



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

**ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ
ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ –
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ
ENVI-MET**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Αντωνίου Ν. Μαλινάκη

Επιβλέπων Καθηγητής : Πουλιέζος Αναστάσιος

Χανιά, Νοέμβριος 2017



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - ΜΑΛΙΝΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25η Φεβρουαρίου 2017

(Υπογραφή)

.....

Πουλιέζος Αναστάσιος

Καθηγητής Π.Κ.

(Υπογραφή)

.....

Παπαευθυμίου Σπύρος

Καθηγητής Π.Κ.

(Υπογραφή)

.....

Δούμπος Μιχαήλ

Καθηγητής Π.Κ.

Χανιά, Νοέμβριος 2017

(Υπογραφή)

.....

Μαλινάκης Ν. Αντώνιος

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

MSc Πολυτεχνείο Κρήτης

Copyright ©ΜΑΛΙΝΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



Αφιερωμένη στην οικογένεια μου,



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αναστάσιο Πουλιέζο , για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και την ουσιαστική του βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Αισθάνομαι επίσης την υποχρέωση να ευχαριστήσω την τεχνική υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης για τη σημαντική συνεισφορά τους στην υλοποίηση αυτής της εργασίας και για το πολύτιμο υλικό που αφειδώς μου προσέφεραν. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για τη βοήθεια που μου παρείχαν διάφοροι τομείς του Πολυτεχνείου Κρήτης στη συλλογή στοιχείων και το δανεισμό σημαντικών άρθρων και βιβλίων.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η παρουσίαση της μελέτης του βιοκλιματικού σχεδιασμού και των συνθηκών άνεσης στους υπαίθριους αστικούς χώρους, καθώς και η προσομοίωση των μικροκλιματικών συνθηκών με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού υπολογιστικής ρευστοδυναμικής ENVI-met. Σκοπός είναι η περιγραφή των αρχών που πρέπει να διέπουν τη σχεδίαση των συνεχώς αυξανόμενων και αναπτυσσόμενων αστικών κέντρων, σύμφωνα με την εγχώρια και τη διεθνή βιβλιογραφία. Για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας συστήθηκε μία εκτενής ανάλυση του λογισμικού, η οποία συμπληρώθηκε με έναν οδηγό για το χρήστη. Αναφορικά με τη δομή της εργασίας, αρχικά παρουσιάζεται η πρόταση βιοκλιματικής ανάπλασης για την κεντρική πλατεία της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης και στη συνέχεια θα αναλυθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που αφορούν στην εν λόγω περιοχή. Τέλος, εξάγονται τα συμπεράσματα και γίνεται συζήτηση αναφορικά με αυτά, με στόχο την εξαγωγή τελικών προτάσεων που έρχονται να προστεθούν στη σύγχρονη βιβλιογραφία.

Λέξεις κλειδιά: προσομοίωση, βιοκλιματική ανάπλαση, υπαίθριοι χώροι, ENVI-met.



ABSTRACT

The purpose of this master thesis is to present the principles of bioclimatic design in urban open spaces, as well as the detailed presentation of the computational fluid dynamics software ENVI-met. The software has been used to study the current situation and to evaluate the proposal for the redesign of the central square of the School of Production Engineering and Management at the Technical University of Crete. Real climatic data were used in the simulations and their results have been evaluated in order to test the reliability and the precision of the program.

Keywords: simulation, bioclimatic design, urban open spaces, ENVI-met.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

1.1	Γενικά	11
1.2	Το μικροκλίμα	12
1.2.1	Ηλιακή, ατμοσφαιρική και γήινη ακτινοβολία.....	13
1.3	Θερμική άνεση στους υπαίθριους χώρους	14
1.3.1	Θερμική άνεση και ανθρώπινη φυσιολογία.....	15
1.3.2	Δείκτες θερμικής άνεσης.....	15
1.4	Θερμική αστική νησίδα.....	18
1.4.1	Παράγοντες που προκαλούν το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας.....	21
1.5	Βελτίωση του αστικού μικροκλίματος	23
1.5.1	Η αστική μορφολογία.....	23
1.5.2	Ο άνεμος.....	25
1.5.3	Οπτική άνεση.....	28
1.5.4	Ηχοπροστασία.....	29
1.6	Επιφάνειες και υλικά δόμησης.....	31
1.6.1	Φυσικές ιδιότητες επιφανειών και δομικών υλικών.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ENVI-met 4.0

2.1	Δυνατότητες και πεδίο εφαρμογής	36
2.2	Γραφική απεικόνιση και δομή του μοντέλου ENVI-met	38

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



2.3	Περιγραφή του προγράμματος	41
2.4	Αναλυτική περιγραφή των εφαρμογών του ENVI-met 4.0.....	43
2.4.1	EagleEye	43
2.4.2	Manage Database.....	44
2.4.3	Albero.....	45
2.4.4	Spaces	46
2.4.5	Biomet.....	51
2.4.6	Leonardo.....	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

3.1	Το κλίμα στην Ελλάδα.....	62
3.2	Η μορφολογία και το κλίμα στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	64
3.3	Η υφιστάμενη κατάσταση στο χώρο της πλατείας της σχολής Μ.Π.Δ.....	65
3.4	Υλικά δόμησης της πλατείας.....	72
3.5	Η βλάστηση της πλατείας.....	73
3.6	Πρόταση βιοκλιματικής αναβάθμισης.....	76
3.7	Στοιχεία προσομοίωσης.....	78
3.7.1	Αποτύπωση του χώρου.....	78
3.7.2	Μετεωρολογικά στοιχεία.....	79
3.8	Βιοκλιματικοί δείκτες.....	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

4.1	Εισαγωγή	85
-----	----------------	----



4.2	Προσομοίωση 1 ^η : Υφιστάμενη κατάσταση – τυπική ημέρα.....	85
4.2.1	Αποτελέσματα θερμοκρασίας.....	98
4.2.2	Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας.....	99
4.2.3	Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας.....	100
4.2.4	Αποτελέσματα ανακλαστικότητας Albedo.....	101
4.3	Προσομοίωση 2 ^η : Υφιστάμενη κατάσταση – Θερμότερη ημέρα.....	102
4.3.1	Αποτελέσματα θερμοκρασίας.....	103
4.3.2	Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας.....	104
4.3.3	Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας.....	105
4.3.4	Αποτελέσματα ανακλαστικότητας Albedo.....	106
4.4	Προσομοίωση 3 ^η : Προτεινόμενη κατάσταση – τυπική ημέρα.....	107
4.4.1	Αποτελέσματα θερμοκρασίας.....	109
4.4.2	Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας.....	111
4.4.3	Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας.....	112
4.4.4	Αποτελέσματα ανακλαστικότητας Albedo.....	113
4.5	Προσομοίωση 4 ^η : Υφιστάμενη κατάσταση – τυπική ημέρα.....	114
4.5.1	Αποτελέσματα θερμοκρασίας.....	114
4.5.2	Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας.....	115
4.5.3	Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας.....	116
4.5.4	Αποτελέσματα ανακλαστικότητας Albedo.....	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1	Εισαγωγή.....	119
-----	---------------	-----



5.2	Σύγκριση αποτελεσμάτων πρώτης και τρίτης προσομοίωσης.....	119
5.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων δεύτερης και τέταρτης προσομοίωσης.....	122

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1	Εισαγωγή.....	126
6.2	Συμπεράσματα.....	126
6.2	Προτάσεις.....	130

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	133
-------------------	-----



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

1.1 Γενικά

Από τις αρχές του 20ου αιώνα, αλλά κυρίως από το 1950 και έπειτα, άρχισε να συντελείται η συγκέντρωση του παγκόσμιου πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.), σήμερα, πάνω από το 50% του πληθυσμού της γης είναι συγκεντρωμένος στα αστικά κέντρα, ενώ για το 2050 εκτιμάται ότι τα 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού θα διαβιούν σε αυτά [1]. Την ίδια στιγμή, προκύπτει η ανάγκη για ένα ποιοτικότερο περιβάλλον εντός του αστικού ιστού το οποίο θα βελτιώσει το βιοτικό επίπεδο των πολιτών. Η ανάγκη αυτή ικανοποιείται μέσα από άνετους ανοιχτούς χώρους, οι οποίοι είναι απαλλαγμένοι από τις αρνητικές συνέπειες της ανθρώπινης παρέμβασης στο φυσικό χώρο, λειτουργικοί αλλά και καλαίσθητοι, που προάγουν τις κοινωνικές συναναστροφές και περιορίζουν την απομόνωση και τον κοινωνικό αποκλεισμό, δεδομένου ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά και η χρήση των χώρων αυτών επηρεάζονται, συνειδητά ή μη, από τις επικρατούσες σε αυτούς συνθήκες [2]. Ταυτόχρονα, τα σύγχρονα αστικά κέντρα θα πρέπει να αναπτύσσονται και να επεκτείνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκαλούν τη μικρότερη δυνατή αλλοίωση στο φυσικό περιβάλλον, να μπορούν να συντηρούν την προϋπάρχουσα βιοποικιλότητα και κυρίως ο σχεδιασμός τους να είναι τέτοιος, που θα συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αφού το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη συναρτάται άμεσα με αυτήν και η αντιμετώπισή του αποτελεί, πλέον, τη μεγαλύτερη και κρισιμότερη πρόκληση [2].

Η βιοκλιματική αντίληψη για τον σχεδιασμό οικιστικών συνόλων και κτιρίων εντάσσεται στη στρατηγική αυτή, μιας ήπιας δηλαδή συμβιωτικής διαχείρισης του φυσικού και δομημένου χώρου και του περιβάλλοντός του, με επιλογές που συντείνουν στη διατήρηση των οικοσυστημάτων. Η αντίληψη αυτή επιχειρεί να επαναπροσδιορίσει την αρχιτεκτονική με αρχές και κατευθύνσεις που βασίζονται στην αρμονική συνύπαρξη φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, χρησιμοποιεί

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET

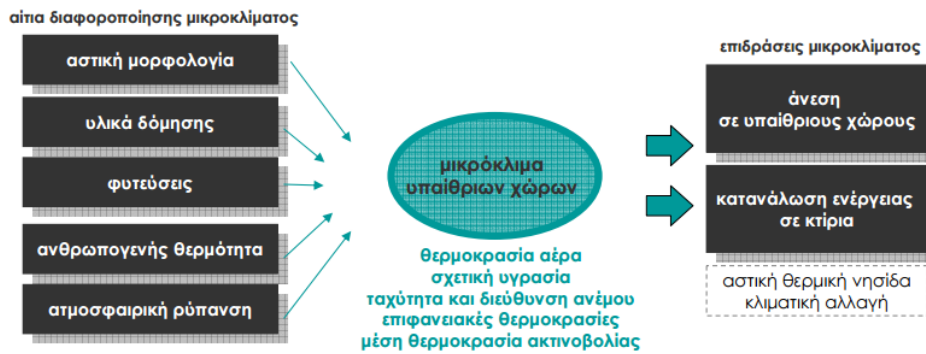


τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως την αδιάπνη ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση και τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων, τους δροσερούς ανέμους για την φυσική τους ψύξη, αποκαθιστώντας έτσι, σε μεγάλο βαθμό, την διαταραγμένη ισορροπία ανάμεσα στον δομημένο και τον φυσικό χώρο [3].

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός του αστικού χώρου είναι μια συνειδητή ενεργειακή προσέγγιση για τη διαχείριση του δομημένου περιβάλλοντος. Αποσκοπεί στην επίλυση των προβλημάτων, τα οποία συνδέονται με την ενέργεια, μέσω μιας προσεκτικής και μελετημένης διαμόρφωσης του αστικού ιστού και των χαρακτηριστικών του μεγεθών, ώστε να βελτιώνεται το μικροκλίμα και η θερμική άνεση στο φυσικό περιβάλλον, ενώ παράλληλα να περιορίζεται η κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων. Ουσιαστικά πρόκειται για μια εμπλουτισμένη άποψη για τον σχεδιασμό του δομημένου χώρου, υφιστάμενου ή νέου, καθώς εμπεριέχει πιο έντονα την περιβαλλοντική διάσταση και την αντίστοιχη ευαισθησία. Η προκύπτουσα αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται φιλική τόσο προς το περιβάλλον όσο και προς τους χρήστες, γιατί διασφαλίζει πιο υγιεινές συνθήκες κατοικισιμότητας, με τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση στο φυσικό χώρο [3].

1.2 Το μικροκλίμα

Στο εσωτερικό μιας αστικής περιοχής συχνά εντοπίζονται διαφοροποιήσεις στο κλίμα από τόπο σε τόπο σε απόσταση ακόμη και μερικών χιλιομέτρων, διαμορφώνοντας έτσι ένα μικρής κλίμακας πρότυπο του κλίματος, το λεγόμενο "μικροκλίμα" [4]. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα είναι: η τοπογραφία, το ανάγλυφο του εδάφους, οι επιφάνειες εδαφοκάλυψης και η αστική μορφολογία [5]. Στην παρακάτω Εικόνα 1.1 παρουσιάζονται εποπτικά οι παράγοντες διαμόρφωσης του μικροκλίματος:



Εικόνα 1.1 Μικροκλίμα υπαίθριων χώρων [6].

Όταν αναφερόμαστε στην «αστική μορφολογία» εννοούμε απλώς την τρισδιάστατη μορφή μιας ομάδας κτιρίων και των χώρων που αυτά δημιουργούν. Ο βασικός λόγος αυτού του τρόπου θεώρησης της αστικής μορφής είναι ότι επιτρέπει στους μελετητές να κατανοήσουν τις επιπτώσεις του στρατηγικού σχεδιασμού, χωρίς να «χαθούν» σε ερωτήσεις σχετικά με τις λεπτομέρειες του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Η αστική μορφολογία είναι πρωταρχικής σημασίας για το υπαίθριο μικροκλίμα [6].

Για την περιγραφή της αστικής μορφολογίας χρησιμοποιούμε μια ποικιλία περιγραφών της μορφής που επιτρέπουν τη συσχέτισή της με την περιβαλλοντική απόδοση. Για παράδειγμα, μπορούμε να συζητήσουμε την επίδραση της γεωμετρίας του κτιρίου στο ηλιακό φως, στον άνεμο ή στο θόρυβο μέσα στους ανοιχτούς χώρους [2].

Γενικά, το μοναδικό μικροκλίμα της κάθε πόλης είναι αποτέλεσμα του πολυσύνθετου δομημένου περιβάλλοντος, της ποσότητας του πρασίνου και της ανθρώπινης δραστηριότητας. Όλα αυτά δημιουργούν μια θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στις αστικές και τις περιαστικές περιοχές [7].

1.2.1 Ηλιακή, ατμοσφαιρική και γήινη ακτινοβολία

Το ισοζύγιο της ακτινοβολίας (R) στο αστικό περιβάλλον ισούται από το άθροισμα της απορροφούμενης εισερχόμενης μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας μείον την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από όλες τις συνιστώσες στην επιφάνεια της γης [21].

$$R = (I_b + I_d) (1 - \alpha) - I_i$$

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



όπου: $I_b + I_d$ είναι η άμεση και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία αντίστοιχα, που προσπίπτει επί της επιφανείας μιας πόλης, α είναι η μέση ανακλαστικότητα των συστατικών της πόλης στην ηλιακή ακτινοβολία. Ο όρος I_i αναφέρεται στο ισοζύγιο της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία:

$$I_i = I_{ib} - I_{ia}$$

όπου: I_{ia} είναι η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τις επιφάνειες της πόλης και I_{ib} είναι η μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα - η ατμόσφαιρα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία, λόγω της παλμικής και περιστροφικής κίνησης των ασύμμετρων μορίων των διαφόρων συστατικών της, όπως οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον - κι απορροφάται από τη δομή της πόλης. Η ηλιακή ακτινοβολία και η διάρκεια της ηλιοφάνειας στο αστικό περιβάλλον είναι σοβαρά μειωμένη λόγω της αυξημένης σκέδασης και απορρόφησης από τα σωματίδια της αστικής ατμόσφαιρας. Η αστική ρύπανση επηρεάζει δραστικά, τη φασματική σύνθεση και την κατεύθυνση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Λόγω της αυξημένης σκέδασης και των χαρακτηριστικών των σκεδαστών, η διάχυση της ακτινοβολίας αυξάνεται ενώ η ορατότητα μειώνεται και το χρώμα του ουρανού αλλάζει. Ειδικότερα, το υπεριώδες τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζεται πολύ περισσότερο από ότι το ορατό και το υπέρυθρο [21].

1.3 Θερμική άνεση στους υπαίθριους χώρους

Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού, κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες [8]. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης στους υπαίθριους χώρους, αν και παρόμοιες με αυτές στους εσωτερικούς χώρους, παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο εύρος και μεταβλητότητα. Εξαιτίας της ιδιαίτερης πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος των υπαίθριων χώρων, σε όρους χρονικής και χωρικής



μεταβλητότητας, όπως επίσης και του μεγάλου εύρους των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτούς, έχουν γίνει πολύ λίγες προσπάθειες για την κατανόηση των συνθηκών θερμικής άνεσης [9].

1.3.1 Θερμική άνεση και ανθρώπινη φυσιολογία

Το ανθρώπινο σώμα παράγει θερμότητα μεταβολίζοντας την τροφή και την ανταλλάσσει με το περιβάλλον μέσω μεταφοράς (convection) και μέσω ακτινοβολίας (radiation). Αυτή είναι η «ξηρά» απώλεια θερμότητας και δύναται να έχει θετικό πρόσημο, δηλαδή το σώμα να προσλαμβάνει θερμότητα, στην περίπτωση όπου η θερμοκρασία του γύρω αέρα ή/και των γύρω επιφανειών είναι υψηλότερη από αυτή του δέρματος, η οποία ισούται περίπου με 34° C [13]. Ένα ποσοστό θερμότητας χάνεται μέσω της εξάτμισης του νερού στους πνεύμονες, σε αναλογία με το ρυθμό της αναπνοής, ο οποίος με τη σειρά του είναι ανάλογος με το ρυθμό του μεταβολισμού. Όταν η «ξηρά» απώλεια θερμότητας δεν είναι αρκετή ώστε να εξισορροπήσει την παραγόμενη από το μεταβολισμό θερμότητα, παράγεται ιδρώτας από τους ιδρωτοποιούς αδένες του δέρματος και η εξάτμισή του προσφέρει τον πρόσθετο αναγκαίο δροσισμό. Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα και την ταχύτητα ροής του. Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας σε υπαίθριους χώρους εξαρτάται από τη μέση θερμοκρασία των γύρω επιφανειών ή αλλιώς τη μέση ακτινοβολούμενη θερμότητα (Mean Radiant Temperature ~ M.R.T.) και κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι η κύρια πηγή πρόσληψης θερμότητας μέσω ακτινοβολίας.

Όσον αφορά την υγρασία, δεν παίζει κανένα ρόλο στην «ξηρά» απώλεια θερμότητας. Επηρεάζει το ρυθμό εξάτμισης του νερού στους πνεύμονες αλλά, σε αντίθεση με την κοινή αντίληψη, δεν επηρεάζει το ρυθμό εξάτμισης του ιδρώτα παρά μόνο σε ακραίες συνθήκες [13].

1.3.2 Δείκτες θερμικής άνεσης

Είναι φανερό ότι η απόκριση σε ζεστό ή κρύο περιβάλλον εξαρτάται κυρίως από τη συνδυασμένη επίδραση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του



περιβάλλοντος, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και επιπρόσθετα, από τον τύπο του ντυσίματος και τη δραστηριότητα. Η γνώση του τρόπου που οι διάφορες μεταβλητές επηρεάζουν τη θερμική άνεση έχει χρησιμοποιηθεί για να μορφοποιηθούν θερμικοί δείκτες και θερμικές κλίμακες που υποδεικνύουν τις επιδράσεις των συνδυασμών των διαφόρων μεταβλητών στην άνεση.

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει, για να συνδυασθούν όλοι αυτοί οι παράγοντες σε ένα μόνο δείκτη, ούτως ώστε να ορισθεί το επίπεδο της θερμικής άνεσης και να αποτελεί μια μέτρηση γύρω από την ποιότητα του περιβάλλοντος. Διάφοροι δείκτες έχουν αναπτυχθεί, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την προσέγγιση του προβλήματος, στην περιοχή των συνθηκών εφαρμογής, στο ενδιαφέρον που αποδίδεται σε καθέναν από τους παράγοντες και στις προσεγγιστικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ανταλλαγών θερμότητας [11].

