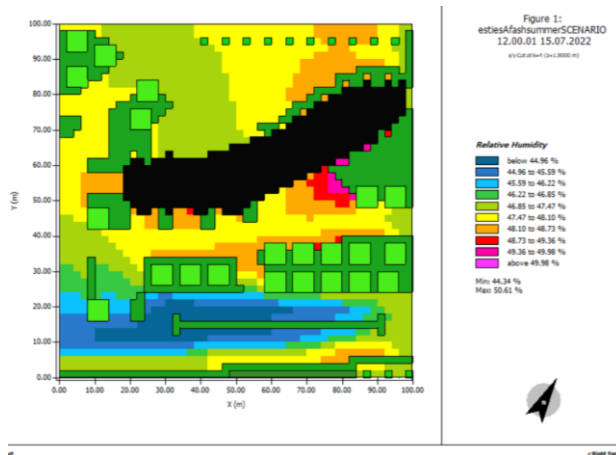
Εικόνα 99 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



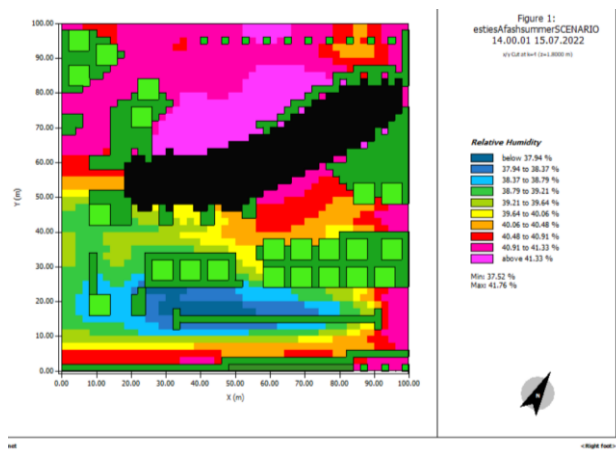
Εικόνα 100 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



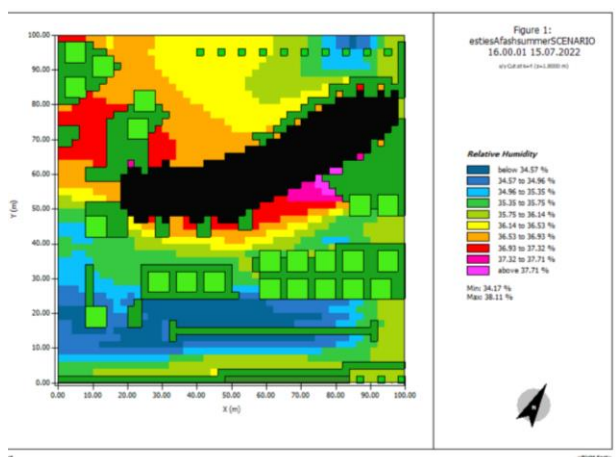
Εικόνα 101 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 1^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 102 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 12:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 103 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 14:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)



Εικόνα 104 Κατανομή σχετικής υγρασίας σε ύψος 1,80 μ στην περίπτωση παρέμβασης για τις 16:00 στο 2^ο κομμάτι των εστιών (Πηγή προσωπική εργασία)

1ο τμήμα			
Σχετική υγρασία (%)	Ωρα		
Υπάρχουσα κατάσταση (%)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	43,84	37,58	34,24
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	46,23	40,62	37,15
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	45,04	39,10	35,70
Αποτελέσματα επέμβασης (%)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	51,25	45,19	41,54
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	53,34	47,61	43,81
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	49,16	42,78	39,27
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης (%)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	-7,41	-7,61	-7,30
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	-7,11	-6,98	-6,66
Δρόμος ασφάλτου στα αριστερά	-4,13	-3,68	-3,58

Εικόνα 105 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την σχετική υγρασία για το 1^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

2ο Τμήμα			
Σχετική υγρασία (%)	Ωρα		
Υπάρχουσα κατάσταση (m/s)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	44,49	37,11	33,14
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	45,02	37,81	33,69
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	46,58	39,91	35,34
Αποτελέσματα επέμβασης (%)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	46,22	38,79	35,35
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	48,10	40,06	36,53
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	47,47	39,64	36,14
Διαφορά Υπάρχουσας-Επέμβασης (%)	12:00	14:00	16:00
Υπαίθριος χώρος στάθμευσης	-1,72	-1,68	-2,21
Χώρος ανάμεσα στα κτίρια	-3,09	-2,25	-2,84
Υπαίθριος χώρος πάνω από τις εστίες	-0,89	0,27	-0,80

Εικόνα 106 Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης με την επέμβαση για την σχετική υγρασία για το 2^ο τμήμα των εστιών (Πηγή Excel προσωπική εργασία)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορεί κάποιος να παρατηρήσει ότι η σχετική υγρασία έχει χαμηλές τιμές. Μεγάλο ρόλο σε αυτό παίζει ότι ο άνεμος έχει αρκετά μικρή ταχύτητα σε ολόκληρο τον χώρο μελέτης με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να είναι αυξημένη και η σχετική υγρασία μειωμένη. Όσον αφορά το κτίριο της Α΄φάσης η υγρασία είναι περίπου στο 45% στις 12 το μεσημέρι, ενώ μετά μειώνεται καθώς στις 14:00 η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή. Με τις παρεμβάσεις παρατηρείται άυξηση στην σχετική υγρασία καθώς η θερμοκρασία μειώθηκε. Στις 12 η υγρασία αυξήθηκε έως και 3% όπως και τις επόμενες ώρες που έχουμε επιλέξει. Επίσης αξίζει να επισημανθεί ότι η υγρασία δεν έχει ξεπεράσει το 50% γεγονός που καθιστά το εξωτερικό περιβάλλον ιδανικό. Σε ότι αφορά τον κτιριακό τομέα της Β΄και Γ΄φάσης μπορεί να παρατηρηθεί ότι η υγρασία στην περίπτωση του σεναρίου αυξήθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι στον τομέα της Α΄φάσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορες συνθήκες όπως η μείωση της θερμοκρασίας ενώ στον χώρο ανάμεσα στα κτίρια ο οποίος περιβάλλεται από τα γύρω κτίρια όπως και από τα φυτά τα οποία παίζουν και αυτά πολύ μεγάλο ρόλο στην μείωση της θερμοκρασίας.