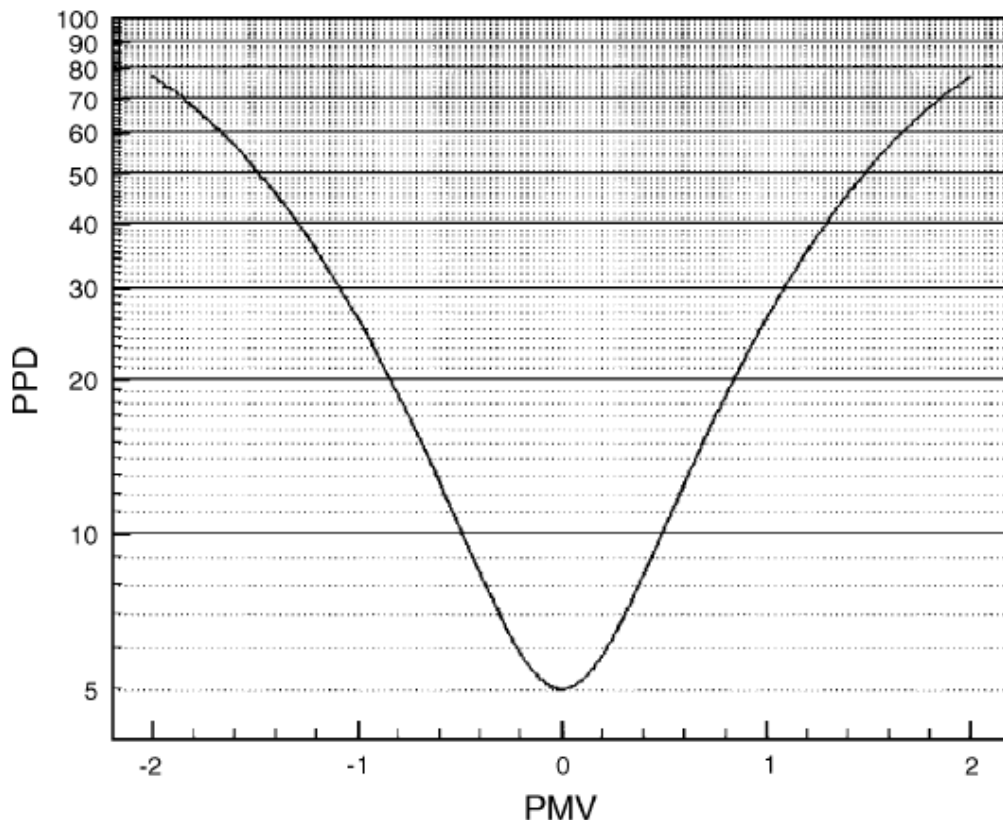
Ο δείκτης PMV βαθμονομείται σε μία κλίμακα 9 σημείων και αποτελεί τη μέση τιμή της εκτίμησης της θερμικής άνεσης από ένα πλήθος ατόμων τα οποία βρίσκονται σε ένα χώρο με δεδομένες συνθήκες και εκτίθενται σε αυτές για χρόνο επαρκή, ώστε να σταθεροποιηθεί ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας του σώματός τους με το περιβάλλον [17]. Η μηδενική τιμή είναι αυτή στην οποία το άτομο αισθάνεται άνετα με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Στον πίνακα 1.1 φαίνεται ο δείκτης PMV και ο συσχετισμός του με την Ισοδύναμη Φυσιολογική Θερμοκρασία PET (Physiological Equivalent Temperature). Η βασική ιδέα της PET είναι η περιγραφή της θερμοκρασίας ενός ισοδύναμου, ιδεατού εσωτερικού περιβάλλοντος, το οποίο αναμένεται να έχει την ίδια επίδραση στη θερμική άνεση με αυτήν του αντίστοιχου εξωτερικού [20]. Ο δείκτης PPD (%) προκύπτει για συγκεκριμένη τιμή του PMV και εκφράζει το προβλεπόμενο ποσοστό, επί τοις εκατό, των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο και δεν αισθάνονται θερμικά άνετα, σε σχέση με το συνολικό αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στο χώρο αυτό. Όταν ο PMV απομακρύνεται από την τιμή του μηδενός, ο PPD, δηλαδή το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων, αυξάνεται. Η σχέση των δύο δεικτών φαίνεται εποπτικά στον Πίνακα 1.1 και στην Εικόνα 1.2.



PMV	PET	Human Sensation	Thermal Stress Level
-3,5	4°C	very cold	extreme coldstress
-2,5	8°C	cold	strong cold stress
-1,5	13°C	cool	moderate cold stress
-0,5	18°C	slightly cool	slight cold stress
0,5	23°C	comfortable	no thermal stress
1,5	29°C	slightly warm	slight heat stress
2,5	35°C	warm	moderate heat stress
3,5	41°C	hot	strong heat stress
		very hot	extreme heat stress

Πίνακας 1.1: Δείκτης PMV, PET, ανθρώπινη αίσθηση θερμικού περιβάλλοντος και θερμικό στρες [16].



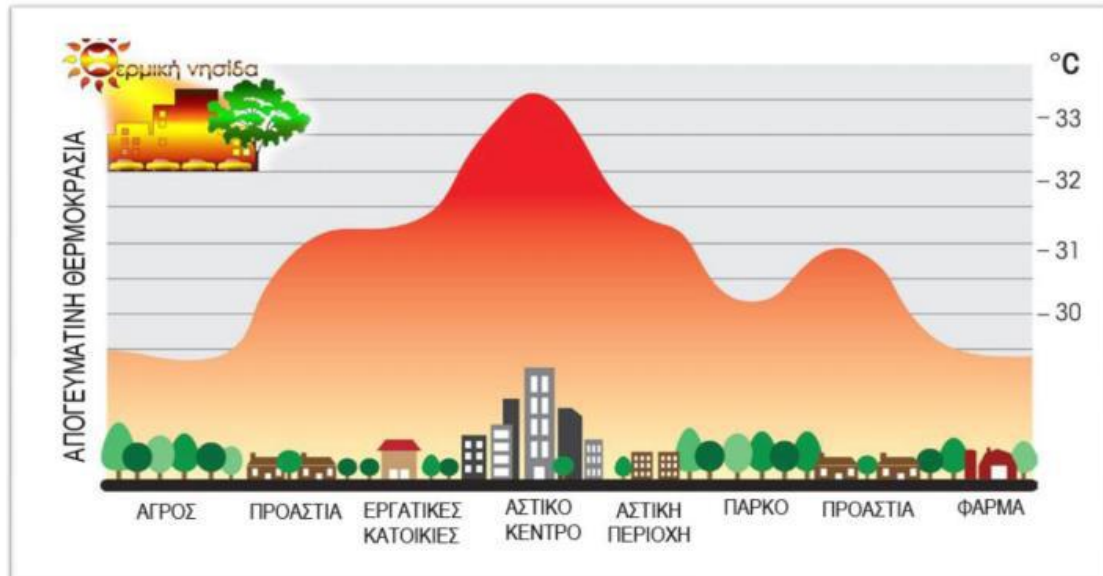
Εικόνα 1.2: Θεωρητικός δείκτης PPD σε συνάρτηση με το δείκτη PMV [10].

1.4 Θερμική αστική νησίδα

Η Αστική Θερμική Νησίδα είναι το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα και των επιφανειών στο εσωτερικό των πόλεων σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες στα περίχωρα τους. Η θερμική νησίδα είναι παρούσα σε κάθε πόλη και είναι η πλέον κλιματική ένδειξη της αστικοποίησης [19]. Αποτελεί κυρίαρχο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής παγκοσμίως. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες του ατμοσφαιρικού αέρα και των επιφανειών του αστικού ιστού. Ο ατμοσφαιρικός αέρας «παγιδεύεται» στον αστικό ιστό στο επίπεδο των κτιρίων φθάνοντας μέχρι και τους 10 °C διαφοράς από τον ατμοσφαιρικό αέρα στα περίχωρα. Ο αέρας πάνω από το επίπεδο της πόλης επηρεάζεται λιγότερο με αποτέλεσμα να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και να παρουσιάζεται το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αντιστροφής, όπου το στρώμα



θερμότερου αέρα βρίσκεται κάτω από το στρώμα ψυχρότερου αέρα. Το φαινόμενο παρουσιάζεται εποπτικά στην Εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3. Το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας [14]

Η παρατηρούμενη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικής και μη δομημένης περιοχής παρουσιάζει ημερήσια διακύμανση. Η μέγιστη τιμή της διαφοράς αυτής σημειώνεται λίγες ώρες μετά τη δύση του ηλίου, γεγονός το οποίο αποδίδεται στον βραδύτερο και πιο ομοιόμορφο ρυθμό ψύξης του αστικού χώρου συγκριτικά με την ελεύθερη δόμησης περιοχή [12]. Αυτό συμβαίνει καθώς η θερμότητα που απορροφάται από τα κτίρια, τους δρόμους και τις άλλες κατασκευές μιας αστικής περιοχής στη διάρκεια της ημέρας, επανεκπέμπονται το βράδυ, δημιουργώντας υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ της αστικής και της γειτονικής αγροτικής περιοχής [15]. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της νύχτας, η αστική και η μη δομημένη περιοχή ψύχονται με τον ίδιο ρυθμό και συνεπώς η μεταξύ τους διαφορά παραμένει σταθερή ή μειώνεται ελαφρά. Μετά την ανατολή του ηλίου η αδόμητη περιοχή θερμαίνεται ταχύτερα, συγκριτικά με τη δομημένη, με αποτέλεσμα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους να αμβλύνεται [12]. Ένα παράδειγμα αυτού του φαινομένου φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 1.4 για την πόλη των Χανίων.



Εικόνα 1.4: Αποτύπωση θερμοκρασιών γύρω από την αστική περιοχή των Χανίων [Google Earth].

Η θερμική νησίδα μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορα τμήματα του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, με αποτέλεσμα να εμφανίζει διαφορετικά χαρακτηριστικά σε καθένα από αυτά και αναγνωρίζονται τρία βασικά ύψη εμφάνισής της [27]:

- στρώματος κτηρίων (UCL)
- οριακού στρώματος (UBL)
- επιφανειακή (SUHI)

Οι δύο πρώτες περιπτώσεις οφείλονται στην αστικοποίηση και αναφέρονται σε μια αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα πάνω από την πόλη, ο οποίος μπορεί να διαχωριστεί σε δύο στρώματα: το αστικό στρώμα κτηρίων (UCL), που είναι το στρώμα που βρίσκεται πλησιέστερα προς την επιφάνεια της πόλης και αποτελείται από τον αέρα που περιέχεται ανάμεσα στα αστικά στοιχεία τραχύτητας (κυρίως κτίρια) και το αστικό οριακό στρώμα (UBL), το οποίο είναι το στρώμα της ατμόσφαιρας που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το αστικό στρώμα κτιρίων. Αυτά τα δύο διακριτά στρώματα και οι αντίστοιχες θερμικές νησίδες που δημιουργούνται, διέπονται από διαφορετικές διαδικασίες. Στην περίπτωση της UBL κυριαρχούν οι διαδικασίες που ενεργούν σε τοπικό ή μεσαίας κλίμακας επίπεδο, ενώ η UCL είναι ένα μικρής κλίμακας φαινόμενο που επηρεάζεται από τη φύση της υποκείμενης επιφάνειας. Τέλος, εμφανίζεται θερμική νησίδα και πολύ κοντά στην επιφάνεια του



εδάφους, η επιφανειακή αστική θερμική νησίδα (SUHI) όπως ίσως θα μπορούσε να ονομασθεί, η οποία αναφέρεται στη σχετικά υψηλότερη θερμοκρασία των αστικών επιφανειών σε σύγκριση με αυτές των γύρω μη αστικών περιοχών [27].

1.4.1 Παράγοντες που προκαλούν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας

A) Οπτικές και θερμικές ιδιότητες των υλικών (ανακλαστικότητα, ικανότητα εκπομπής, θερμοχωρητικότητα) [18]

Η *ανακλαστικότητα* μιας επιφάνειας προσδιορίζει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια και ανακλάται από εκείνη. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της ανακλαστικότητας, τόσο χαμηλότερη ενέργεια απορροφάται από το υλικό. Γενικά, οι αστικές επιφάνειες τείνουν να έχουν χαμηλότερες τιμές ανακλαστικότητας σε σχέση με τις φυτεμένες περιαστικές επιφάνειες, απορροφώντας έτσι μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας. Με αυτό τον τρόπο οι επιφανειακές θερμοκρασίες που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να έχουν μεγαλύτερες τιμές από τη θερμοκρασία αέρα, ακόμα και κατά 30°-40°C. Η θερμοκρασία του αέρα αυξάνει από τη θερμότητα που ανταλλάσσεται με συναγωγή από αυτές τις επιφάνειες. Η ανακλαστικότητα των αστικών επιφανειών είναι, επομένως, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την αύξηση της ζήτησης ενέργειας για ψύξη στις αστικές περιοχές.

Η *ικανότητα εκπομπής* καθορίζει την ακτινοβολία μεγάλου μήκους (θερμική ακτινοβολία) που εκπέμπει ένα σώμα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Όσο πιο μεγάλη είναι η ικανότητα εκπομπής του σώματος τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας εκπέμπει. Είναι, συνεπώς, σημαντική για την ανακατανομή της θερμότητας μέσα στο σύστημα του δομημένου περιβάλλοντος, καθώς και για τις ανταλλαγές θερμότητας από ακτινοβολία με τον ουρανό. Ο ρόλος της ικανότητας εκπομπής στον σχηματισμό της θερμικής νήσου εξαρτάται από την αστική γεωμετρία και τον συντελεστή θέασης των αστικών επιφανειών από τον ουρανό. Ωστόσο, κατά την προσομοίωση της επίδρασης των οπτικών και θερμικών χαρακτηριστικών των υλικών, που ευθύνονται για το φαινόμενο



θερμικής νήσου, διαπιστώθηκε ότι ο ρόλος της ικανότητας εκπομπής είναι δευτερεύων. Καθώς η ικανότητα εκπομπής αυξήθηκε από 0.85 σε 1.00 υπήρχε μικρή αύξηση της έντασης θερμικής νήσου, της τάξης των 0.4K, κατά τη διάρκεια της νύχτας, για πολύ στενά αστικά φαράγγια. Για φαράγγια με μεγαλύτερους συντελεστές θέασης, πρακτικά δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές [23].

Η *θερμοχωρητικότητα* είναι η ικανότητα του σώματος να αποθηκεύει θερμότητα. Οι αστικές κατασκευές έχουν την τάση να έχουν υψηλή θερμοχωρητικότητα. Αντιθέτως, η θερμοχωρητικότητα των φυτών είναι σχεδόν αμελητέα, όπως επίσης και η μάζα τους. Λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας των δομικών υλικών, η ενέργεια που λαμβάνεται από τις αστικές επιφάνειες αρχικά αποθηκεύεται και εκλύεται αργότερα, όταν η περιβάλλουσα θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την επιφανειακή, δηλαδή κατά τη διάρκεια της νύχτας, αυξάνοντας έτσι τη νυχτερινή θερμοκρασία αέρα. Το αποτέλεσμα αυτών των υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι ότι μειώνεται η επίδραση του φυσικού νυχτερινού δροσισμού των κτιρίων, καθώς αυτός εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία και τη ροή του περιβάλλοντος αέρα που κυκλοφορεί στο κτίριο κατά τη διάρκεια της νύχτας [25]. Με αυτό τον τρόπο επιβραδύνεται ο νυχτερινός δροσισμός των επιφανειών και σε ακραίες καταστάσεις εμποδίζεται εντελώς. Σε πυκνές αστικές γεωμετρίες, με περιορισμένη βλάστηση και σκίαση, αυτό το φαινόμενο είναι αρκετά συχνό τη θερινή περίοδο.

B) Έλλειψη υλικών που διαπνέουν (φυτά και πορώδη υλικά)

Στην περιαστική ζώνη κατά τη διάρκεια της ημέρας η απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια στο επίπεδο του εδάφους προκαλεί εξάτμιση του νερού του χώματος και της φύτευσης προκαλώντας μείωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα. Στην πόλη, η έλλειψη πρασίνου και η πληθώρα των αδιάβροχων επιφανειών προκαλεί μείωση του δροσισμού από εξάτμιση και συμβάλλει στις υψηλές ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες.



Γ) Η γεωμετρία μιας περιοχής με βλάστηση και η μορφολογία μιας αστικής περιοχής είναι εντελώς διαφορετικές, με άμεσο αποτέλεσμα στην ταχύτητα και ροή του ανέμου, καθώς και στο σκιασμό των επιφανειών.

Δ) Οι ανθρώπινες δραστηριότητες στις πόλεις, οι οποίες ευθύνονται για ανθρωπογενή παραγωγή θερμότητας (μεταφορές, βιομηχανία, θέρμανση νερού και χώρου, ψύξη χώρου κλπ), καθώς και ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία επηρεάζει τη νέφωση στις πόλεις.

Η ανθρωπογενής θερμότητα είναι η θερμότητα που παράγεται από ανθρώπινες δραστηριότητες στις αστικές περιοχές. Είναι ένας αρκετά σημαντικός παράγοντας στον σχηματισμό της θερμικής νήσου, όταν τόσο η χρήση ενέργειας ανά κεφαλή, όσο και η πυκνότητα του πληθυσμού είναι μεγάλες. Σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας, η ανθρωπογενής θερμότητα μπορεί να είναι ίση ή και μεγαλύτερη από τη χειμερινή ηλιακή ακτινοβολία, ακόμα κι από τη θερινή ηλιακή ακτινοβολία, σε περίπτωση έντονης χρήσης κλιματιστικών. Μετεωρολογικές προσομοιώσεις έδειξαν ότι η ανθρωπογενής θερμότητα σε μεγάλο αστικό κέντρο μπορεί να ευθύνεται για αύξηση της αστικής θερμοκρασίας κατά 2-3°C τόσο τη μέρα, όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας [5]. Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η θερμότητα απορροφάται, αποθηκεύεται, εκλύεται και διανέμεται στο αστικό περιβάλλον, με κύριο αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις. Το φαινόμενο αυξάνεται με τα χρόνια και γίνεται πιο έντονο όσο μεγαλώνει ο αστικός ιστός.

1.5 Βελτίωση του αστικού μικροκλίματος

1.5.1 Η αστική μορφολογία

Ο μελετητής του αστικού περιβάλλοντος έχει διάφορες επιλογές, όσον αφορά τις σχεδιαστικές λύσεις. Η μορφολογία των κτιρίων, τα υλικά, η βλάστηση, τα στοιχεία νερού, ακόμα και ο εξοπλισμός του περιβάλλοντος χώρου μπορούν να συνεισφέρουν στο σχεδιασμό των αστικών χώρων, παρέχοντας προστασία στο χρήστη από τα αρνητικά και έκθεση στα θετικά στοιχεία του κλίματος, αυξάνοντας έτσι τη χρήση των υπαίθριων χώρων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Μπορεί να αναφερθεί κανείς



στην «κατάλληλη ποικιλότητα» όταν οι αρνητικοί παράγοντες μειώνονται και οι θετικές συνθήκες αυξάνονται, παρά στο ιδανικό, ενιαίο μικροκλίμα για μια πόλη [2].

Για παράδειγμα, σε γενικές γραμμές, σε θερμά-ξηρά κλίματα θα πρέπει να υπάρχει περισσότερος σκιασμός παρά θερμική σταθερότητα ενώ σε θερμά-υγρά κλίματα ο άνεμος και ο σκιασμός είναι κρίσιμοι. Σε ψυχρές περιοχές πρέπει να επικρατούν συνθήκες ηλιασμού και άπνοιας. Σε κλίματα με έντονες εποχιακές διαφοροποιήσεις είναι δυνατόν να καθοριστούν ορισμένοι χώροι με συνθήκες κατάλληλες κυρίως για το καλοκαίρι και άλλες για χειμερινή χρήση. Είναι, όμως, πλεονέκτημα για όλα τα κλίματα και όλες τις εποχές, να υπάρχει ένα κατάλληλο εύρος μικροκλιματικών συνθηκών, ώστε να ενισχύεται η ελευθερία επιλογής. Δηλαδή, η επιτυχία ενός αστικού περιβάλλοντος εξαρτάται περισσότερο από την περιβαλλοντική ποικιλότητα, παρά από τη βέλτιστη εξασφάλιση ενιαίων συνθηκών θερμικής άνεσης και στόχος του σχεδιασμού θα πρέπει να είναι η μεγιστοποίηση περιοχών με διαφορετικές συνθήκες, έτσι ώστε να υπάρχει εύρος επιλογής σε σχέση με το κλίμα, τις δραστηριότητες και τις προτιμήσεις των χρηστών. Παρ' όλα αυτά, ο προσδιορισμός των γενικών συνθηκών που είναι ευνοϊκές ανάλογα με το κλίμα ή την εποχή και της επίδρασης που ασκεί η αστική μορφολογία σε αυτές, μπορεί να οδηγήσει τους μελετητές τόσο στη χωρική επιλογή κατάλληλων χρήσεων, αλλά και σε σχεδιαστικές παρεμβάσεις οι οποίες μπορούν να εξασφαλίσουν τις εκάστοτε επιθυμητές συνθήκες [2].

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



1.5.2 Ο άνεμος

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζει τις συνθήκες άνεσης των πεζών σε ανοιχτούς χώρους είναι ο άνεμος. Οι συνθήκες ανέμου είναι δύσκολο να προβλεφθούν και να ελεγχθούν, καθώς επηρεάζονται από μεγάλο αριθμό παγκόσμιων, περιφερειακών και τοπικών παραγόντων. Σε παγκόσμια κλίμακα, ο άνεμος προέρχεται από τον αέρα που κινείται από περιοχές υψηλής πίεσης προς περιοχές χαμηλής πίεσης. Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, που προκαλείται από τα παγκόσμια καιρικά συστήματα, επηρεάζονται από την τυπολογία του τοπίου σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Έτσι, λοιπόν, ενδέχεται να υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις συνθήκες ανέμου σε διαφορετικά σημεία μιας πόλης ή ακόμα από το ένα μέρος ενός χώρου στο άλλο [2].