5 Συμπεράσματα

5.1 Γενική εικόνα και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ερευνήσει τους τρόπους βελτίωσης του αστικού κλίματος στις εστίες του Πολυτεχνείου Κρήτης. Συγκεκριμένα, σε αυτήν την εργασία εστιάσαμε στην κλίμακα του χώρου των εστίων όπου θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό μικροκλιματικής ανάλυσης Envi-met, προκειμένου να αναλυθούν οι τρόποι βελτίωσης συνθηκών του αστικού κλίματος μέσω τεχνικών σχεδιασμού και διαφορετικών παραμετρικών σεναρίων. Πραγματοποιήθηκαν 2 προσομοιώσεις οι οποίες αντιστοιχούν στην υφιστάμενη κατάσταση και άλλες 2 προσομοιώσεις μόνο που σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόστηκαν τα σεναρία ανάσχεσης. Οι επεμβάσεις που έγιναν αφορούσαν το εξωτερικό περιβάλλον και συγκεκριμένα την τοποθέτηση πράσινου χώρου και βλάστησης, ενώ επίσης την χρήση ψυχρών πεζοδρομίων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε ήταν στην δωρεάν έκδοση οπότε υπήρχε περιορισμένος χώρος μοντελοποίησης και προσομοίωσης. Για αυτόν τον λόγο ο χώρος μελέτης χωρίστηκε σε δύο τμήματα ένα που αφορούσε τον κτιριακό τομέα της Β΄ και Γ΄ φάσης όπως επίσης και το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ το άλλο τμήμα περιείχε το κτίριο της Α΄ φάσης μαζί με το εξωτερικό περιβάλλον. Για την μοντελοποίηση και προσομοίωσης του χώρου μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τόσο από τους χάρτες όσο και μετεωρολογικά από την (ΕΜΥ) καθώς για την ακρίβεια και την ορθότητα των αποτελεσμάτων θα έπρεπε να ήμασταν αρκετά λεπτομερής στον σχεδιασμό. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που εξετάστηκαν από τις προσομοιώσεις ήταν οι τιμές της δυναμικής θερμοκρασίας του αέρα, της επιφανειακής θερμοκρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της σχετικής υγρασίας. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων μέσω του λογισμικού Envi-Met, αλλά και με όλη την έρευνα για την ολοκλήρωση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας πάνω στον βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων και της διαχείρισης του εξωτερικού περιβάλλοντος, προέκυψαν αρκετά συμπεράσματα. Το λογισμικό ENVI-met είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη του μικροκλίματος περιοχών. Η παράμετρος που έχει ώστε να συμπληρωθεί από τον χρήστη η τοποθεσία της περιοχής μελέτης με τα αντίστοιχα μετεωρολογικά δεδομένα, προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Το μοντέλο που δημιουργεί το ENVI-met είναι μια μικρογραφία του μικροκλίματος μιας περιοχής και δείχνει επίσης τον τρόπο με τον οποίο επιδρούν στον χώρο μελέτης, η αστική μορφολογία, η βλάστηση και τα υλικά των επιφανειών. Η πρόταση βιοκλιματικού σχεδιασμού στις εστίες του Πολυτεχνείου Κρήτης κρίθηκε αποτελεσματική σύμφωνα με τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από τις προσομοιώσεις. Η πρόταση περιλάμβανε την αντικατάσταση των υλικών του πεζοδρομίου με ψυχρά υλικά υψηλής ανακλαστικότητας (δείκτης albedo), την δημιουργία νέων θέσεων φύτευσης και την ενίσχυση της υπάρχουσας βλάστησης. Στα δύο τμήματα του χώρου μελέτης παρατηρήθηκε πως υπήρχαν υψηλές τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας αλλά και δυναμικής θερμοκρασίας. Όσον αφορά την επιφανειακή θερμοκρασία οι τιμές της ήταν πολύ υψηλές ιδιαίτερα στον ακάλυπτο χώρο ο οποίος βρίσκεται πολλές ώρες κάτω από το φως του ήλιου. Λόγω της ασφάλτου η οποία έχει πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα αλλά και των υφιστάμενων πεζοδρομίων, η επιφανειακή θερμοκρασία έχει μεγάλο βαθμό καθώς συσσωρεύεται συνεχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Η έλειψη κάλυψης επίσης παίζει σημαντικό ρόλο καθώς λειτουργεί σαν μέσο σκίασης στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι πολύ υψηλές τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες υψηλές τιμές της θερμοκρασίας και την δραστηριότητα είτε των φοιτητών, είτε την κυκλοφορία των οχημάτων εντείνουν το φαινόμενο της Ατικής θερμικής νησίδας όπως και επίσης μετατρέπουν σε πιο δύσκολες τις συνθήκες

διαβίωσης των φοιτητών. Με την επέμβαση παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά σε αυτές τις δυο μετεωρολογικές τιμές και ιδιαίτερα στην επιφανειακή θερμοκρασία. Με την τοποθέτηση ψυχρών πεζοδρομίων και βλάστησης, σημειώθηκε μείωση έως και 13 περίπου βαθμών Κελσίου. Συγκεκριμένα στους χώρους ανάμεσα στα κτίρια όπου τοποθετήθηκαν ψυχρά πεζοδρόμια αλλά και γρασίδι μαζί με θάμνους, παρουσιάστηκε φανερή μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που δείχνει την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων. Επίσης στους υπαίθριους χώρους με την τοποθέτηση χώρων πρασίνου σημειώθηκε μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας παρόλο που η ασφαλτος παρέμεινε όπως έχει, γεγονός που δείχνει ότι και να υπάρχει πηγή συσσώρευσης ηλιακής ακτινοβολίας η βλάστηση θα ισοροπήσει την κατάσταση. Επιπλέον για τους χώρους πρασίνου οι οποίοι έχουν πολύπλευρο ρόλο στην βελτίωση του μικροκλίματος αξίζει να αναφερθεί ότι εκτός από ένα οπτικά ωραίο αποτέλεσμα, η παρουσία τους θα διαμορφώσει καλύτερα το θερμικό ισοχύγιο άρα θα μειώσει την παρουσία του φαινομένου της Αστικής Θερμικής νησίδας. Εκτός όμως από τα παραπάνω, τα φυτά παίζουν και ρόλο στον αερισμό του χώρου μελέτης. Απο τα αποτελέσματα που αφορούσαν την ταχύτητα του ανέμου, παρατηρήθηκε πως ο άνεμος μειώθηκε αλλά συγκεντρώθηκε σε συγκεκριμένα μέρη, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στον σωστό αερισμό του χώρου μελέτης. Τα δέντρα και οι θάμνοι στην ουσία κατευθύνουν τον άνεμο και με τον σωστό αερισμό μιας περιοχής μειώνεται και η σκόνη άρα προσφέρονται καλύτερες συνθήκες διαβίωσης. Στις συνθήκες διαβίωσης επίσης προστίθεται και η ρύπανση που οφείλεται από τα οχήματα, για αυτόν τον λόγο έχουν τοποθετηθεί και δέντρα κατά μήκος του δρόμου καθώς έχουν την δυνατότητα να φιλτράρουν την ρύπανση.

5.2 Μελλοντικές προτάσεις

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την υπολοίηση της παραπάνω διπλωματικής εργασίας έδωσε θετικά αποτελέσματα και οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα. Μελετήθηκε ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των εστιών του Πολυτεχνείου Κρήτης και του εξωτερικού περιβάλλοντος, η προσομοίωση του μικροκλίματος με το λογισμικό ENVI-met και οι διάφορες μετεωρολογικές τιμές των αποτελεσμάτων. Παρόλα αυτά όμως τα θέματα δεν σταματάνε ποτέ να ερευνούνται καθώς υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας και θα πρέπει να συμβαδίζουν. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για στροφή στην πράσινη ανάπτυξη καθώς το περιβάλλον και γενικότερα ο πλανήτης μας απειλείται, υπάρχουν διάφορα θέματα που μπορούν να διερευνηθούν περαιτέρω. Το λογισμικό ENVI-met μπορεί να δείξει και στοιχεία τα οποία αφορούν και τους δείκτες θερμικής άνεσης P.M.V και P.P.D οπότε θα ήταν ενδιαφέρον μια έρευνα που θα σύγκρινε τους παραπάνω δείκτες με τις απαντήσεις πεζών μέσα από διάφορα ερωτηματολόγια.

Επίσης μια ακόμη αναλυτικότερη έρευνα θα μπορούσε να διεξαχθεί στα ψυχρά υλικά καθώς θα μπορούν να βρεθούν πεζοδρόμια τα οποία θα είναι αρκετά ανθεκτικά με την πάροδο του χρόνου όπως και επίσης θα συμφέρουν και από οικονομική πλευρά. Επιπλέον, θα μπορούσε να γίνει ακριβής μελέτη του εδάφους ώστε να τοποθετηθούν δέντρα που θα προσφέρουν στο μέγιστο στη βελτίωση του μικροκλίματος. Επειδή στην παρούσα διπλωματική ασχοληθήκαμε με το εξωτερικό περιβάλλον, μια ακόμα μελέτη θα μπορούσε να γίνει στα κτίρια των εστιών. Συγκεκριμένα μπορεί να γίνει έρευνα στον έλεγχο της θερμοκρασίας των κτιρίων και στην εξοικονόμηση ενέργειας που καταναλώνεται για ψύξη, θέρμανση και αερισμό. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την επεξεργασία της εξωτερική πλευράς των κτιρίων με την τοποθέτηση πράσινων

οροφών ή υλικών βελτιωμένης μόνωσης, είτε εσωτερικά με την μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης των συσκευών.