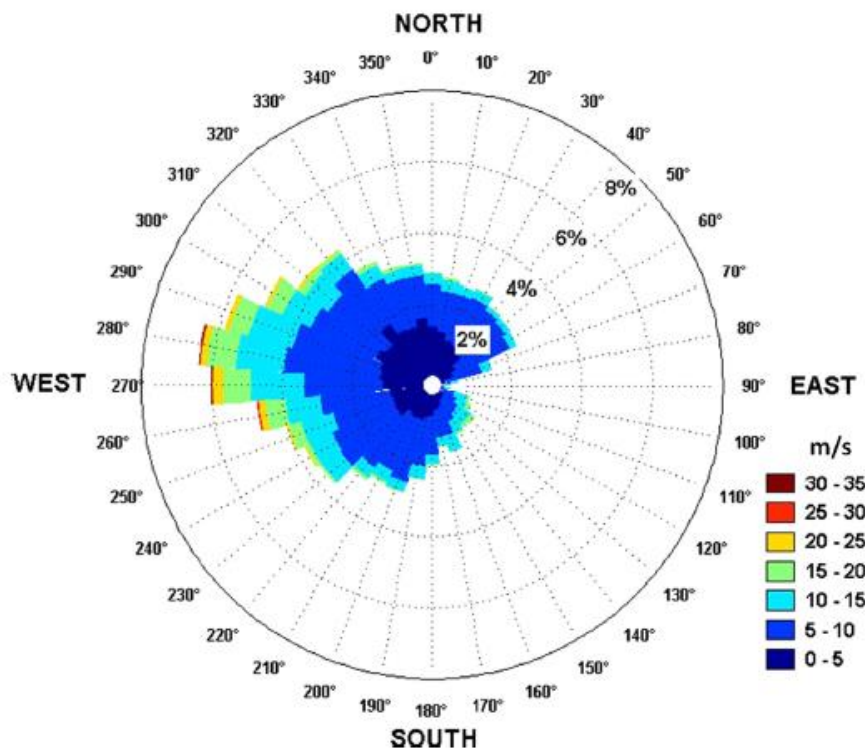
Σε επίπεδο πόλης, μια ορισμένη στάθμη ανέμου μπορεί να χαρακτηριστεί ως επιθυμητή ή ως ανεπιθύμητη, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή. Για παράδειγμα, σε ψυχρά κλίματα ο άνεμος σχεδόν πάντα θα μειώσει τις εξωτερικές συνθήκες άνεσης, ενώ το αντίθετο ισχύει για θερμά κλίματα [2]. Σε επίπεδο όμως ενός συγκεκριμένου υπαίθριου χώρου, ο ίδιος και η χρήση για την οποία προορίζεται καθορίζουν τις επιθυμητές συνθήκες, όπως επίσης ο χρόνος παραμονής σε αυτόν και, ενδεχομένως, η εποχή κατά την οποία χρησιμοποιείται περισσότερο.

Υπάρχουν αρκετές ακόμη παράμετροι που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν αξιολογούνται οι συνθήκες ανέμου σε έναν ανοιχτό αστικό χώρο. Θα πρέπει να εξετάζονται το σχήμα του χώρου και τα χαρακτηριστικά της γύρω περιοχής, να είναι γνωστό εάν αναμένονται υψηλές ταχύτητες ανέμου σε αυτήν, εάν ο χώρος είναι προστατευμένος από τον άνεμο ή εάν βρίσκεται σε μία ανοιχτή περιοχή και εάν τα γύρω κτίρια, εφόσον υπάρχουν, μπορούν να επηρεάσουν τη ροή του.

Τα τοπικά ανεμολογικά στοιχεία είναι σημαντικά για την αξιολόγηση των συνθηκών ανέμου σε ανοιχτούς χώρους. Τα πιο σημαντικά είναι η ταχύτητα και η διεύθυνση την περίοδο κατά την οποία ο χώρος χρησιμοποιείται. Αν χρησιμοποιείται όλο το χρόνο, πρέπει να συλλεχθούν στοιχεία για όλες τις εποχές και για κάθε μήνα, εάν υπάρχουν



διακριτές διαφορές μεταξύ των μηνών της ίδιας εποχής. Τα στοιχεία συνήθως μετρώνται στα 10 μέτρα πάνω από το έδαφος, σε μετεωρολογικούς σταθμούς εγκατεστημένους σε εξοχικές περιοχές. Τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά μπορούν να συλλεχθούν από έναν ανεμολογικό άτλαντα, δηλαδή ένα βιβλίο καταγραφής με ροδογράμματα ανέμου για διάφορες περιοχές της χώρας, που συχνά υπάρχει στα εθνικά μετεωρολογικά ινστιτούτα. Το ροδόγραμμα ανέμου (Εικόνα 1.5) είναι μια γραφική απεικόνιση των τοπικών ταχυτήτων και διευθύνσεων του ανέμου για μία συγκεκριμένη τοποθεσία, οι οποίες βασίζονται σε μετρήσεις μιας μακράς χρονικής περιόδου.



Εικόνα 1.5. Ροδόγραμμα πνοής ανέμου [26].

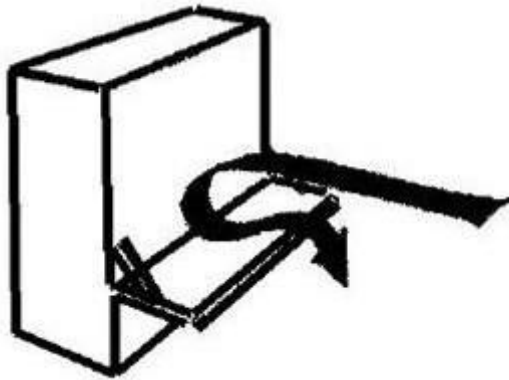
Σημειώνεται ότι η ταχύτητα του ανέμου που μετριέται σε ένα μετεωρολογικό σταθμό σε ύψος 10 μέτρων σε μία ανοιχτή επίπεδη περιοχή, είναι διαφορετική από αυτήν εντός μίας αστικής ή μίας ημιαστικής περιοχής. Η τιμή της μπορεί να αναχθεί στην αντίστοιχη εντός της αστικής περιοχής για δεδομένο ύψος H , πάνω όμως από τις οροφές των κτιρίων [2]. Αυτό δεν μπορεί να γίνει στη ζώνη των πεζών και γενικότερα σε θέσεις όπου τοπικά εμπόδια, όπως κτίρια, κυριαρχούν στο περιβάλλον του ανέμου. Για αυτές τις περιπτώσεις απαιτούνται δοκιμές σε αεροσήραγγα ή εξελιγμένοι



υπολογισμοί ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics - C.F.D.), οι οποίοι χρησιμοποιούν αριθμητικές μεθόδους. Μία εναλλακτική λύση είναι η χρήση διαγραμμάτων, όμως δεν συνίσταται η αναγωγή αποτελεσμάτων από μία γενική μελέτη ή από μία συγκεκριμένη περίπτωση σε άλλο χώρο σε συνθήκες πραγματικού σχεδιασμού διότι η ροή του ανέμου είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και μικρές αλλαγές μπορούν να διαφοροποιήσουν δραματικά το μοτίβο του ανέμου στο χώρο.

Από τα παραπάνω εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι ο κάθε χώρος θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ειδική περίπτωση. Για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να δοθούν αναλυτικές οδηγίες για το σχεδιασμό ανοιχτών αστικών χώρων. Είναι όμως δυνατόν να δοθούν γενικές οδηγίες σχετικά με θέματα τα οποία πρέπει να γνωρίζει ο μελετητής. Για παράδειγμα, πρέπει να αποφεύγονται οι ανοιχτοί χώροι παρακείμενοι σε κτίρια αρκετά υψηλότερα από το μέσο ύψος της γύρω περιοχής. Τέτοια κτίρια μπορούν να προκαλέσουν δυσάρεστο και έντονο κατακόρυφο ρεύμα κατά μήκος των όψεων με φορά προς τα κάτω και να οδηγήσουν σε υψηλής ταχύτητας άνεμο γύρω από τις γωνίες του κτιρίου.

Όσο ψηλότερο το κτίριο, τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητά του. Το αποτέλεσμα είναι έντονες συνθήκες ροής γύρω από τη βάση και τις γωνίες του κτιρίου, αλλά και οριζοντίως, με κατεύθυνση από το κτίριο αντίθετα στην κύρια κατεύθυνση του ανέμου (φαινόμενο Wise) [2]. Ένα μέτρο για την αποφυγή του φαινομένου είναι η χαμηλότερη δόμηση περιμετρικά του ανοιχτού χώρου. Εάν η αντιμετώπισή του δεν είναι ικανοποιητική ή εφικτή, τότε μπορούν να προστεθούν κατασκευαστικά στοιχεία, όπως βεράντες (Εικόνα 1.6). Τα γωνιακά φαινόμενα είναι δύσκολο να αποφευχθούν, αλλά στη ζώνη των πεζών μπορούν να μετριαστούν με τη χρήση ανεμοφρακτών.



Εικόνα 1.6. Βεράντα στη βάση ψηλού κτιρίου για την προστασία κατά της κατακόρυφης ροής του αέρα [2].

1.5.3 Οπτική άνεση

Ένας επιτυχημένος αστικός χώρος σχετίζεται συχνά με μια θετική οπτική εμπειρία. Σε αυτήν την οπτική ικανοποίηση μπορούν να συντελέσουν πολλοί παράγοντες όπως η ανεμπόδιστη θέα του γύρω τοπίου ή των γύρω κτιρίων, η όμορφη βλάστηση, οι εντυπωσιακές προσόψεις των κτιρίων και ο καλοσχεδιασμένος αστικός εξοπλισμός. Όλες αυτές οι παράμετροι σχετίζονται με την αισθητική και είναι, συνεπώς, πηγές «οπτικής ευχαρίστησης».

Από μια πιο τεχνική προσέγγιση, για την εξασφάλιση οπτικής άνεσης πρέπει να παρέχεται σε ένα χώρο επαρκής στάθμη φωτισμού, ενώ πρέπει να αποτρέπεται η αίσθηση της θάμβωσης, η οποία προκαλεί οπτική όχληση ή και παρεμπόδιση της όρασης και προκύπτει όταν το οπτικό πεδίο περιλαμβάνει πολύ υψηλές τιμές φωτεινότητας ή μεγάλες αντιθέσεις φωτεινότητας. Παραλείποντας τις παραμέτρους οπτικής ευχαρίστησης που αναφέρθηκαν παραπάνω και οι οποίες έχουν να κάνουν με την αισθητική, ο σχεδιασμός ενός υπαίθριου χώρου πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε να αξιοποιεί την φυσική πηγή φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή το ηλιακό φως. Η διείσδυση του φυσικού φωτός μέσα στον αστικό ιστό έχει χαρακτηριστεί ως ένας σημαντικός ποιοτικός παράγοντας που απαιτείται να εξασφαλίζεται, ιδιαίτερα σε πυκνοδομημένες περιοχές. Σε πολλές περιπτώσεις, κανονισμοί που αφορούν τον καθορισμό αστικών ζωνών έχουν θεσπιστεί για το σκοπό αυτό [2].



1.5.4 Ηχοπροστασία

Το ακουστικό περιβάλλον είναι μία σημαντική παράμετρος της φυσιολογικής άνεσης στους ανοιχτούς δημόσιους χώρους. Για ένα σωστό και επιτυχημένο σχεδιασμό θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όχι μόνο φυσικές, αλλά και κοινωνικές, ψυχολογικές και φυσιολογικές παράμετροι. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ήχων μέσα στον αστικό ιστό, όπως ήχοι προερχόμενοι από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ήχοι που προορίζονται για να τραβούν την προσοχή και ονομάζονται προβάλλοντες ήχοι ή σήματα και ήχοι που ξεχωρίζουν και αναγνωρίζονται από την τοπική κοινωνία και τους επισκέπτες (και συχνά χαρακτηρίζουν το χώρο), οι οποίοι ονομάζονται ήχοι – ορόσημα. Για κάθε πηγή ήχου πρέπει να ληφθούν υπόψη η στάθμη ηχητικής πίεσης (Sound Pressure Level – SPL), το φάσμα, οι χρονικές συνθήκες, η θέση και η απόσταση της πηγής από τους χρήστες του χώρου, η κίνησή της και τα ψυχολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά [2]. Η στάθμη ηχητικής πίεσης μετريέται σε dBA, ένα μετρικό σύστημα που βασίζεται στην αίσθηση των ανθρώπων σχετικά με τους ήχους.

Η ακουστική επίδραση που ασκεί ο ίδιος ο ανοιχτός αστικός χώρος είναι ιδιαίτερα σημαντική. Τα όρια και τα στοιχεία του τοπίου μπορούν να προκαλέσουν αντήχηση, γεγονός που επηρεάζει την ακουστική άνεση. Η αντήχηση μπορεί να εκφραστεί με καμπύλες εξασθένησης ή χρόνο αντήχησης (RT). Ως χρόνος αντήχησης ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένας ήχος για να εξασθενήσει κατά 60 dB, μετά τη σιγή της πηγής. Πέραν της αντήχησης, το μοτίβο ανάκλασης ή/και ηχώγραμμα πρέπει να ελεγχθεί για τυχόν ακουστικά ελαττώματα, όπως η ηχώ και το εστιακό φαινόμενο (focus effect) [2]. Είναι επίσης χρήσιμη η γνώση του γενικού θορύβου βάθους (υποβάθρου) και των ειδικών ηχητικών πηγών γύρω από τον ανοιχτό χώρο που εξετάζεται ή σχεδιάζεται, καθώς και σε ολόκληρη την πόλη.

Έχει παρατηρηθεί ότι το γύρω ακουστικό περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την υποκειμενική αξιολόγηση ενός ανοιχτού αστικού χώρου. Τα κοινωνικά χαρακτηριστικά των χρηστών επίσης παίζουν σημαντικό ρόλο και θα πρέπει να συλλεχθούν οι σχετικές πληροφορίες. Αυτές περιλαμβάνουν το φύλλο, την ηλικιακή ομάδα, τον τόπο κατοικίας (π.χ. κάτοικος της περιοχής ή από άλλη πόλη), την



προηγούμενη ακουστική εμπειρία, το ακουστικό περιβάλλον στο σπίτι και στο χώρο εργασίας, καθώς και το γενικό κοινωνικό και εκπαιδευτικό υπόβαθρο. Η αλληλεπίδραση μεταξύ της ακουστικής άνεσης και άλλων παραμέτρων, όπως η θερμική και η οπτική άνεση, επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη. Για παράδειγμα, η επίδραση των οπτικών εικόνων περιορίζει την αρνητική εντύπωση μιας χαμηλής ηχητικής ποιότητας αντιστοιχώντας, σε ορισμένες περιπτώσεις, σε μείωση κατά 10dB της στάθμης ηχητικής πίεσης [2].

Ένα πλαίσιο για το σχεδιασμό του ηχητικού τοπίου παρουσιάζεται στην εικόνα 1.7. Για να δημιουργηθεί ένα καλό ακουστικό περιβάλλον, συνιστάται ο έλεγχος του θορύβου βάθους (υποβάθρου) ώστε αυτός να μην υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο, συνήθως τα 65dBA. Η μείωση του θορύβου μπορεί να γίνει σε 3 σημεία: στην πηγή, στην πορεία του ήχου και στο δέκτη. Σε ένα ελεύθερο πεδίο, κάθε διπλασιασμός της απόστασης συνεπάγεται πτώση της στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) κατά 6 dB για μια σημειακή πηγή και 3 dB για μια γραμμική πηγή [2]. Για τη μείωση της στάθμης ήχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν «ηχοφράγματα».



Εικόνα 1.7. Διαδικασία σχεδιασμού του ακουστικού τοπίου [2].



Με την αύξηση του συντελεστή απορρόφησης των ορίων, η στάθμη ηχητικής πίεσης μειώνεται αναλογικά. Σε αστικούς χώρους με όρια διαχυτικά ανακλαστικά η αντήχηση είναι πολύ μικρότερη και η εξασθένηση του ήχου μεγαλύτερη από ότι σε αυτούς με γεωμετρικά ανακλαστικά όρια, εκτός αν ο λόγος ύψος/πλευρά είναι μεγάλος, για παράδειγμα ίσος με την μονάδα. Ακόμα και για όψεις ή έδαφος, όπου μόνο το 20% περίπου της ενέργειας που προσπίπτει στα όρια ανακλάται διαχυτικά, το ακουστικό πεδίο πλησιάζει αυτό που προκύπτει από καθαρά διαχυτικά ανακλαστικά όρια. Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση της προσθήκης, ακόμα και μικρού, ποσοστού διάχυσης σε έναν αστικό χώρο όπου οι ανακλάσεις είναι κυρίως κατοπτρικές μπορεί να είναι πολύ αποδοτική στη μείωση του αστικού θορύβου.

Όπως τα διαχυτικά όρια, έτσι και ο εξοπλισμός του δρόμου, όπως φωτιστικά, φράχτες, τοίχοι, παγκάκια, τηλεφωνικοί θάλαμοι κ.λπ. μπορεί να είναι πολύ αποδοτικός στη μείωση του θορύβου [2].

Ένα δευτερογενή ρόλο, αλλά εξίσου σημαντικό, στη μείωση του αστικού θορύβου έχει και η φύτευση. Η συμβολή της στον έλεγχο της αντανάκλασης της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος καθώς και σε κατακόρυφες επιφάνειες είναι σπουδαία. Η ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται και μειώνεται σε ένταση, ενώ η θάμβωση από την οπτική επαφή με τον έντονα φωτεινό ουράνιο θόλο ελαττώνεται με τη χρήση δέντρων [2].

Ο έλεγχος της φωτεινής ακτινοβολίας από τα φυτά που βρίσκονται κοντά στα κτίρια ή τον περιβάλλοντα χώρο επιτρέπει στο μελετητή να αυξήσει το μέγεθος των ανοιγμάτων των κτιρίων, χωρίς να προκαλούνται προβλήματα στην οπτική άνεση.

1.6 Επιφάνειες και υλικά δόμησης

Τα υλικά του αστικού περιβάλλοντος, περιλαμβανομένων και των υλικών των κτιρίων, των συστημάτων σκίασης και της βλάστησης, παίζουν σημαντικό ρόλο τροποποιώντας το μικροκλίμα και τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Οι επιφανειακές τους θερμοκρασίες επηρεάζουν τη θερμική ισορροπία και την άνεση μέσω της ακτινοβολούμενης θερμότητας, η οποία είναι κυρίαρχη σε ένα περιβάλλον όχι καλά αεριζόμενο, κάτι που αποτελεί συχνή συνθήκη στους αστικούς χώρους στο επίπεδο



των πεζών [2]. Έχουν δημιουργηθεί τεχνητά υλικά που παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα στη μικρού κύματος ακτινοβολία και παράλληλα υψηλές τιμές ικανότητας ακτινοβολίας. Αυτά τα υλικά γνωστά ως «ψυχρά» υλικά, έχουν γίνει αντικείμενο σοβαρής έρευνας κατά τη διάρκεια της τελευταίων χρόνων. Ακολουθεί πίνακας με τα χαρακτηριστικά των ψυχρών υλικών.



Σχήμα 1.8: Χαρακτηριστικά ψυχρών υλικών [21].

1.6.1 Φυσικές ιδιότητες επιφανειών και δομικών υλικών.

Οι ιδιότητες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία των εξωτερικών επιφανειών και των δομικών στοιχείων μίας πόλης είναι [22]:

- Η ανακλαστικότητα (albedo) και η απορροφητικότητα προς την ηλιακή ακτινοβολία (Πίνακας 1.2).
- Ο συντελεστής θερμικής εκπομπής
- Η θερμοχωρητικότητα
- Η θερμική αντίσταση



Πίνακας 1.2: Κατάταξη υλικών επίστρωσης επιφανειών σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την ανακλαστικότητα τους [24].

	Ανακλαστικότητα (Albedo) 0.1 – 0.3	Ανακλαστικότητα (Albedo) 0.4 – 0.6	Ανακλαστικότητα (Albedo) 0.7 – 0.9
Επιφάνειες	Μαύρη άσφαλτος Σκούρο σκυρόδεμα Γρασίδι Σχιστόλιθος	Ανοιχτόχρωμο σκυρόδεμα Οξειδωμένος χαλκός Κόκκινος οπτόπλινθος Πέτρα	Ασβεστόλιθος Λευκό μάρμαρο Λευκό επίχρισμα

Οι πόλεις παρουσιάζουν μειωμένη ανακλαστικότητα (0.15 – 0.30) στην ηλιακή ακτινοβολία λόγω των σκουρόχρωμων επιφανειών των κτιρίων και των δρόμων και αυξημένη θερμοχωρητικότητα. Για την αντιστροφή του φαινομένου αυτού και την αύξηση της ανακλαστικότητας θα πρέπει να επιλέγονται υλικά με δείκτη ανακλαστικότητας $\Sigma \geq 0,50$, ανοιχτόχρωμης επίστρωσης, ειδικά σε περιοχές με υψηλές τιμές του λόγου ύψος/πλάτος καθότι πέρα από τη μειωμένη απορρόφηση ακτινοβολίας, ευνοούν και το φυσικό φωτισμό. Επίσης, θα πρέπει, γενικά, να επιλέγονται υλικά μειωμένης απορροφητικότητας και με αυξημένο δείκτη υδατοπερατότητας για την επίστρωση των δρόμων και των ελεύθερων επιφανειών όπως χώμα, γρασίδι, πλάκες σχιστόλιθου και κυβόλιθοι με τραχιά επιφάνεια σε βάση από χλοοτάπητα [24]. Τέτοια υλικά παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 1.9: Επίστρωση δρόμων και ελεύθερων επιφανειών με υλικά μειωμένης απορροφητικότητας και αυξημένης υδατοπερατότητας [22].

Τα υλικά των επιφανειών, πέραν του θερμικού περιβάλλοντος, αποτελούν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει και το οπτικό περιβάλλον. Ανοιχτά χρώματα και ανακλαστικές επιφάνειες μπορεί να αποτρέπουν την υπερθέρμανση, αλλά είναι δυνατόν να δημιουργήσουν θάμβωση και ανάκλαση της ακτινοβολίας προς τους χρήστες του χώρου και τις επιφάνειες των γύρω κτιρίων [42]. Όπως έχει αναφερθεί, η επικάλυψη των επιφανειών με βλάστηση αποτελεί τη βέλτιστη λύση αφού, όχι μόνο εμποδίζει τις ανακλάσεις, αλλά συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής, δηλαδή της απελευθέρωσης νερού υπό μορφή υδρατμών τόσο μέσω της φυσικής εξάτμισης όσο και μέσω της διαπνοής. Ακόμη, οι επιφάνειες των κτιρίων μπορούν, κατά περίπτωση, να βάφονται με χρώματα ανοιχτά ώστε να μην υπερθερμαίνονται.

Τέλος, η ύπαρξη του υδάτινου στοιχείου μέσα στον αστικό ιστό είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το νερό διαθέτει πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από άλλα δομικά στοιχεία του αστικού χώρου και λειτουργεί σαν σταθεροποιητικός παράγοντας για το θερμικό περιβάλλον μιας πόλης [22]. Μέσω της φυσικής διαδικασίας της εξάτμισης, υδάτινες επιφάνειες, όπως αυτές σε λεπτά στρώματα τρεχούμενου νερού, καταρράκτες, λίμνες ή σιντριβάνια (Εικόνα 1.10), μπορούν να συνεισφέρουν στο

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



δροσισμό του αέρα, ειδικά αν συνδυαστούν με τεχνικές αερισμού. Υπενθυμίζεται ακόμη ότι ο ήχος του τρεχούμενου νερού σε δημόσιους ανοιχτούς χώρους, όπως πάρκα και πλατείες, καλύπτει τοπικά τη βοή που δημιουργούν οι ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες, δημιουργώντας ευνοϊκές και ελκυστικές συνθήκες για τους χρήστες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σιντριβάνι στο Kansas city, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.10 παρακάτω.



Εικόνα 1.10: Σιντριβάνι στο Kansas city, usa [web].



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ENVI-met 4.0

2.1 Δυνατότητες και πεδίο εφαρμογής

Το ENVI-met είναι ένα τρισδιάστατο, μη υδροστατικό μοντέλο για την προσομοίωση, κυρίως μέσα στον αστικό ιστό, της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφόρων επιφανειών, της βλάστησης και του αέρα. Επιτρέπει τη διερεύνηση της επίδρασης που ασκούν μικρής κλίμακας παρεμβάσεις στον αστικό ιστό όπως, για παράδειγμα, η φύτευση δέντρων, η δημιουργία χώρων πρασίνου και η δημιουργία συγκροτημάτων κτιρίων στο αστικό μικροκλίμα. Η χωρική του ανάλυση επιτρέπει την προσομοίωση της παραπάνω αλληλεπίδρασης σε μικρή κλίμακα [28].

Οι υπολογισμοί που εμπεριέχει το πρόγραμμα περιλαμβάνουν:

- Μικρού και μεγάλου μήκους ακτινοβολίες με σεβασμό στη σκίαση, την αντανάκλαση και την εκ νέου ακτινοβολία από τα κτίρια και την βλάστηση.
- Διαπνοή, εξάτμιση και αισθητή ροή θερμότητας από τη βλάστηση στον αέρα, συμπεριλαμβανομένης της πλήρους προσομοίωσης όλων των φυσικών παραμέτρων των φυτών (π.χ. ρυθμός φωτοσύνθεσης).
- Δυναμικό υπολογισμό της θερμοκρασίας των επιφανειών και των τοίχων για κάθε πρόσοψη και κάθε είδους στέγης των κτιρίων, υποστηρίζοντας μέχρι και τρία διαφορετικά στρώματα υλικών και 7 σημεία υπολογισμού στους τοίχους και τις στέγες.
- Ανταλλαγή νερού και θερμότητας στο εδαφικό προφίλ.
- Τρισδιάστατη αναπαράσταση της βλάστησης.
- Διασπορά των αερίων ρύπων και σωματιδίων συμπεριλαμβανομένης της καθίζησης των σωματιδίων σε φύλλα και επιφάνειες. Το μοντέλο υποστηρίζει μικροσωματίδια, αδρανή αέρια και οξείδια του αζώτου.
- Υπολογισμό των βιομετεωρολογικών δεικτών: Mean Radiant Temperature (μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία), PMV / PPD (Predicted Mean Vote)



/(Predicted Percentage of Dissatisfied), PET (Physiological equivalent temperature) ή UTCI (Universal Thermal Climate Index) [28].

Στα νέα χαρακτηριστικά της τελευταίας έκδοσης V4.0 του ENVI-met περιλαμβάνονται:

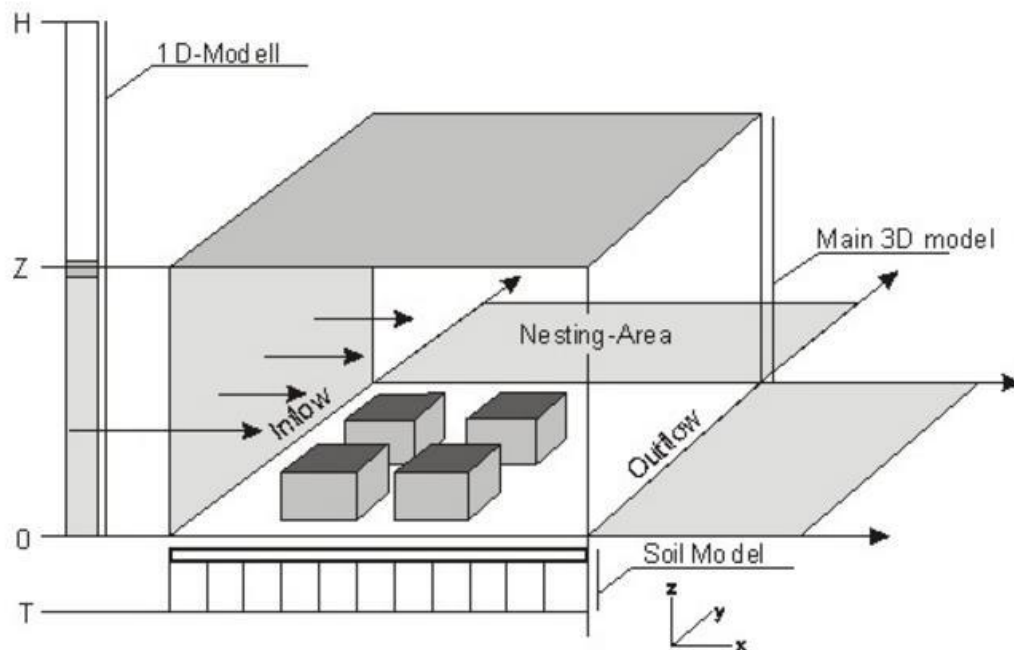
- Πλήρως τρισδιάστατη γεωμετρία μοντέλου, επιτρέποντας το σχεδιασμό περίπλοκων περιβαλλόντων.
- Σε κάθε τοίχο και στέγη μπορούν να τοποθετηθούν ξεχωριστά υλικά (set individual segment).
- Βελτιωμένες μέθοδοι υπολογισμού για όλες τις μεταβλητές της ατμόσφαιρας.
- Τρισδιάστατη βλάστηση με τρισδιάστατα μοντέλα ριζών που αλληλεπιδρούν με το νερό του εδάφους.
- Το βάθος του εδαφικού προφίλ αυξήθηκε στα -5m.
- Η ανταλλαγή θερμότητας μέσα στο έδαφος είναι πλήρως τρισδιάστατη πλέον σε όλα τα στρώματα επιτρέποντας την προσομοίωση της πλευρικής ροής θερμότητας.
- Οι προσόψεις και οι στέγες μπορούν να αποτελούνται από, και μέχρι 3 διαφορετικά στρώματα υλικών [28].

Στο μοντέλο ENVI-met, σύμφωνα με το δημιουργό του Michael Bruse, παρουσιάζεται η ανοδική ή η καθοδική τάση της θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης μετά από αλλαγές και παρεμβάσεις που μπορεί να γίνουν σε μία αρχική κατάσταση. Η μοντελοποίηση συμβαίνει σε "ιδανικές" ημέρες χωρίς την παράμετρο τυχαίων περιστατικών αλλά με τις μέσες τιμές της περιόδου που μελετάται. Ως μοντέλο δεν έχει σκοπό να αναπαραστήσει μια μεμονωμένη ημέρα με ειδικές συνθήκες αλλά να κατανοήσει τη δυναμική του συγκεκριμένου αστικού περιβάλλοντος [28].



2.2 Γραφική απεικόνιση και δομή του μοντέλου ENVI-met

Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται η βασική δομή ενός μικροκλιματικού μοντέλου όπως το ENVI-met.



Εικόνα 2.1: Σχηματική δομή μοντέλου [28].

Η δομή αυτή δεν αφορά μόνο στο εν λόγω μοντέλο αλλά χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα τρισδιάστατα αριθμητικά μοντέλα. Είναι σχεδιασμένο στις 3 διαστάσεις του χώρου με τις δύο οριζόντιες (x και y) και τη μία κατακόρυφη (z). Στο εσωτερικό του μπορούν να τοποθετηθούν τα τυπικά στοιχεία που αντιπροσωπεύουν την περιοχή ενδιαφέροντος όπως κτίρια, βλάστηση και διάφορα είδη επιφανειών. Για να γίνει χρήση ενός αριθμητικού μοντέλου, η περιοχή ενδιαφέροντος θα πρέπει να αναχθεί σε μια εσχάρα κελιών (grid cells). Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των κελιών, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Απ' την άλλη, χρησιμοποιώντας μικρά κελιά, συνεπάγεται ότι απαιτούνται περισσότερα από αυτά για να καλύψουν την εκάστοτε περιοχή. Σε κάθε προσομοίωση απαιτείται ένας συμβιβασμός μεταξύ της ακρίβειας και της ανάλυσης του μοντέλου, στοιχεία που επηρεάζονται άμεσα από τον αριθμό των κελιών. Αναφέρεται στο σημείο αυτό, ως εμπειρικός κανόνας, ότι φτάνοντας τα 100 x 100 x 30 κελιά (ή οποιονδήποτε άλλο



συνδυασμό), το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί μεγάλο και θα απαιτηθεί αρκετός χρόνος επεξεργασίας για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Λόγω των περιορισμών που θέτουν οι επεξεργαστές και η διαθέσιμη μνήμη των κοινών Η/Υ, χρησιμοποιούνται διάφορες στρατηγικές ώστε να καλυφθούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερες περιοχές με τα λιγότερα δυνατά κελιά. Μια τέτοια στρατηγική αποτελεί η χρήση ενός πρόσθετου, μονοδιάστατου μοντέλου, 1D-Model. Για να επιτευχθεί μια ακριβής προσομοίωση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο οριακό στρώμα (το κατώτερο στρώμα της τροπόσφαιρας το οποίο επηρεάζεται άμεσα από την παρουσία του εδάφους μέσω της τυρβώδους ροής θερμότητας) είναι αναγκαίο να επεκταθεί το μοντέλο μέχρι το ύψος των 2500m.

Καθώς δεν είναι δυνατή (αλλά ούτε και απαραίτητη) αυτή η επέκταση του τρισδιάστατου (3D) μοντέλου, υπάρχει ένα μοντέλο (1D) μίας διάστασης (της z), το οποίο αναλαμβάνει τον υπολογισμό από την κορυφή του 3D μοντέλου (που είναι συνήθως μεταξύ 50m και 200m) μέχρι το συνολικό ύψος των 2500m. Επιπλέον, το μονοδιάστατο μοντέλο παρέχει το κατακόρυφο προφίλ όλων των μεταβλητών για το όριο εισροής (Inflow Boundary) του 3D μοντέλου. Το τελευταίο ορίζεται ως το όριο στην προσήνεμη πλευρά του μοντέλου [28].

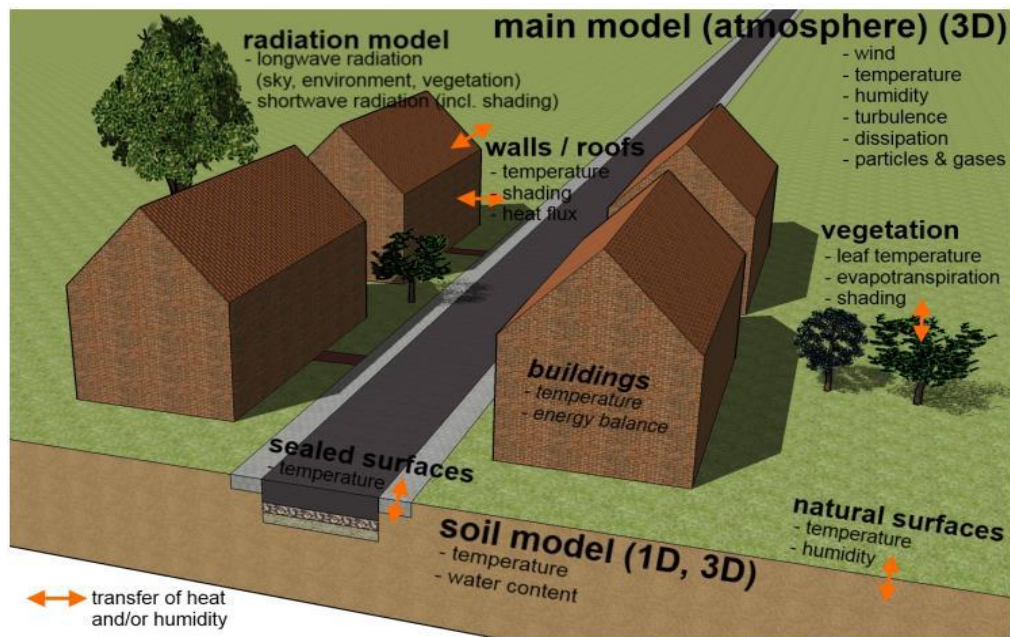
Μια άλλη μέθοδος για την κάλυψη μεγαλύτερων εκτάσεων στο οριζόντιο επίπεδο, χωρίς ο αριθμός των κελιών της εσχάρας να αυξάνεται υπερβολικά, είναι η χρήση μιας δευτερεύουσας περιοχής (Nesting Area). Η δευτερεύουσα περιοχή είναι μια ζώνη κελιών που περιβάλλει τον πυρήνα του τρισδιάστατου μοντέλου. Όσο τα κελιά απομακρύνονται από τον πυρήνα του μοντέλου, τόσο αυξάνεται το μέγεθός τους. Το γεγονός αυτό επιτρέπει να απομακρυνθούν τα όρια του μοντέλου από τον πυρήνα χωρίς να σπαταληθούν πολλά υπολογιστικά κελιά. Η δευτερεύουσα αυτή περιοχή δημιουργείται αυτόματα από το πρόγραμμα ώστε να επιτευχθεί η εν λόγω απομάκρυνση των ορίων [28].

Το εδαφικό μοντέλο (Soil Model) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας από τις επιφάνειες στην εδαφική μάζα και αντιστρόφως. Επίσης, το υδρολογικό κομμάτι του εδαφικού μοντέλου παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το διαθέσιμο νερό στο έδαφος. Οι πληροφορίες αυτές απαιτούνται για την εκτίμηση της μέγιστης διαπνοής από τη βλάστηση και του διαθέσιμου νερού στην



επιφάνεια του εδάφους. Το εδαφικό μοντέλο φτάνει σε βάθος 5 m , όπου οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας θεωρούνται σταθερές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Οι μεταβλητές που υπολογίζονται είναι η θερμοκρασία του εδάφους και η περιεκτικότητά του σε νερό.

Τέλος, η σωστή επιλογή του ύψους του μοντέλου είναι καθοριστικής σημασίας για μία επιτυχημένη προσομοίωση. Οι οριζόντιες διαστάσεις του μοντέλου είναι εμφανείς (μήκος και το πλάτος της περιοχής που μας ενδιαφέρει). Αντίθετα η κατακόρυφη διάσταση δεν είναι προφανής και -αν δεν επιλεγθεί σωστά- μπορεί να προκαλέσει μείζονα προβλήματα. Το ύψος του 3D μοντέλου προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των κατακόρυφων κελιών επί τη διάστασή τους. Αν στην περιοχή προσομοίωσης το υψηλότερο κτίριο είναι 30 μέτρα και θέσουμε 20 κελιά των 2 μέτρων συνεπάγεται ότι η κορυφή του 3D μοντέλου θα είναι στα 40 μέτρα. Εκ πρώτης όψεως φαίνονται αρκετά τα 40 μέτρα, όμως το άνω όριο του μοντέλου λειτουργεί ως σύνορο στις διαδικασίες της προσομοίωσης. Αυτό σημαίνει ότι η ροή του ανέμου θα πρέπει να συμπιεστεί στα 10 μέτρα μεταξύ της κορυφής των κτιρίων και του άνω ορίου του μοντέλου, πράγμα που θα οδηγούσε σε φαινόμενα αεροχειμάρρου, τα οποία είναι εσφαλμένα [28]. Έτσι έχει προκύψει ως εμπειρικός κανόνας, το συνολικό ύψος του μοντέλου να είναι τουλάχιστον διπλάσιο από το υψηλότερο κτίριο της περιοχής προσομοίωσης, και τουλάχιστον 30m.

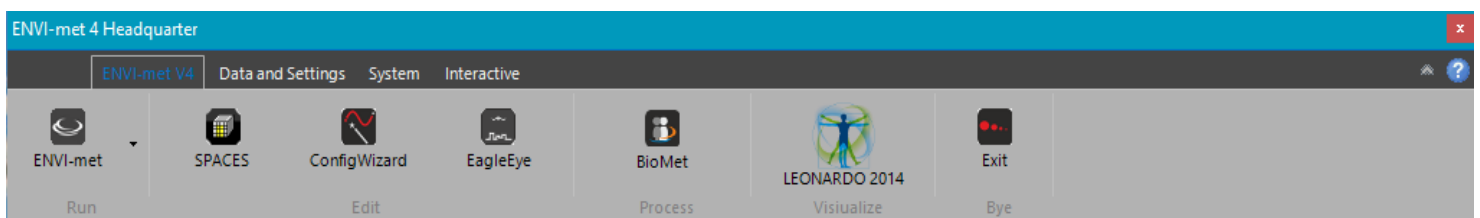


Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση του υπό-μοντέλου του ENVI-met [28].

2.3 Περιγραφή του προγράμματος

Το πρόγραμμα ENVI-met αποτελείται από πολλές αυτόνομες εφαρμογές για κάθε στάδιο της προσομοίωσης.

“Ανοίγοντας” το πρόγραμμα προβάλλεται το αρχικό παράθυρο *headquarter*, στο οποίο απεικονίζονται οι βασικές εφαρμογές του, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.3.



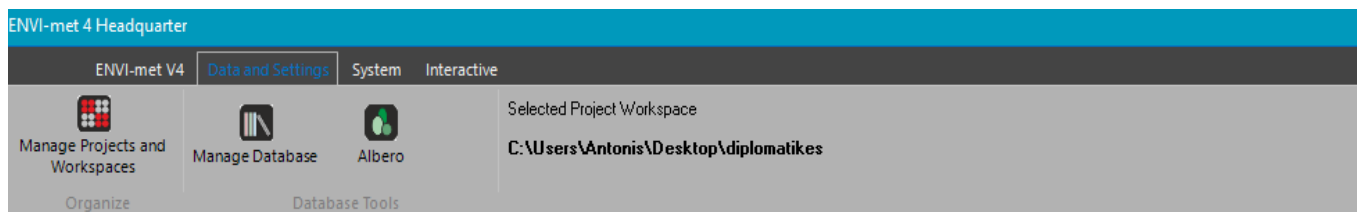
Εικόνα 2.3: ENVI-met headquarter, παράθυρο ENVI-met V4 [28].

Στην επιλογή της καρτέλας *ENVI-met V4* εμφανίζονται οι παρακάτω εφαρμογές του προγράμματος:



- **ENVI-met core:** Εφόσον έχουν δοθεί όλα τα δεδομένα στο πρόγραμμα, “τρέχει” την προσομοίωση.
- **SPACES:** Γίνεται ο σχεδιασμός της υπό μελέτης περιοχής, δηλαδή εισάγεται η περιοχή ενδιαφέροντος (*area input file*).
- **ConfigWizard:** Χρησιμοποιείται για να δοθούν τα στοιχεία της προσομοίωσης, όπως μετεωρολογικά χαρακτηριστικά, ώρα έναρξης της προσομοίωσης κλπ.
- **EagleEye:** Είναι μία βοηθητική εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιείται το *Google Earth* και δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να περιορίσει ακριβώς τα όρια της περιοχής που προσομοιάζεται καθώς και να αποθηκεύσει μία αεροφωτογραφία αυτής της περιοχής (*bitmap*), η οποία θα χρησιμοποιηθεί ως “οδηγός” (παρασκηνιακή εικόνα) στο *spaces* για το σχεδιασμό κτιρίων, φυτών κλπ.
- **Biomet:** Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης του χρήστη μέσω θερμικών δεικτών εφόσον το πρόγραμμα έχει “τρέξει” και έχει γίνει εξαγωγή των δεδομένων (*output files*).
- **LEONARDO 2014:** Είναι η κύρια εφαρμογή απεικόνισης των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Αναλύει τα αποτελέσματα και δημιουργεί δισδιάστατους και τρισδιάστατους χάρτες.

Στην επόμενη καρτέλα *Data and Settings* (Εικόνα 2.4) δίνονται οι παρακάτω λειτουργίες:



Εικόνα 2.4: ENVI-met headquarter, παράθυρο Data and settings [28].