6 Βιβλιογραφία

- [1] Β. Σχε and Ι. Κτηριων, “ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ-Υ.Π.Ε.Κ.Α. ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ.” [Online]. Available: www.info-at-central.tee.gr
- [2] N. Gaitani *et al.*, “Improving the microclimate in urban areas: A case study in the centre of Athens,” *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 32, no. 1, pp. 53–71, Feb. 2011, doi: 10.1177/0143624410394518.
- [3] M. Santamouris *et al.*, “ON THE IMPACT OF URBAN CLIMATE ON THE ENERGY CONSUMPTION OF BUILDINGS,” 2001. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/solener
- [4] K. Vasilakopoulou, D. Kolokotsa, and M. Santamouris, *The contribution of bioclimatic architecture in the improvement of outdoor urban spaces*. 2013. doi: 10.1201/b15507.
- [5] N. Gaitani, G. Mihalakakou, and M. Santamouris, “On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces,” *Build Environ*, vol. 42, no. 1, pp. 317–324, Jan. 2007, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2005.08.018.
- [6] S. A. Sarikou, “Unification and Planning of Urban Public Spaces With Bioclimatic Conditions. Case Study Drama, Greece,” 2006. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/23732304>
- [7] Marialena. Nikolopoulou, *Designing open spaces in the urban environment : a bioclimatic approach*. Centre for Renewable Energy Sources (CRES), 2004.
- [8] G. S. Golany, “Urban design morphology and thermal performance,” *Atmos Environ*, vol. 30, no. 3, pp. 455–465, Feb. 1996, doi: 10.1016/1352-2310(95)00266-9.
- [9] H. Tang, J. Liu, and B. Zheng, “Study on the Green Space Patterns and Microclimate Simulation in Typical Urban Blocks in Central China,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142215391.
- [10] “ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΜΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.”
- [11] D. D. Kolokotsa, G. Giannariakis, K. Gobakis, G. Giannarakis, A. Synnefa, and M. Santamouris, “Cool roofs and cool pavements application in Acharnes, Greece,” *Sustain Cities Soc*, vol. 37, pp. 466–474, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.SCS.2017.11.035.
- [12] M. Santamouris, “Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 224–240, Oct. 2013, doi: 10.1016/J.RSER.2013.05.047.
- [13] D. D. Kolokotsa, G. Giannariakis, K. Gobakis, G. Giannarakis, A. Synnefa, and M. Santamouris, “Cool roofs and cool pavements application in Acharnes, Greece,” *Sustain Cities Soc*, vol. 37, pp. 466–474, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.SCS.2017.11.035.
- [14] M. A. Apostolou and M. Apostolou, “Urban eco-acupuncture methods: case study in the city of Athens.” [Online]. Available: <https://shs.hal.science/halshs-01798506>
- [15] M. Santamouris *et al.*, “On the energy impact of urban heat island in Sydney: Climate and energy potential of mitigation technologies,” *Energy Build*, vol. 166, pp. 154–164, May 2018, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2018.02.007.

- [16] D. Kolokotsa, A. Psomas, and E. Karapidakis, "Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete," *Solar Energy*, vol. 83, no. 10, pp. 1871–1883, Oct. 2009, doi: 10.1016/J.SOLENER.2009.06.018.
- [17] Θεοχάρη, Χ. [2003], Η επίδραση των χώρων πρασίνου στο μικρόκλιμα και στον οργανισμό, Heleco 2003: 4η Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία του Περιβάλλοντος , Τόμος Γ. Αθήνα: ΤΕΕ
- [18] "Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met."