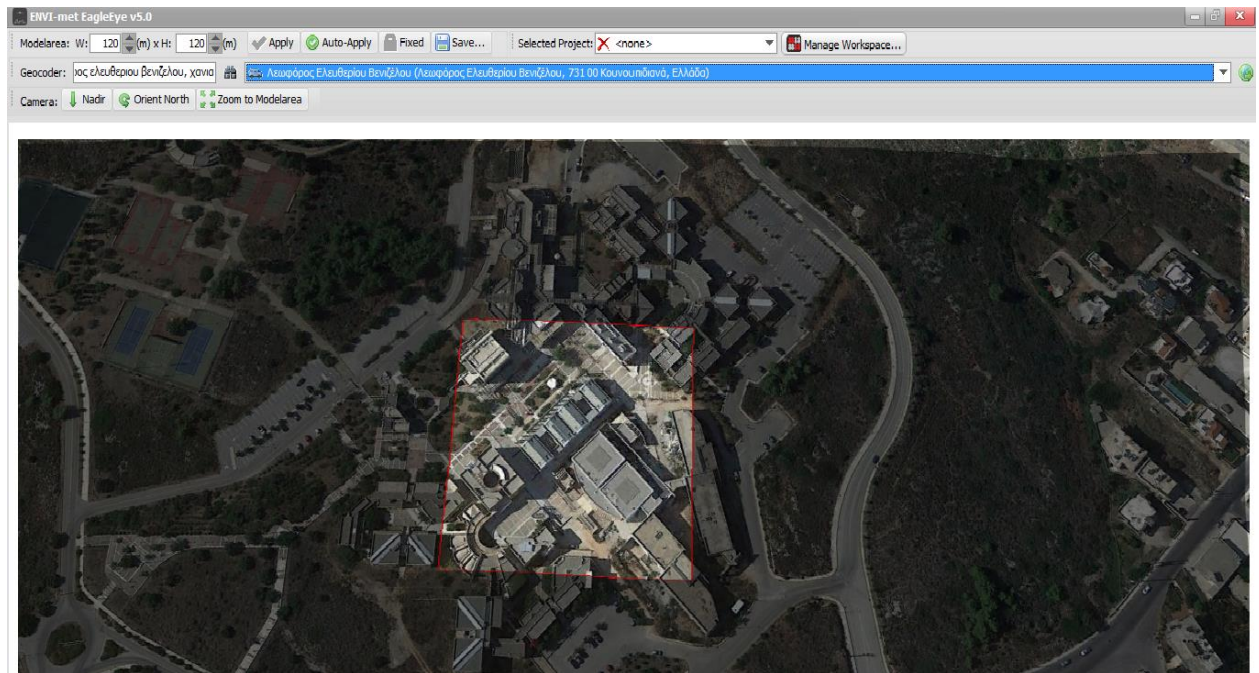


- **Manage Projects and Workspaces:** Χρησιμεύει στην ταξινόμηση των εργασιών (projects). Δίνεται ονομασία σε αυτά καθώς και στους φακέλους μέσα στους οποίους βρίσκονται.
- **Manage Database:** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ή την τροποποίηση της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται στην απεικόνιση του μοντέλου. Περιέχει τύπους εδαφών, φυτών, πηγών εκπομπής ρύπων, υλικών κ.ά.
- **Albero:** Είναι μια εφαρμογή η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και την τροποποίηση τρισδιάστατων φυτών.

2.4 Αναλυτική περιγραφή εφαρμογών του ENVI-met 4.0

2.4.1 EagleEye

Στο *geocoder* πληκτρολογείται η διεύθυνση της περιοχής ενδιαφέροντος μας και κατόπιν πατώντας *enter* εμφανίζεται η πράσινη σφαίρα δεξιά στον χάρτη. Με το πλήκτρο *zoom to model area* εμφανίζεται μία οριοθετημένη περιοχή, η οποία είναι δυνατόν να διευρυνθεί ή να περιοριστεί ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής προσομοίωσης μεταβάλλοντας τις τιμές των W και H και πατώντας *apply*. Ο χάρτης μετακινείται με το δείκτη του ποντικιού ώστε να τοποθετηθεί η περιοχή προσομοίωσης μέσα στο ορθογώνιο και με πατημένο το πλήκτρο Ctrl και σέρνοντας το ποντίκι περιστρέφεται η περιοχή.



Εικόνα 2.5: ENVI-met EagleEye [28].

Στο κάτω μέρος της οθόνης φαίνεται πόσα τετραγωνικά χιλιόμετρα είναι η περιοχή προσομοίωσης και πόσες μοίρες έχει στραφεί σε σχέση με το Βορρά.

Τέλος, με το πλήκτρο *save* αποθηκεύεται το αρχείο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στο Spaces.

2.4.2 Manage Database

Η εφαρμογή Manage Database αποτελεί τη βάση δεδομένων του προγράμματος καθώς περιέχει:

- Είδη τοίχων ενός υλικού
- Είδη τοίχων πολλαπλών υλικών
- Είδη φυτών
- Τοποθεσίες πάνω στη γη
- Πηγές μόλυνσης από ρύπους αυτοκινήτων
- Είδη εδαφών

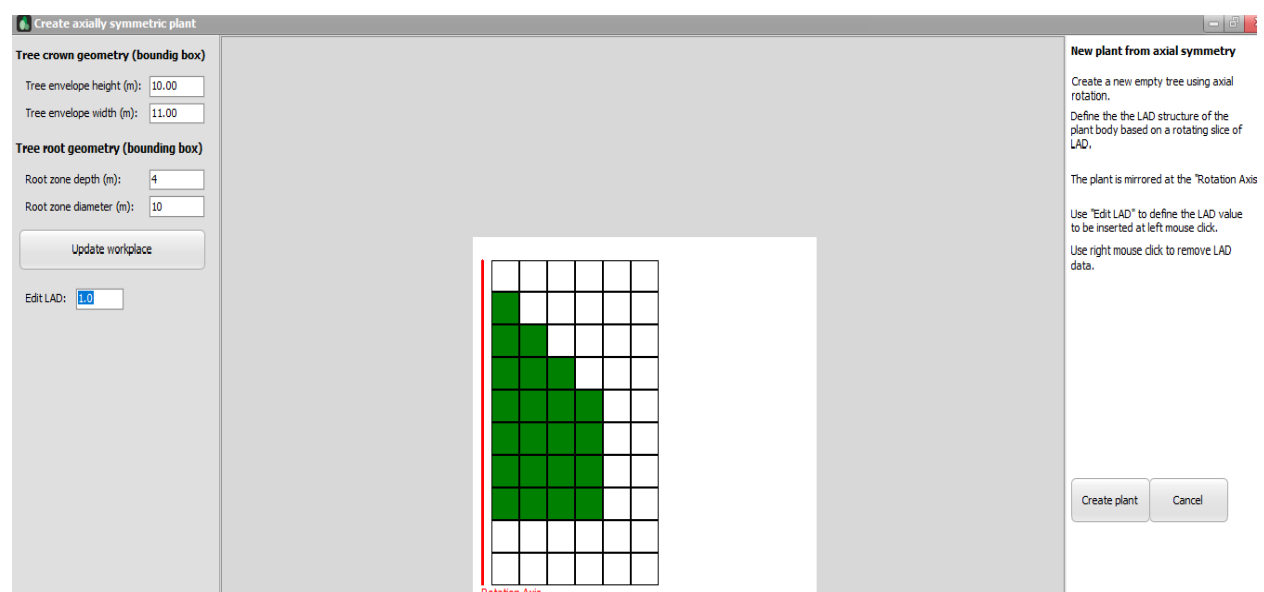
ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



2.4.3 Albero

Δίνεται η δυνατότητα να είναι γνωστά για κάθε τρισδιάστατο φυτό της βάσης δεδομένων το ύψος, το πλάτος στέμματος, το *albedo* (ανακλαστικότητα), η πυκνότητα (LAD) του φυλλώματος, το βάθος και η διάμετρος των ριζών, καθώς και το αν είναι τύπου C3 ή C4 (συμβολίζει το πώς διαχειρίζεται το διοξείδιο του άνθρακα). Πατώντας δεξί κλικ σε κάποιο δέντρο και *new plant* αποθηκεύεται ένα αντίγραφο αυτού του φυτού στη *user database*. Επίσης, είναι δυνατή η τροποποίηση των χαρακτηριστικών του με την πληκτρολόγηση (*modify plant* → *scale a new tree*) επιλέγοντας να διατηρηθούν ή όχι οι αναλογίες μεταξύ ύψους και πλάτους, στέμματος και βάθους-διαμέτρου ριζών, ώστε να δημιουργηθεί εκ νέου ένα φυτό. Σε διαφορετική περίπτωση, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ενός δέντρου εξ' ολοκλήρου πατώντας δεξί κλικ στο *user 3D Plants* → *new plant* → *add rotation plant* για τον προσδιορισμό όλων των χαρακτηριστικών του. Τέλος, γίνεται ανανέωση της βάσης δεδομένων (*update database*) όπου το ID του κάθε φυτού αποτελείται από δύο χαρακτήρες - κεφαλαία λατινικά γράμματα και/ή αριθμούς- και είναι ξεχωριστό για κάθε φυτό.

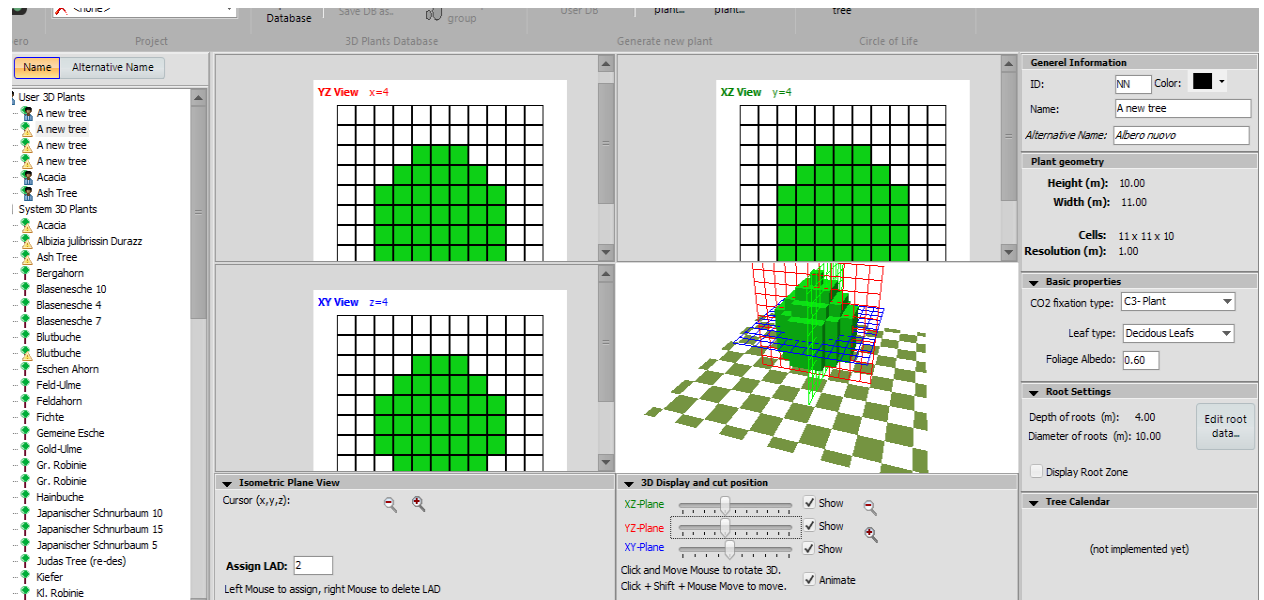
Στην παρακάτω εικόνα 2.6 βλέπουμε πώς σχεδιάζεται το δέντρο. Ένας άξονας συμβολίζει το κέντρο του δέντρου και μία κατακόρυφη τομή του σχεδιάζεται στο κέντρο από τη μία μόνο πλευρά, ενώ η άλλη πλευρά του καθρεφτίζεται.



Εικόνα 2.6: Κατασκευή συμμετρικού δέντρου στο Albero [28].



Στην επόμενη Εικόνα 2.7 το τρισδιάστατο δέντρο έχει πλέον δημιουργηθεί και απεικονίζεται στην κάτω δεξιά πλευρά καθώς περιστρέφεται. Στην επιλογή *3d display* and *cut position* είναι δυνατόν να δημιουργηθούν τομές κατά τους X-Y, Y-Z ή X-Z άξονες του δέντρου.



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση συμμετρικού δέντρου στο Albero [28].

2.4.4 Spaces

Στην εφαρμογή Spaces, με την επιλογή της καρτέλας *basic settings*, *new area* εμφανίζεται η επόμενη Εικόνα 2.8:



Εικόνα 2.8: Καρτέλα basic settings, new area στην εφαρμογή Spaces [28].

Στη θέση αυτή εισάγεται μία σειρά πληροφοριών και δεδομένων που αφορούν στο μοντέλο προσομοίωσης και στην περιοχή ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα:

- Καθορίζεται ο αριθμός των υπολογιστικών κελιών του κυρίως μοντέλου, κατά τις διευθύνσεις x, y και z (x-Grids, y-Grids, z-Grids).

- Καθορίζεται το πλήθος των ζωνών που περιβάλλουν το κυρίως μοντέλο (περιοχή ένθεσης), απομακρύνοντάς το από τα όρια του υπολογιστικού πεδίου (*Nr of nesting grids*).

- Καθορίζεται το προφίλ του εδάφους στην περιοχή των δευτερευόντων κελιών (*Soil profiled for nesting grids*).

- Εισάγονται οι διαστάσεις των υπολογιστικών κελιών dx, dy και dz. Οι διαστάσεις αυτές είναι κοινές για όλα τα κελιά και δεν υπάρχει δυνατότητα πύκνωσης του πλέγματος (*Size of grid cell in meter*).

- Επιλέγεται το είδος των υπολογιστικών κελιών, όσον αφορά την κατακόρυφη διάσταση (*Method of vertical grid generation*). Υπάρχει η επιλογή



κελιών ίδιου και σταθερού ύψους (*equidistant*) και η επιλογή τηλεσκοπικών κελιών (*telescoping*). Για το δεύτερο είδος κελιών ορίζεται ένας συντελεστής, ο οποίος καθορίζει την επί τοις εκατό ποσοστιαία αύξηση του ύψους ενός κελιού, σε σχέση με το αμέσως προηγούμενό του (*Telescoping factor %*). Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα ορισμού ενός συγκεκριμένου ύψους, μετά το οποίο θα αρχίσει η δημιουργία τηλεσκοπικών κελιών (*Start telescoping after height (m)*).

- Καθορίζεται η γωνία περιστροφής του μοντέλου, σε σχέση με το Βορρά (*Model rotation out of grid north*).

- Εισάγεται η γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, το πρόγραμμα περιέχει μία λίστα από πόλεις, στις οποίες αυτομάτως γίνεται ανάθεση του γεωγραφικού τους μήκους και πλάτους (*Location on Earth*).

Στη συνέχεια, από την καρτέλα *digitize* και με την επιλογή *select bitmap* επιλέγεται το αρχείο της περιοχής (φωτογραφία) που αποθηκεύτηκε από την εφαρμογή *EagleEye*. Με αυτόν τον τρόπο το μοντέλο μπορεί να σχεδιαστεί εύκολα πάνω στη φωτογραφία της περιοχής.

Στην καρτέλα *project* εμφανίζονται όλα τα στοιχεία σχεδίασης.

- Με την επιλογή *buildings*, στο *top of buildings or facade element* ρυθμίζεται το ύψος του κτιρίου από τη στάθμη εδάφους και με αριστερό κλικ εφαρμόζεται στην περιοχή επιλογής. Εφόσον χρειαστεί αναίρεση, αυτή πραγματοποιείται θέτοντας το *''top of building=0''*. Αντίστοιχα και στο *''bottom of building''*, παραδείγματος χάρη για το σχεδιασμό μίας στέγης, ρυθμίζουμε το ύψος του κάτω μέρους της. Πάντα το *bottom* πρέπει να έχει μικρότερη τιμή από το *top*.
- Με την επιλογή *soil and surface* ρυθμίζεται ο τύπος εδάφους που επιθυμείται όπως ασφαλτος, πεζοδρόμιο από τσιμέντο, αμμόδες κ.ά.
- Με την επιλογή *vegetation* εντοπίζονται και τοποθετούνται τα δέντρα που χρειάζονται, τρισδιάστατα κατά κύριο λόγο (*3D plants*), αλλά και μονοδιάστατα (*simple plants*) για μικρούς θάμνους και γρασίδι. Αυτά

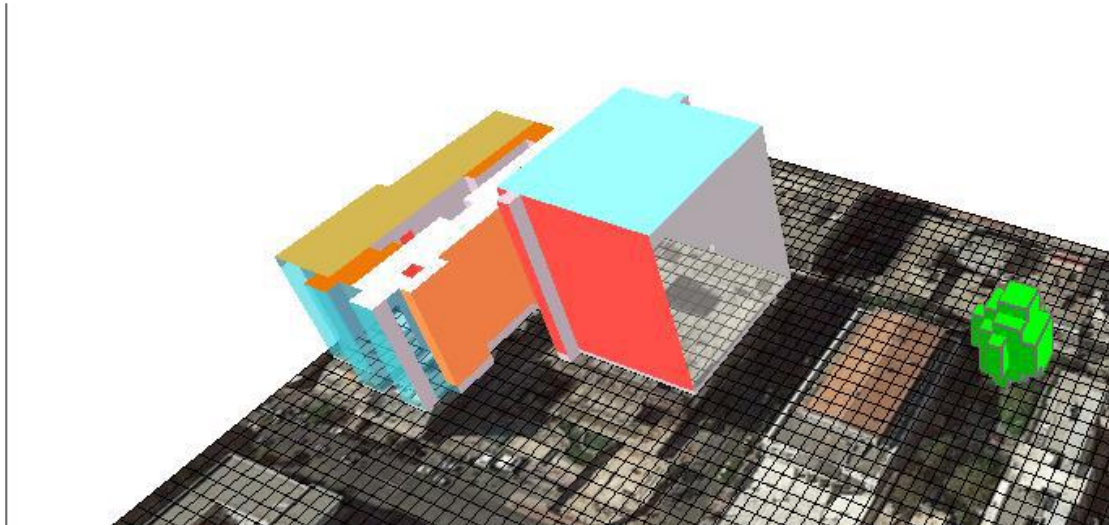


τοποθετούνται στο μοντέλο με αριστερό κλικ, ενώ με δεξί κλικ αφαιρείται όποιο δέντρο δεν είναι απαραίτητο.

- Με την επιλογή *receptors* τοποθετούνται υποδοχείς (αισθητήρες) για τη μέτρηση των δεδομένων σε προκαθορισμένες θέσεις οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον κατά το μελετητή.
- Με την επιλογή *sources* τοποθετούνται στο μοντέλο οι πηγές ρύπων.
- Στην επιλογή *DEM* είναι δυνατόν να σχεδιαστεί ανάγλυφο έδαφος εφόσον η περιοχή προσομοίωσης δεν είναι επίπεδη.

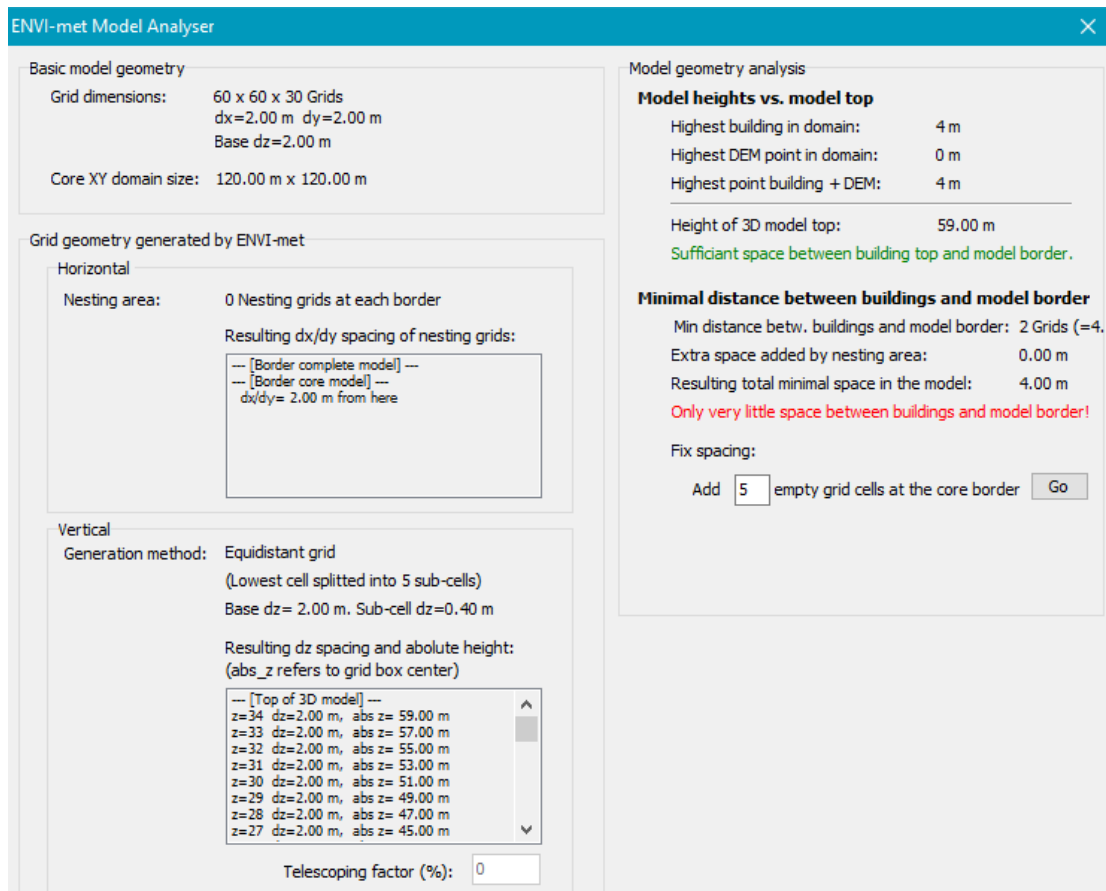
Αφού οριστούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία του μοντέλου, αυτό μπορεί να μετατραπεί σε λεπτομερές τρισδιάστατο σχέδιο με την επιλογή *convert to detailed design*. Για την απεικόνισή του επιλέγουμε *open 3D View* και αυτό εμφανίζεται. Πατώντας το πλήκτρο *control* και μετακινώντας το ποντίκι, το μοντέλο μπορεί να περιστραφεί. Είναι δυνατή η επιλογή προβολής του μοντέλου και πάλι σε δισδιάστατη μορφή επιλέγοντας *return to 2D*.

Επόμενο βήμα είναι ο ορισμός ξεχωριστών υλικών για κάθε πρόσοψη ή κάθε στέγη. Αυτό εφαρμόζεται μέσω της επιλογής *set individual segment*, στην οποία επιλέγεται το υλικό για κάθε πρόσοψη ή στέγη πατώντας το συνδυασμό *shift* και αριστερού κλικ του ποντικιού. Η επιλογή αυτή φαίνεται στην Εικόνα 2.9 που ακολουθεί όπου παρουσιάζεται η τρισδιάστατη μορφή του μοντέλου.



Εικόνα 2.9: Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου στην εφαρμογή Spaces [28].

Στην καρτέλα *model inspector* δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να υπάρχει αρκετό κενό μεταξύ των κτιρίων καθ' ύψος και κατά μήκος/πλάτος. Εφόσον ο σχεδιασμός έχει ολοκληρωθεί, στην καρτέλα *project* και με την επιλογή *save model as* αποθηκεύεται το αρχείο στο Spaces. Η καρτέλα απεικονίζεται στην Εικόνα 2.10 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.10: Καρτέλα model inspector στην εφαρμογή Spaces [28].

2.4.5 Biomet

Το *BioMet* είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται μετά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του Envi-met, και υπολογίζει διαφορετικούς δείκτες θερμικής άνεσης. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτούνται κάποια εξαγόμενα δεδομένα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα που αφορούν την ατμόσφαιρα (*atmosphere output files* (_AT_)).

Το *BioMet* συνοψίζει την επίδραση των τεσσάρων κύριων ατμοσφαιρικών μεταβλητών στην ανθρώπινη θερμική άνεση οι οποίες είναι :

- Η θερμοκρασία του αέρα
- Η ακτινοβολούμενη θερμοκρασία
- Η ταχύτητα του ανέμου



- Η υγρασία

Η ποιότητα ή η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του *BioMet* εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από την ποιότητα και την αξιοπιστία των παρεχόμενων δεδομένων. Με άλλα λόγια αν η προσομοίωση έχει εξάγει μη ρεαλιστικά αποτελέσματα, τότε και το *BioMet* θα δώσει μη ρεαλιστικές τιμές.

Κατά την έναρξη της εφαρμογής *Biomet*, με τα ακόλουθα βήματα, υπολογίζονται οι προσομοιώσεις για τους δείκτες της ανθρώπινης θερμικής άνεσης :

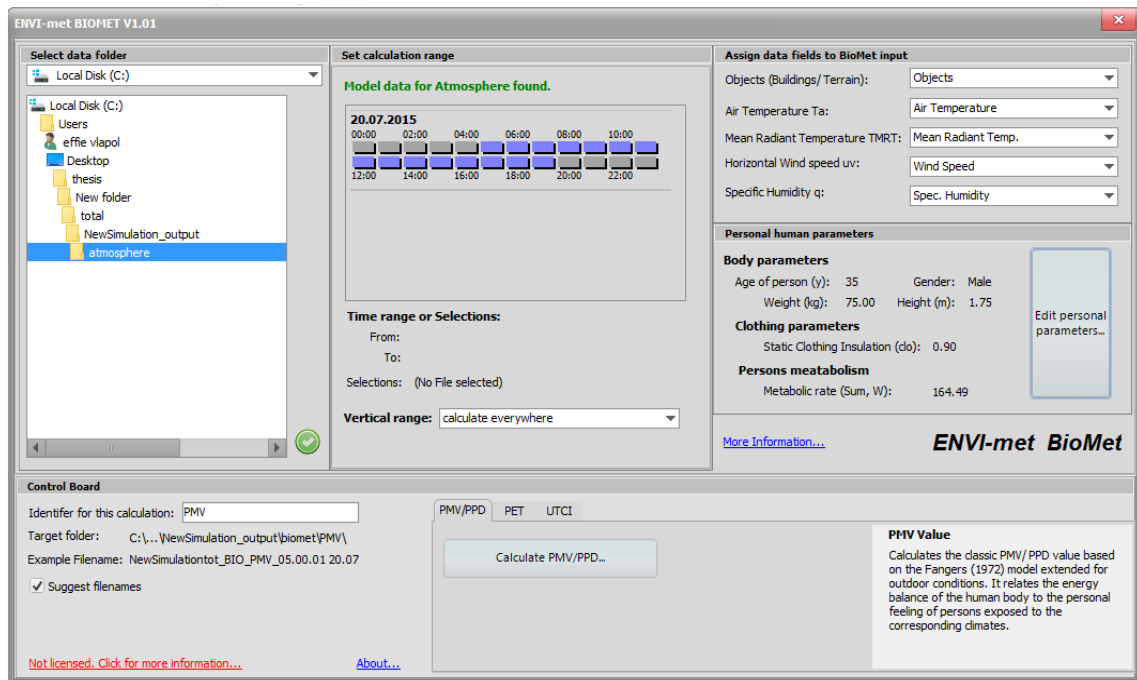
- **Επιλογή φακέλου.** Επιλέγεται ο φάκελος ατμόσφαιρα από τα output files.
- **Επιλογή χρονικού πλαισίου προσομοιώσεων.** Στην επιλογή *Set the calculation range, Time range or selection* ορίζεται για ποιες ώρες της προσομοίωσης επιθυμείται να υπολογιστούν οι δείκτες θερμικής άνεσης από το *BioMet*. Οι ώρες με καταχωρημένα δεδομένα οι οποίες έχουν υπολογιστεί από το *Envi-met* είναι χρωματισμένες μπλε, ενώ αυτές για τις οποίες δεν υπάρχουν δεδομένα είναι γκρι. Πατώντας δεξί κλικ πάνω σε μία ώρα της προσομοίωσης και επιλέγοντας *set time series to whole range* επιλέγονται όλες οι ώρες της προσομοίωσης, ενώ επιλέγοντας *set time series start to...* και *set time series end to....* υπολογίζονται οι θερμικοί δείκτες από αυτή την ώρα και μέχρι αυτή την ώρα αντίστοιχα. Το *clear time series*, καταργεί κάθε επιλογή ωρών που έχει γίνει.
- **Επιλογής περιοχής προσομοιώσεων στην κάθετη επιφάνεια:** Με την επιλογή *Vertical range* γίνεται ο υπολογισμός βιομετεωρολογικών δεικτών. Εφόσον επιλεγεί να γίνει υπολογισμός για κάθε ώρα μίας μέρας αυτός μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρος. Από προεπιλογή, το *ENVI-met* υπολογίζει τους δείκτες για κάθε κελί που αντιστοιχεί στο αρχείο της ατμόσφαιρας *_AT_*. Παρ' όλα αυτά, επειδή οι δείκτες του *BioMet* έχουν νόημα κατά βάση εκεί που οι άνθρωποι στέκονται ή περπατάνε, δεν υπάρχει λόγος να υπολογίζεται το PMV για παράδειγμα στα 60m πάνω από το έδαφος στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Επομένως μπορεί να περιοριστεί το κατακόρυφο εύρος του υπολογισμού με 3 επιλογές:

- **Calculate everywhere:** κανένας περιορισμός



- **Calculate up to..** : υπολογίζει από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι ένα δοσμένο ύψος (το οποίο δίνουμε από κάτω)
- **Calculate only at..** : υπολογίζει μόνο στο ύψος της επιλογής μας.

Εποπτική απεικόνιση της καρτέλας Biomet παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.11 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.11: Καρτέλα Biomet του προγράμματος Envimet [28].

- **Υπολογισμός των δεικτών του BioMet:** Στο πεδίο *assign data fields to BioMet input*, δίνονται σαν δεδομένα οι εξής δείκτες:
 - Η τυπολογία (ελεύθερο κελί, κτίριο, έδαφος...)
 - Η θερμοκρασία του αέρα Ta
 - Η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία TMRT
 - Η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου uv
 - Η σχετική υγρασία q

Εφόσον έχουμε εισάγει τον φάκελο *output* της ατμόσφαιρας, οι παραπάνω δείκτες είναι γνωστοί για το πρόγραμμα.

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



Επιλογή ανθρώπινων παραμέτρων: Στο πεδίο *personal human parameters* από προεπιλογή, το άτομο για το οποίο εξετάζεται η θερμική άνεση είναι άντρας 35 χρονών, 75kg με 1,75m ύψος, που η ενδυμασία του είναι ανοιξιάτικη ($clo=0,9$) και περπατάει με ταχύτητα 1,21m/sec (εμπεριέχεται στον υπολογισμό του μεταβολισμού του).

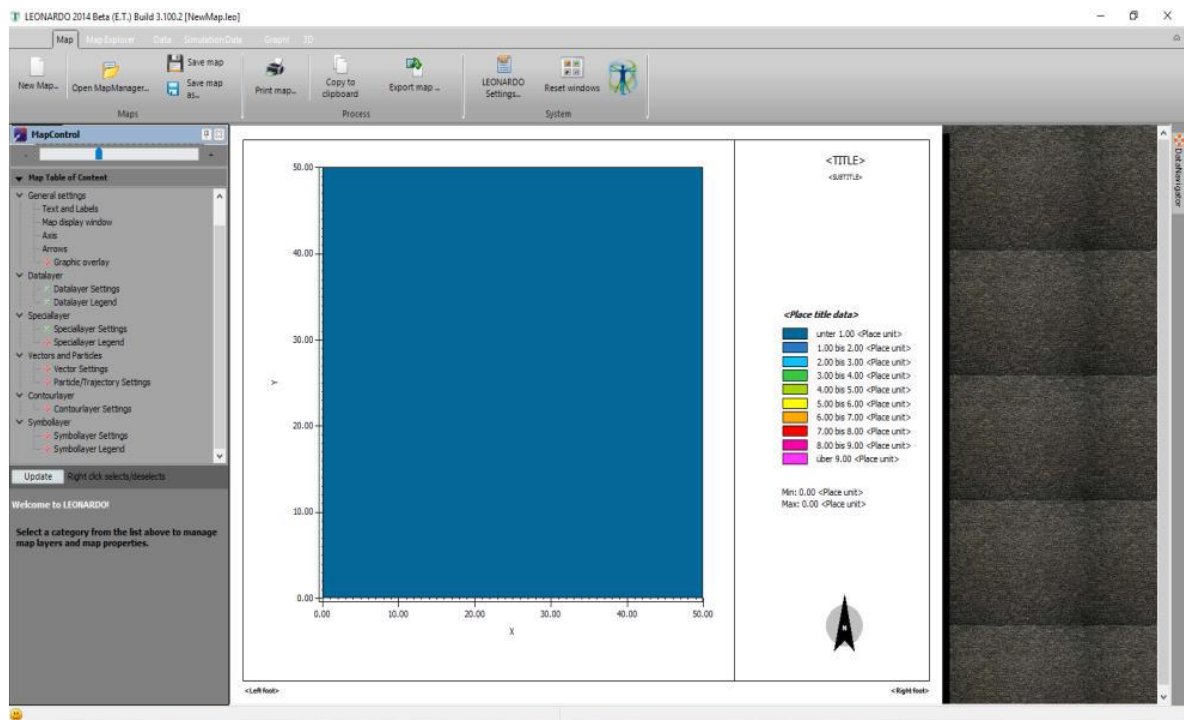
Στο πεδίο *edit personal parameters* οι παράμετροι αυτοί μπορούν να επεξεργαστούν. Οι προσωπικές ρυθμίσεις όμως δεν επηρεάζουν όλες το ίδιο τους δείκτες. Για παράδειγμα το *PMV/PPD* συγκεκριμένα αναφέρεται πάντα σε άντρα 35 χρονών αλλά αντιδρά στις ενδυματικές παραμέτρους και στο μεταβολισμό.

Επιλογή του δείκτη control board: Η συγκεκριμένη ρύθμιση δίνει τη δυνατότητα να επιλεγεί ποιος θα είναι ο δείκτης υπολογισμού. Στη δωρεάν έκδοση δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί μόνο ο δείκτης *PMV/PPD*.

Εφόσον ο υπολογισμός έχει ολοκληρωθεί, μέσα στο φάκελο *output* βρίσκεται ένας φάκελος *Biomet* μέσα στον οποίο υπάρχουν τα αρχεία *PMV*, ένα για κάθε υπολογισμένη ώρα. Στη συνέχεια αυτά εμφανίζονται χρησιμοποιώντας την εφαρμογή *Leonardo*.

2.4.6 Leonardo

Με τη χρήση της εφαρμογής *Leonardo*, του προγράμματος *ENVI-met*, γίνεται η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Κατά την εκκίνηση της εφαρμογής εμφανίζεται η ακόλουθη Εικόνα 2.12:



Εικόνα 2.12: Αρχική οθόνη εφαρμογής Leonardo [28].

Στο αριστερό μέρος δίνεται η δυνατότητα της εστίασης και αποεστίασης (*zoom in/out*) μετακινώντας τη μπάρα αριστερά ή δεξιά αντίστοιχα.

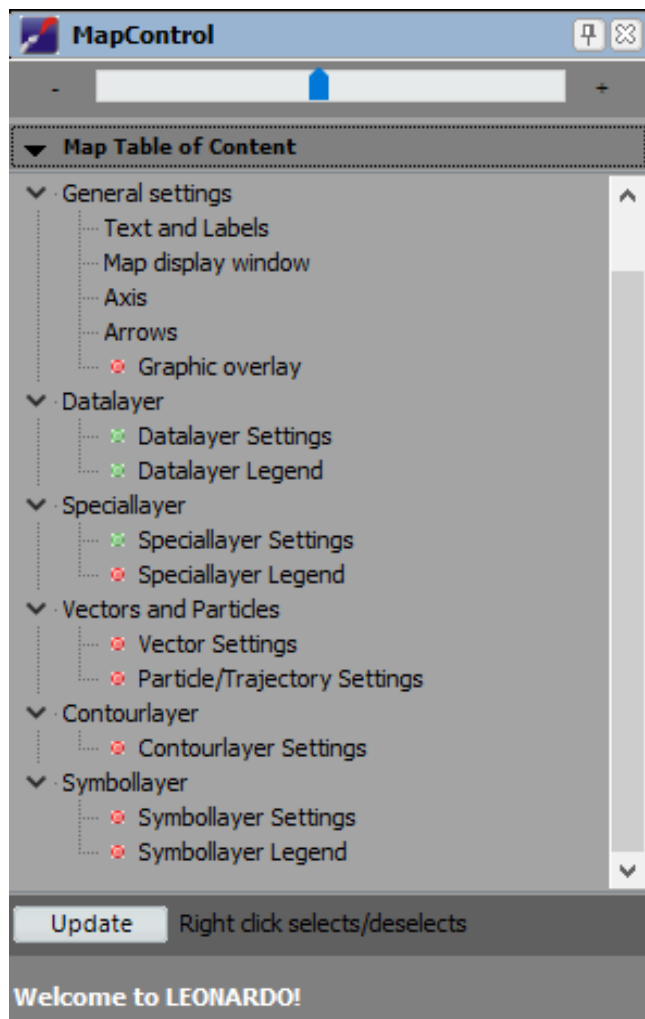
Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων γίνεται με τα παρακάτω βήματα:

- Επιλογή καρτέλας *Simulation Data* < *show Datanavigator* ώστε να εμφανιστεί το παράθυρο *Datanavigator* στα δεξιά της οθόνης
- Επιλογή του *File set A* και κατόπιν επιλογή αρχείου μέσω του *select file*. Γίνεται επιλογή του επιθυμητού αρχείου προς οπτικοποίηση. Παραδείγματος χάριν για την ταχύτητα του ανέμου στις 12 το μεσημέρι στο ύψος που επηρεάζει το άτομο άμεσα (1,80 μέτρα): στο φάκελο *output* εντοπίζεται ο φάκελος *atmosphere* και επιλέγεται το αρχείο που αντιστοιχεί στις 12:00. Στο *File map set A* κάθε ορθογώνιο που εμφανίζεται αντιστοιχεί σε μία ώρα της ημέρας και αυτό που αντιστοιχεί στις 12:00 εμφανίζεται πλέον επιλεγμένο.
- Επιλογή του *2D Map* για απεικόνιση σε 2 διαστάσεις. Στο πεδίο *Data* που εμφανίζεται επιλέγεται το στοιχείο προς απεικόνιση π.χ. η ταχύτητα του αέρα.



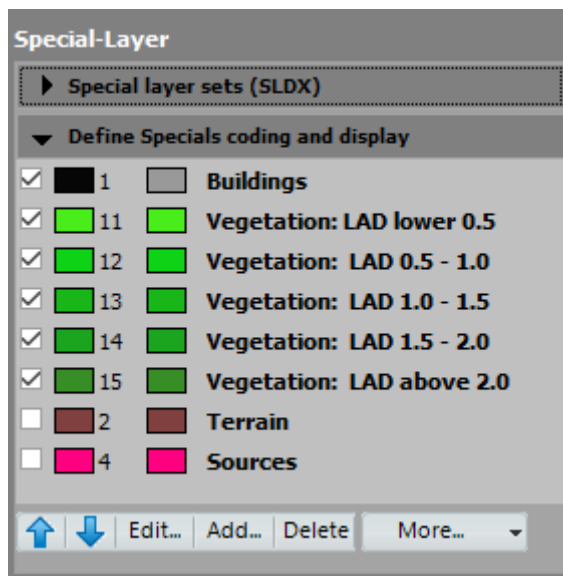
Στο πεδίο *Countour* επιλέγεται όποιο στοιχείο επιθυμείται για να οπτικοποιηθούν οι ισοϋψείς του. Στο πεδίο *vector* βρίσκονται τα διανυσματικά μεγέθη όπως η ροή του αέρα κατά τις διευθύνσεις x, y, z

- Στο πεδίο *type of 2D view* προσδιορίζονται ποιες δύο διαστάσεις θα απεικονίσει το leonardo (συνήθως X-Y). Στο *position of view plane* τοποθετείται το ύψος στο οποίο αντιστοιχούν τα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, για $k=3(1.89\text{m})$ οι τιμές αντιστοιχούν περίπου στο ύψος των πεζών, ή 0 αντιστοιχούν στο έδαφος. Στη συνέχεια με την επιλογή *extract 2D* γίνεται η απεικόνιση των στοιχείων στο χάρτη.
- Στο αριστερό τμήμα της οθόνης βρίσκεται το *map table of content*. Στην πρώτη επιλογή *General Settings* ρυθμίζονται τα χαρακτηριστικά του χάρτη όπως ονόματα αξόνων, ετικέτες, χρώμα απεικόνισης βέλων κ.α. Στην επόμενη επιλογή *datalayer* ενεργοποιούνται τα *datalayer settings* και *legend* πατώντας δεξί κλικ (από κόκκινη κουκίδα - όταν είναι απενεργοποιημένα- γίνεται πράσινο x). Στο *legend* είναι δυνατή η μεταβολή του τρόπου με τον οποίο χρωματίζεται ο χάρτης μέσω του *color mapping*, η αλλαγή των μονάδων του *data* (wind speed σε m/s) και τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων που εμφανίζονται. Στην επιλογή *speciallayer* ενεργοποιείται το *speciallayer settings* με δεξί κλικ και στο *special layer sets* προσδιορίζεται το χρώμα της απεικόνισης για το κάθε αντικείμενο (κτίρια, βλάστηση, έδαφος, πηγές ρύπων κλπ.). Οι παραπάνω επιλογές παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.13 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.13: Επιλογές του πεδίου Map Table of Content της εφαρμογής Leonardo [28].

Στο *Leonardo* παρέχεται η προεπιλογή πατώντας *ENVI-met defaults*. Ενεργοποιώντας και το *speciallayer legend*, τα *speciallayer sets* εμφανίζονται και δίπλα στο χάρτη ως υπόμνημα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.14.



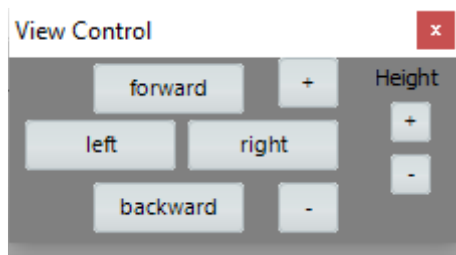
Εικόνα 2.14: Επιλογές του πεδίου Special layer sets της εφαρμογής Leonardo [28].

Στο *Vectors and particles* ενεργοποιώντας το *vector settings* εμφανίζονται στο χάρτη βέλη που δείχνουν τη ροή του ανέμου. Η μεταβολή του μεγέθους των βελών, του χρώματος τους, της πυκνότητά τους αυτή γίνεται μέσω του *vector display*. Τέλος, από το *Contourlayer* ενεργοποιώντας το *contourlayer settings* εμφανίζονται οι ισοϋψείς.

Στη συνέχεια στο δεξί τμήμα της οθόνης στο πεδίο *DataNavigator* δίνονται οι παρακάτω επιλογές επεξεργασίας:

- Με την επιλογή *3D Map* εμφανίζεται η απεικόνιση σε 3 διαστάσεις.
- Στο πεδίο *Data* επιλέγεται το στοιχείο προς οπτικοποίηση.
- Στο *ISO-3D* επιλέγεται κάποιο στοιχείο εφόσον επιθυμείται η οπτικοποίηση των ισοϋψών του.
- Στη στήλη *Vector* υπολογίζονται τα διανυσματικά μεγέθη όπως η ροή του αέρα κατά τις διευθύνσεις x, y, z.
- Επιλογή εντολής *Extract 3D*.

Στη συνέχεια, πάνω δεξιά στην οθόνη εμφανίζεται ένα μικρό παράθυρο το *view control*, το οποίο απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 2.15.

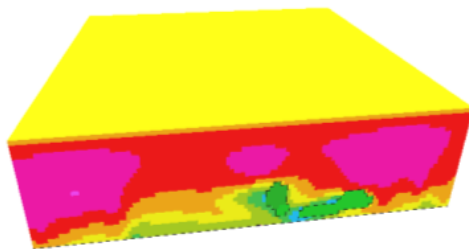


Εικόνα 2.15: Παράθυρο View Control της εφαρμογής Leonardo [28].

Με το παράθυρο *View Control* δίνεται η δυνατότητα μετακίνησης στον τρισδιάστατο χώρο που απεικονίσθηκε προηγουμένως. Επίσης κρατώντας πατημένο το πλήκτρο *Ctrl* και μετακινώντας το ποντίκι σε οποιαδήποτε διεύθυνση, το μοντέλο περιστρέφεται και η περιήγηση γίνεται ευκολότερη. Εν συνεχεία, κρατώντας και πάλι πατημένο το πλήκτρο *Shift* και μετακινώντας το ποντίκι μετακινείται το μοντέλο στις δύο διαστάσεις.

Συνεχίζοντας την περιήγηση στο *map table of content*:

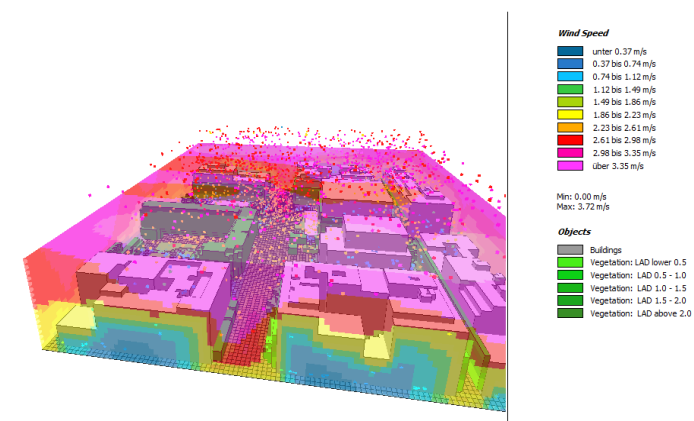
- Στην επιλογή *Datalayer 3D*, ενεργοποιώντας το *datalayer 3D legend* εμφανίζονται οι τιμές του *data* (π.χ. οι τιμές της ταχύτητας του αέρα) στο υπόμνημα. Ενεργοποιώντας και το *datalayer 3D settings* εμφανίζεται η ταχύτητα του αέρα και μέσα στο χάρτη. Αρχικά φαίνεται ως ένα κουτί. Μεγεθύνοντας όμως, και διορθώνοντας το ύψος θέασης, ή διαφορετικά μειώνοντας το *transparency* στο *drawing options for data volumes* στο *datalayer 3D*, μπορεί να παρατηρηθεί το *data* μέσα σε κάθε σημείο του μοντέλου. Στην Εικόνα 2.16 που ακολουθεί απεικονίζονται οι τιμές του πεδίου *data* σε τρισδιάστατη μορφή.



Εικόνα 2.16: Εμφάνιση των τιμών του *data* σε 3D [28].



- Εφόσον ο χρήστης επιθυμεί την απεικόνιση των περιοχών όπου το *data* έχει συγκεκριμένες τιμές (πχ wind speed 0 -1m/s) τότε, στο *data selection methods* επιλέγεται το κουτί *filter by data value*, πληκτρολογώντας τις επιθυμητές τιμές και προχωράμε στην επιλογή *update*.
- Εφόσον ο χρήστης επιθυμεί την απεικόνιση σε μία συγκεκριμένη περιοχή του 3D μοντέλου όλων των τιμών του εύρους του *data*, επιλέγεται το *filter by location* προσδιορίζοντας την περιοχή ενδιαφέροντος.
- Αν ο χρήστης επιθυμεί στο *data* να εμφανίζεται πιο διακριτικά (με διαφάνεια) ή σε μικρότερο βαθμό, αυτό πραγματοποιείται μεταβάλλοντας τις μπάρες στο *drawing options for data volumes*.
- Στην καρτέλα *Vectorlayer 3D* ενεργοποιείται το *vector 3D settings* και το *particle/trajectory 3D settings*. Στο *animation* πατώντας *play* εμφανίζεται η ροή του ανέμου εφόσον υπάρχουν *vector x,y,z -> flow u,v,w*. Στο *particle style and color* δίνεται η δυνατότητα απεικόνισης της ροής με μεγαλύτερα σωματίδια τα οποία μπορούν και να χρωματιστούν με βάση τις τιμές του *data* (π.χ. κάθε σωματίδιο στο χώρο να έχει το χρώμα που αντιστοιχεί στην ταχύτητα του ανέμου στο σημείο εκείνο όπως παρατηρείται στην Εικόνα 2.17)



Εικόνα 2.17: Εμφάνιση με διαφορετικούς χρωματισμούς των τιμών του *data* σε κάθε σημείο [28].

- Η επιλογή *Facadelayer 3D*, εφόσον υπάρχουν διαφορετικά υλικά στις προσόψεις ή στις οροφές των κτιρίων απεικονίζει τα υλικά αυτά



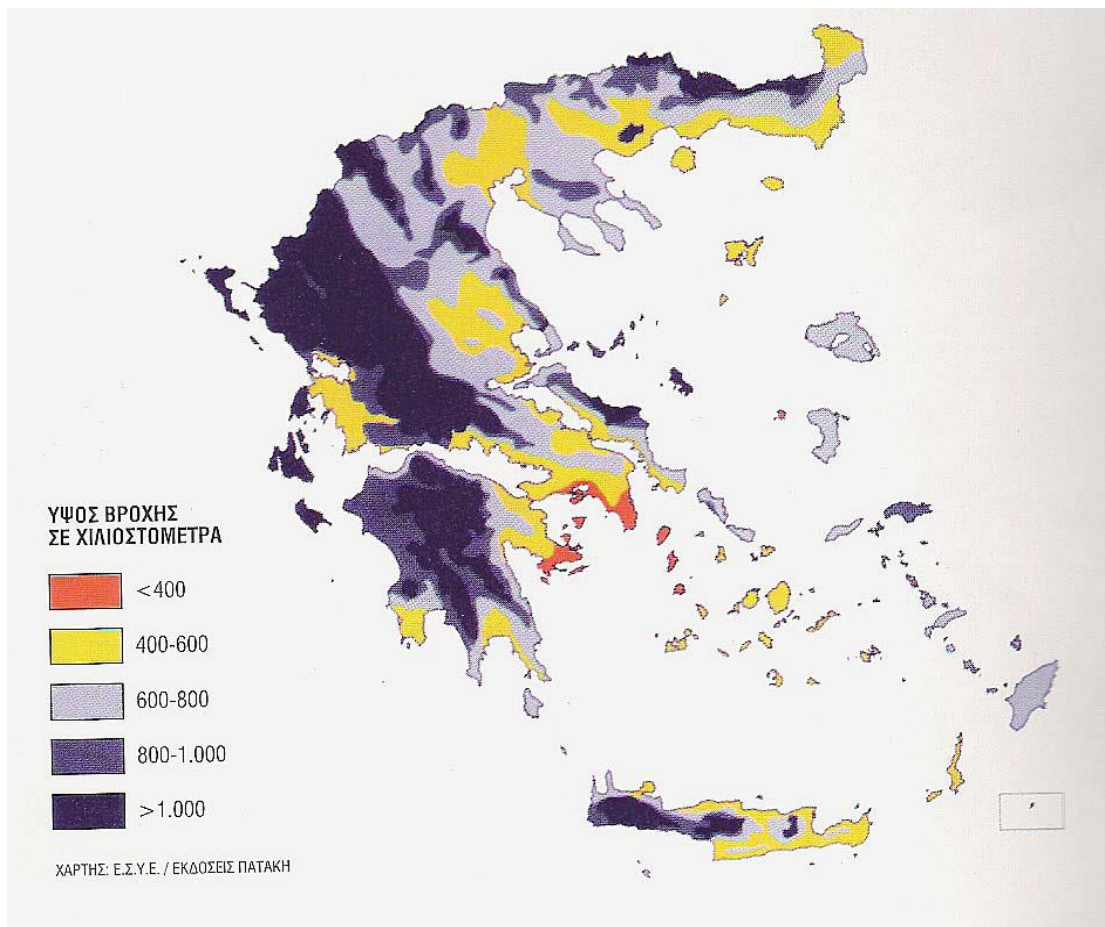
Και στις δύο περιπτώσεις χαρτών, *2D* και *3D Map*, μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση ανάμεσα σε διαφορετικές ώρες προσομοίωσης του ίδιου μοντέλου, ή και ανάμεσα σε δύο διαφορετικά μοντέλα, χρησιμοποιώντας και στις δύο περιπτώσεις το *file set B* στο *data navigator*. Στο πεδίο *options* καθορίζεται αν η διαφορά φαίνεται σε απόλυτη τιμή ή σε % και ποιο από τα Α και Β αποτελεί το μοντέλο αναφοράς έναντι του άλλου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

3.1 Το κλίμα της Ελλάδας

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό, χαρακτηρίζεται δηλαδή από ήπιους και υγρούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους [29]. Στις διάφορες περιοχές της παρουσιάζεται μία μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα μέσα στο πλαίσιο του μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στο γεωγραφικό ανάγλυφο της χώρας, το οποίο χαρακτηρίζεται από μεγάλες υψομετρικές διαφορές (ύπαρξη μεγάλων οροσειρών κατά μήκος του κεντρικού της τμήματος και άλλων ορεινών όγκων) και από εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι, από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας [29]. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στον ελλαδικό χώρο για τα έτη 1978-2007 παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1 που ακολουθεί.



Εικόνα 3.1: Μέσο ετήσιο ύψος βροχής στον ελλαδικό χώρο για 30 έτη (1978-2007) [29].

Από κλιματολογικής πλευράς, το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές, την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου έως τα τέλη Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την πρώτη, οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, στους οποίους η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5° C έως 10° C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0° C έως 5° C στις ηπειρωτικές και σε χαμηλότερες τιμές κάτω του μηδενός στις βόρειες περιοχές [29].

Οι βροχές στην Ελλάδα, ακόμη και κατά τη χειμερινή περίοδο, δε διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δε μένει συνεφιασμένος για μεγάλα χρονικά διαστήματα, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από τις ηλιόλουστες Αλκυονίδες μέρες. Ακόμη, η χειμερινή εποχή



είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ότι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα [29].

Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, με ουρανό σχεδόν αίθριο και λαμπερό ήλιο ενώ δε βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος εντοπίζεται στο τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και στο πρώτο του Αυγούστου, οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από τους 29° C έως τους 35° C. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές και από τους βόρειους ανέμους που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό ενώ συχνά παρατείνεται στη νότια Ελλάδα έως και τα μέσα του Δεκεμβρίου [29].

3.2 Μορφολογία και κλίμα στην περιοχή ενδιαφέροντος (Χανιά).

Η πόλη των Χανίων βρίσκεται στο δυτικότερο τμήμα της Κρήτης, με γεωγραφικό πλάτος 35° 30' 40 Β και γεωγραφικό μήκος 24° 1' 45 Ε. Το ανάγλυφο του νομού Χανίων έχει τα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου ολόκληρης της Κρήτης, η οποία τέμνεται από δυτικά προς ανατολικά από μια συνεχόμενη οροσειρά, η οποία διακόπτεται από κοιλάδες, ισθμούς και φαράγγια. Στο νομό Χανίων οι ορεινοί όγκοι καλύπτουν ολόκληρο σχεδόν το κεντρικό και νότιο τμήμα του νομού φθάνοντας έως τη θάλασσα, ενώ το πεδινό τμήμα (18,3% της συνολικής επιφάνειας του νομού) απλώνεται στη βόρεια παράκτια περιοχή [32].

Μεγάλα υδάτινα ρεύματα δεν υπάρχουν στον νομό Χανίων, υπάρχουν όμως πολλές πηγές, συνδεδεμένες με την τεράστια λεκάνη απορροής των Λευκών Ορέων (800 τ. χλμ.), ενώ εμφάνιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα αποτελεί η λίμνη Κουρνά, στο βορειοδυτικό άκρο του νομού. Τα κυριότερα υδάτινα ρεύματα του νομού, χείμαρροι μάλλον, βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του νομού και είναι, από Δύση προς Ανατολή, ο Τυφλός και ο Κουλένης, στην περιοχή Κισσάμου, ο Ταυρωνίτης, ο Καιρίτης, στον κόλπο των Χανίων, και στο νότιο τμήμα, στην επαρχία Σελίνου, ο Κακοδικιανός, που εκβάλλει στο Λιβυκό πέλαγος.



Το κλίμα του νομού ακολουθεί το ανάγλυφό του με τις βροχοπτώσεις είναι στα Χανιά περισσότερες από την υπόλοιπη Κρήτη, γιατί τα υγρά ρεύματα, που προέρχονται από το Ιόνιο, αιχμαλωτίζονται από τα Λευκά Όρη. Σε αυτό άλλωστε, όπως και στην ασβεστολιθική σύσταση του εδάφους, οφείλονται και οι πολλές πηγές του νομού. Στη χαμηλή ζώνη (επίπεδο θάλασσας) το κλίμα είναι εξαιρετικά ήπιο (η χαμηλότερη θερμοκρασία, που σημειώθηκε στα Χανιά, είναι 1°C), αλλά γίνεται δριμύ στα ορεινά. Τα ετήσια κλιματολογικά φαινόμενα παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2 όπως αυτά μετρήθηκαν για το έτος 2016.

ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY															
NAME: chaniace		CITY:		STATE:											
ELEV: 10 m		LAT: 35° 30' 28" N		LONG: 24° 00' 22" E											
TEMPERATURE (°C), HEAT BASE 18.3, COOL BASE 18.3															
		MEAN		MEAN	DEP. FROM		HEAT DEG		COOL DEG				MAX		MIN
YR	MO	MAX	MIN		NORM	DAYS	DAYS	HI	DATE	LOW	DATE	>=32	<=0	<=0	
16	1	16.9	8.4	12.9	0.0	173	7	24.7	6	2.4	1	0	0	0	0
16	2	19.6	9.3	14.5	0.0	125	14	29.2	15	3.1	8	0	0	0	0
16	3	18.7	10.2	14.7	0.0	121	8	26.4	23	5.2	18	0	0	0	0
16	4	22.4	12.5	17.5	0.0	54	29	31.3	15	9.2	2	0	0	0	0
16	5	24.2	15.4	20.0	0.0	23	75	32.8	13	10.1	6	1	0	0	0
16	6	28.9	20.3	24.9	0.0	3	199	34.2	18	14.2	9	5	0	0	0
16	7	29.4	20.9	25.9	0.0	0	235	34.7	15	17.8	10	1	0	0	0
16	8	29.2	21.1	25.8	0.0	0	231	32.6	12	16.9	17	1	0	0	0
16	9	27.0	18.5	23.2	0.0	7	154	32.7	18	13.8	30	2	0	0	0
16	10	24.3	16.0	20.5	0.0	22	89	32.2	11	12.3	1	1	0	0	0
16	11	20.9	11.9	16.4	0.0	81	24	31.0	8	7.4	18	0	0	0	0
16	12	14.5	7.0	11.0	0.0	227	0	20.3	3	1.8	31	0	0	0	0
		23.0	14.3	19.0	0.0	836	1065	34.7	JUL	1.8	DEC	11	0	0	0
PRECIPITATION (mm)															

Εικόνα 3.2: Ετήσια κλιματολογικά φαινόμενα του νομού Χανίων για το έτος 2016 [31].

3.3 Η υφιστάμενη κατάσταση στο χώρο της κεντρικής πλατείας της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης

Η πλατεία κέντρου της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης αποτελεί ένα χώρο με ιδιαίτερα πολύπλοκη και πολυεπίπεδη διαμόρφωση. Θεωρώντας, προσεγγιστικά, ότι η γεωμετρία της περιοχής αντιστοιχεί σε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, τότε οι διαστάσεις του είναι 70 m σε μήκος και 23 m σε πλάτος.

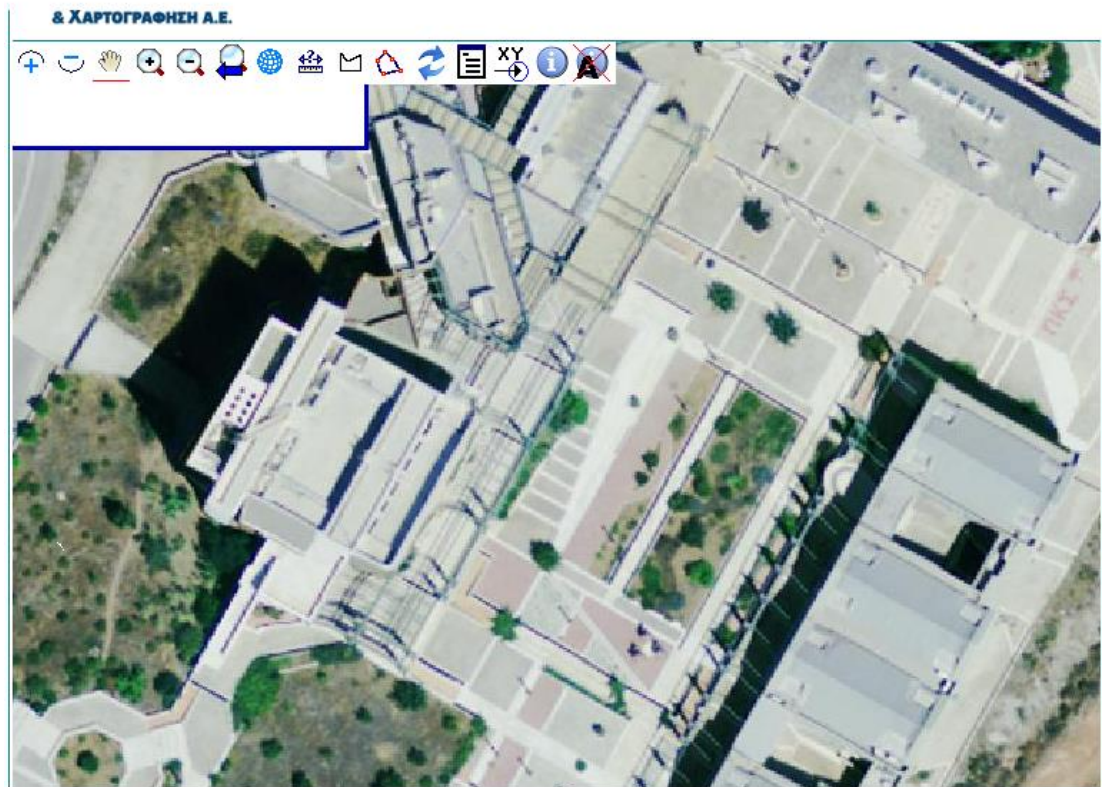
ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



Η συγκεκριμένη περιοχή απεικονίζεται στις παρακάτω Εικόνες 3.2 και 3.3 με τη βοήθεια των προγραμμάτων Google Earth και του εθνικού κτηματολογίου.



Εικόνα 3.2: Κεντρική πλατεία της σχολής Μ.Π.Δ. [33].



Εικόνα 3.3: Αεροφωτογραφία (Ορθοφωτογραφία) της κεντρικής πλατείας της σχολής Μ.Π.Δ.

Ο χώρος της κεντρικής πλατείας της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης διαμορφώνεται σε τέσσερα επίπεδα τα οποία έχουν υψομετρική διαφορά μεταξύ τους. Τα επίπεδα αυτά είναι χωρισμένα με σκαλιά καθώς επίσης, υπάρχουν και ράμπες για την κίνηση ανθρώπων με αμαξίδια και καροτσιών μεταφοράς. Πλέον των βασικών αυτών επιπέδων, υπάρχουν ζώνες σε διαφορετικές από τις προαναφερθείσες στάθμες. Η πλατεία περιβάλλεται από κτίρια όπου εδράζονται οι εγκαταστάσεις κυρίως της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Τα κτίρια αυτά είναι τα αμφιθέατρα Α2 και Β1, η βιβλιοθήκη Ε1, το εργαστήριο εργαλειομηχανών Γ1 και η βιβλιοθήκη και κέντρο πληροφόρησης Δ1.

Στη συνέχεια παρατίθενται μια σειρά από φωτογραφίες της κεντρικής πλατείας της σχολής Μ.Π.Δ. για την καλύτερη κατανόηση της διαμόρφωσής της. Οι φωτογραφίες αυτές ελήφθησαν τον Απρίλιο του 2017 και απεικονίζονται στις Εικόνες 3.4 έως 3.9.



Εικόνα 3.4: Διαμόρφωση της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].



Εικόνα 3.5: Διαμόρφωση της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].



Εικόνα 3.6: Διαμόρφωση της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].



Εικόνα 3.7: Διαμόρφωση της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].



Εικόνα 3.8: Διαμόρφωση της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].



Εικόνα 3.9: Διαμόρφωση της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].

3.4 Υλικά πλατείας

Η κεντρική πλατεία της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από επιφάνειες σκυροδέματος, όπως παρατηρείται και στις παραπάνω εικόνες (3.4-3.9). Στην κύρια διαδρομή που οδηγεί από την είσοδο της πλατείας έως το κυλικείο της σχολής Μ.Π.Δ. δεν υπάρχουν σκιασμένες πορείες, ενώ τα γαιώδη και φυσικά υλικά περιορίζονται σε παρτέρια με θάμνους και δέντρα καθώς και σε ένα μικρό τμήμα χωμάτινου εδάφους το οποίο έχει φυτευτεί.

Πέραν των επιφανειών σκυροδέματος που κυριαρχούν και υπάρχουν σε χρωματισμούς γκρίζο, μπορντό και λευκό (το γκρίζο και το μπορντό σκυρόδεμα περιέχουν το χρώμα στη μάζα τους ενώ το λευκό είναι γκρίζο βαμμένο με άσπρο ελαστομερές χρώμα), συναντούμε επιφάνειες από τσιμεντοκονία, βοτσαλόπλακες καθώς και βοτσαλωτά δάπεδα. Ακόμη, συναντούμε επιφάνειες ξηρού χώματος στις διάφορες διαμορφώσεις (παρτέρια), καθώς και κυβόλιθους κόκκινου και γκρι χρώματος [35].

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



3.5 Βλάστηση

Όπως φαίνεται και στην αεροφωτογραφία (Εικόνας 3.6) το συνολικό και προς το κυλικείο τμήμα της πλατείας ουσιαστικά στερείται βλάστησης και χώρων πρασίνου. Εξαιρέση αποτελούν οι θέσεις των ανοιγμάτων όπου υπάρχουν δέντρα τα οποία αναδύονται από το έδαφος και το κεντρικό μέρος της πλατείας όπου υπάρχει φύτευση. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία σειρά από φωτογραφίες (Εικόνα 3.10-3.12) στις οποίες φαίνονται οι θέσεις όπου υπάρχει βλάστηση (θάμνοι, δέντρα, χορτάρι) καθώς και η παρουσία γαιωδών/φυσικών υλικών.



Εικόνα 3.10: Φυτεμένο τμήμα της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].



Εικόνα 3.11: Φυτεμένο τμήμα της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].



Εικόνα 3.12: Φυτεμένο τμήμα της κεντρικής πλατείας [Πηγή: Προσωπικό αρχείο].

Επίσης, παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.13 τα είδη χλωρίδας τα οποία παρατηρούνται στην υπό μελέτη πλατεία [35]:



Φυλλοβόλα Δέντρα		
Επιστημονική Ονομασία	Κοινή Ονομασία	Αγγλική Ονομασία
<i>Acacia cyanophylla</i>	Ακακία κυανόφυλλη	Acacia
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Σφένδαμος ψευδοπλάτανος	Sycamore maple
<i>Albizia julibrissin</i>	Ακακία Κωνσταντινουπόλεως	Silk tree
<i>Cercis siliquastrum</i>	Κουτσουπιά	Judas tree
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Γιακαράντα	Jacaranda
<i>Melia azedarach</i>	Μελιά	Chinaberry tree
<i>Morus alba</i> 'fruitless'	Μουριά	Fruitless mulberry
<i>Platanus acerifolia</i>	Πλάτανος	Plane tree
<i>Populus canadensis</i>	Καναδική λεύκη	poplar
<i>Populus alba</i>	Λεύκη αργυρόφυλλη	White poplar
<i>Populus nigra</i> 'Italica'	Λεύκη καβάκι	Lombardy poplar
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Ψευδοακακία	Black locust
<i>Prunus avium</i>	Βερυκοκιά	
<i>Prunus cerasifera</i> 'Aurorapurea' ή <i>Prunus pissardii</i>	Προύνος πισσάρδειος	Pissard plum
Αειθαλή Πλατύφυλλα		
<i>Brachychiton acerifolium</i>	Βραχυχίτωνας	Carob
<i>Citrus aurantium</i>	Νερατζιά	Sour orange
<i>Ceratonia siliqua</i>	Ξυλοκερατιά	
<i>Magnolia grandiflora</i>	Μανόλινα	Magnolia
<i>Olea europaea</i>	Ελιά	Olive
<i>Photinia glabra</i>	Φωτεινά	Japanese photinia
Κωνοφόρα		
<i>Cedrus deodara</i>	Κέδρος	Deodar cedar
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Καζουρίνα	
<i>Cupressus arizonica</i>	Αριζόνικα	Arizona cypress
<i>Cupressus sempervirens</i>	Κυπαρίσσι ορθόκλαδο	Italian Cupress
<i>Pinus halepensis</i>	Πεύκη χαλέπος	Aleppo pine
<i>Pinus pinea</i>	Κουκουναριά	Italian stone pine
<i>Thuja occidentalis</i>	Τούγια	American arborvitae
Θάμνοι & Εδαφοκαλυπτικά		
<i>Juniperus sinensis</i>	Γιουνίπτερος εδαφοκαλυπτικός	
<i>Laurus nobilis</i>	Δάφνη Απόλλωνα	
<i>Rosmarinus officinalis</i> 'prostratus'	Δενδρολίβανο εδαφοκαλ.	

Εικόνα 3.13: Είδη χλωρίδας της υπό μελέτη πλατείας [35].

3.6 Πρόταση βιοκλιματικής αναβάθμισης

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η βιοκλιματική αναβάθμιση του χώρου της κεντρικής πλατείας της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις είναι προσανατολισμένες στη βελτίωση των κλιματολογικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του



καλοκαιριού, δεδομένου ότι στην περίοδο αυτή οι θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές. Οι παρεμβάσεις αυτές αφορούν στα εξής:

- Αντικατάσταση των υφιστάμενων υλικών διαμόρφωσης των επιφανειών στο σύνολο της περιοχής της πλατείας με ψυχρά υλικά (ψυχρή άσφαλτος, ψυχροί κυβόλιθοι κλπ).
- Τοποθέτηση στεγάστρων με φύτευση (πέργκολες) σε διάφορες θέσεις της πλατείας, τα οποία θα προσφέρουν σκίαση, δροσισμό και γενικότερα τη δημιουργία ενός ευχάριστου περιβάλλοντος.
- Δημιουργία υδάτινων επιφανειών και σιντριβανιών για το δροσισμό και τη βελτίωση της αισθητικής του χώρου.
- Εγκατάσταση επιπλέον φύτευσης στις ήδη φυτεμένες θέσεις, όπως στο κεντρικό φυτεμένο τμήμα της πλατείας.
- Φύτευση δέντρων και θάμνων σε πρόσθετα σημεία και δημιουργία νέων θέσεων που μπορούν να δεχθούν βλάστηση (παρτέρια).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία φωτορεαλιστική απεικόνιση (Εικόνα 3.14) της μελλοντικής μορφής της συγκεκριμένης πλατείας, σύμφωνα με την πρόταση του συντάκτη.



Εικόνα 3.14: Φωτορεαλιστική απεικόνιση της πλατείας [προσωπική εργασία].

3.7 Στοιχεία προσομοιώσεων

3.7.1 Αποτύπωση του χώρου

Γεωμετρία. Για τη γεωμετρία του χώρου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το πρόγραμμα Google Earth στο οποία είναι αποτυπωμένα πλήρως και υπό κλίμακα τα στοιχεία της περιοχής της πλατείας της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Στο πρόγραμμα αυτό (Google Earth) εξάγονται μέσω δορυφόρου οι ακριβείς διαστάσεις και οι θέσεις όλων των στοιχείων τα οποία εισήχθησαν στις προσομοιώσεις (κτίρια, βλάστηση, πεζόδρομοι κλπ). Όπου κρίθηκε απαραίτητο, έγινε επί τόπου έλεγχος και καταγραφή των διαμορφώσεων, των υλικών και της βλάστησης. Ακόμη, η κάτοψη της πλατείας χρησιμοποιήθηκε ως φόντο για τη δημιουργία του μοντέλου στο Area Input File του λογισμικού ENVI-met.

Δόμηση. Η αποτύπωση της δόμησης έγινε με τη βοήθεια του υλικού που διαθέτει η Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης. Συγκεκριμένα, για όλα τα κτίρια που εισήχθησαν στις προσομοιώσεις, έγινε χρήση λεπτομερέστατων σχεδίων, τα οποία

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



περιλάμβαναν κατόψεις, τομές κλπ με όλες τις απαραίτητες διαστάσεις. Τα κτίρια που προσομοιώθηκαν ήταν αυτά που γειτνιάζουν άμεσα με (περιβάλλουν) την περιοχή της πλατείας ενδιαφέροντος και, ως εκ τούτου, επηρεάζουν το μικροκλίμα της.

Φύτευση. Η καταγραφή της υφιστάμενης φύτευσης και η πρόταση για τη νέα, έγινε με τη βοήθεια του προσωπικού της Τεχνικής Υπηρεσίας. Χρησιμοποιήθηκαν υπάρχουσες καταγραφές της βλάστησης της περιοχής και έγινε επί τόπου καταμέτρηση του πλήθους των δέντρων και των θάμνων, καθώς και των διαστάσεών τους. Επίσης, στις προσομοιώσεις λήφθηκε υπόψη το είδος της βλάστησης, καθώς το λογισμικό (ENVI-met) λαμβάνει υπόψη την πυκνότητα του φυλλώματος.

3.7.2 Μετεωρολογικά στοιχεία

Για τον προσδιορισμό των μετεωρολογικών συνθηκών που αναφέρονται, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τα έτη 2011, 2012, 2013, 2014 και 2015.

Για τον υπολογισμό της μέσης θερμότερης ημέρας, αρχικά προσδιορίστηκε η θερμότερη ημέρα κάθε έτους, με βάση τις μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας για το τρίμηνο Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου. Ακολούθως, προσδιορίστηκε η μέση θερμότερη ημέρα ως μέση τιμή των αντίστοιχων τιμών κάθε έτους. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.15 που ακολουθεί.

ΕΤΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (° C)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (° C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (m/s)
2011	15/7	32.7	39.2	58	5.2
2012	20/8	33.2	40.0	61	4.1
2013	17/7	32.5	40.2	69	3.7
2014	12/7	34.8	43.4	70	4.3
2015	11/8	33.4	41.3	63	4.8
	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΤΕΡΗ ΗΜΕΡΑ	33,3		64	4.4

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



Πίνακας 3.15: Προσδιορισμός της μέσης θερμότερης ημέρας και των αντίστοιχων μέσων τιμών της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας ανέμου [29].

Για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου δίνεται ο ορισμός της διάμεσης τιμής ενός συνόλου αριθμών.

Διάμεση τιμή. Ορίζεται ως ο αριθμός που θα βρεθεί να είναι μεσαία τιμή αν το σύνολο μίας αριθμητικής σειράς τοποθετηθεί κατά αύξουσα σειρά. Εξ' ορισμού, η διάμεση τιμή «χωρίζει» ένα αριθμητικό σύνολο στη μέση όταν έχει τοποθετηθεί κατά αύξουσα σειρά. Δηλαδή, το 50% του πλήθους της αριθμητικής σειράς θα είναι πριν από τον διάμεσο αριθμό και το άλλο 50% θα είναι μετά τον διάμεσο αριθμό.

Ο υπολογισμός της μέσης θερινής τυπικής ημέρας έγινε ως εξής (Πίνακας. 4.4):

- Για το τρίμηνο Ιούνιος – Ιούλιος – Αύγουστος κάθε έτους, προσδιορίστηκε αρχικά η διάμεση τιμή θερμοκρασίας των εικοσιτετραώρων μέσων τιμών και η μέση τυπική ημέρα έτους υπολογίστηκε ως η μέση τιμή της διάμεσης τιμής και των μέσων εικοσιτετραώρων τιμών έξι ακόμα ημερών γύρω από τη διάμεσο τιμή (οι υπολογισμοί αφορούσαν στη θερμοκρασία, στην υγρασία και την ταχύτητα ανέμου).
- Η μέση τυπική θερινή ημέρα υπολογίστηκε ως μέσος όρος των τιμών των τυπικών ημερών κάθε έτους.

Ακολουθεί ο Πίνακας 3.16 με τον υπολογισμό των τιμών της μέσης τυπικής θερινής ημέρας.

ΕΤΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (m/s)
2011	1/8	28.3	34.2	54	3.9
	9/8	29.0	33.9	65	3.5
	25/8	28.9	33.8	62	4.6
	24/8	28.3	34.5	57	3.3
	8/8	27.9	33.5	76	4.0
	26/7	29.4	34.8	69	3.8



	13/8	28.1	34.2	62	3.2
ΘΕΡΙΝΗ ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ 2011		28.5		63	3.7
2012	27/8	29.3	35.4	53	2.3
	2/8	29.3	35.0	56	2.4
	26/7	29.3	34.4	41	7.0
	28/8	29.2	36.2	54	1.8
	29/6	29.4	34.6	49	2.2
	3/8	29.4	35.8	49	3.4
	14/8	29.4	36.2	36	1.8
ΘΕΡΙΝΗ ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ 2012		29.3		48	3.0
2013	25/8	28.0	32.9	65	2.3
	15/8	27.9	32.3	69	5.0
	16/7	27.9	30.2	57	4.2
	17/7	27.9	30.7	58	4.9
	31/7	28.1	32.4	65	2.7
	12/8	28.1	33.3	65	2.6
	14/6	28.4	33.4	65	2.8
ΘΕΡΙΝΗ ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ 2013		28.0		63	3.5
2014	21/8	29.1	30.4	61	1.7
	14/8	29.0	36.4	50	1.9
	18/6	29.0	36.6	51	2.1
	11/6	28.9	33.6	47	2.5



	12/7	29.4	36.4	40	3.1
	29/8	29.4	35.3	42	3.0
	30/7	29.4	37.2	45	2.6
ΘΕΡΙΝΗ ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ 2014		29.2		48	2.4
2015	18/6	29.0	34.4	51	4.5
	31/7	28.8	33.0	38	8.3
	5/7	28.8	34.2	50	2.4
	4/7	28.8	34.0	45	2.7
	21/6	29.0	39.3	39	2.8
	9/8	29.2	35.2	49	1.9
	13/7	29.0	35.5	35	4.2
ΘΕΡΙΝΗ ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ 2015		28.9		44	3.8
ΜΕΣΗ ΤΥΠΙΚΗ ΘΕΡΙΝΗ ΗΜΕΡΑ		28.8		53	3.3

Πίνακας 3.16: Υπολογισμός μέσης τυπικής θερινής ημέρας [29].

Η κρατούσα κατεύθυνση του ανέμου εκτιμήθηκε ότι είναι ΒΑ, βάσει των επί μέρους τιμών στις αντίστοιχες ημέρες και των στοιχείων που περιλαμβάνονται στην οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.

Συνολικά οι επιμέρους παράμετροι για τη μέση θερμότερη ημέρα και τη μέση τυπική θερινή ημέρα, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως αρχικές συνθήκες στη μαθηματική προσομοίωση με το πρόγραμμα ENVI-met, όπως φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 3.17.



	Μέση Θερμότερη ημέρα έτους	Μέση Τυπική θερινή ημέρα
Θερμοκρασία	29.2 °C	28.8 °C
Σχετική υγρασία	55.4%	53%
Ταχύτητα ανέμου	3.0 m/s	3.3 m/s
Κατεύθυνση ανέμου	BA	BA

Πίνακας 3.17: Επιμέρους παράμετροι για τη μέση θερμότερη ημέρα και τη μέση τυπική θερινή ημέρα [προσωπική εργασία].

3.8 Βιοκλιματικοί Δείκτες

Για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ισχύος αποψύξεως CP (Cooling Power), ο οποίος εκφράζει το ρυθμό απώλειας θερμότητας από την επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος, το οποίο διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία 36.5 °C, όταν αυτή εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα [20]. Ο δείκτης αυτός, εκφράζει ακόμη την ικανότητα του αέρα να αυξάνει την απώλεια θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα. Ο δείκτης CP προτιμήθηκε για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης της πλατείας διότι έχει σχεδιαστεί ώστε να εφαρμόζεται σε συνθήκες εξωτερικού χώρου.

Ο υπολογισμός του Δείκτη Ισχύος Αποψύξεως CP έγινε με βάση τον τύπο των M. Cena, M. Gregorczyk και G. Wojcik [20]:

$$CP = (0.412 + 0.087 * v) * (36.5 - t)$$

όπου:

t = Η μέση θερμοκρασία του αέρα σε °C

v = Η μέση ταχύτητα του ανέμου σε m/s

Στον Πίνακα 3.18 που ακολουθεί φαίνεται η γενικευμένη κλίμακα του δείκτη CP, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών του περιβάλλοντος.

<0.6	Εξαιρετικά θερμό
0.6-2.6	Πολύ θερμό
2.7-5.1	Ενοχλητικά θερμό



5.2-6.4	Ανεκτά θερμό
6.5-8.0	Άνετο ευχάριστο
8.1-10.4	Ανεκτά ψυχρό
10.5-15.5	Ψυχρό
15.6-22.5	Πολύ ψυχρό
22.6-30.0	Εξαιρετικά ψυχρό
>30.0	Παγετώδες

Πίνακας 3.18: Γενικευμένη κλίμακα του Δείκτη Ισχύος Αποψύξεως CP[20]



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά η διαδικασία και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις δύο καταστάσεις, υφιστάμενη και προτεινόμενη. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις προσομοιώσεις. Οι δύο προσομοιώσεις αναφέρονται στην υφιστάμενη κατάσταση της υπό ανάπλαση περιοχής (κεντρική πλατεία της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης) και οι υπόλοιπες δύο στην προτεινόμενη, δηλαδή την κατάσταση μετά την ολοκλήρωση των προτεινόμενων επεμβάσεων.

Αναφορικά με τις προσομοιώσεις, οι δύο πρώτες αφορούν την υφιστάμενη διαμόρφωση της πλατείας για συνθήκες τυπικής και θερμότερης ημέρας αντίστοιχα. Οι δύο επόμενες ομοίως, αφορούν την προτεινόμενη διαμόρφωση για την τυπική και θερμότερη ημέρα αντιστοίχως.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η υπό μελέτη κεντρική πλατεία διαμορφώνεται σε τέσσερα υψομετρικά επίπεδα. Στην παρούσα εργασία το επίπεδο θα λογίζεται ως ενιαίο.

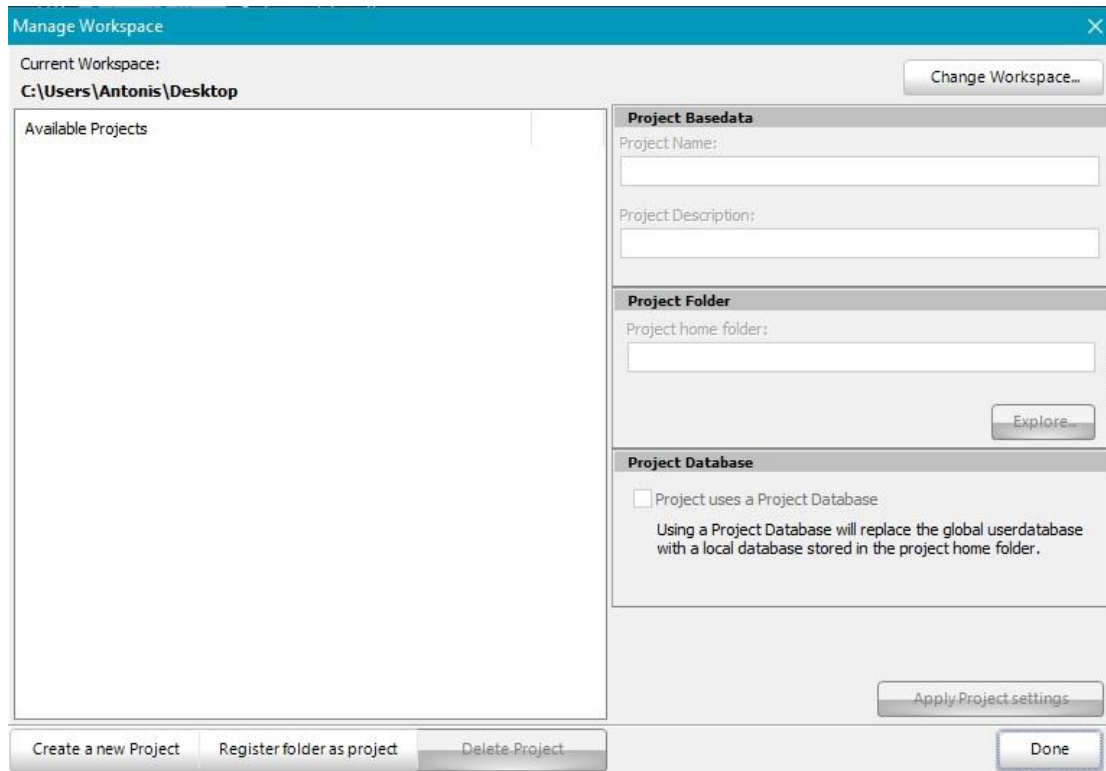
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένας σύντομος οδηγός με τα απαραίτητα βήματα για τη δημιουργία της πρώτης προσομοίωσης για την υφιστάμενη κατάσταση στην πλατεία της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης για μία μέση τυπική ημέρα, όπως αυτή υπολογίστηκε παραπάνω.

4.2 Προσομοίωση 1^η : Υφιστάμενη κατάσταση – Τυπική ημέρα

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας σύντομος οδηγός με τα απαραίτητα βήματα για τη δημιουργία της πρώτης προσομοίωσης για την υφιστάμενη κατάσταση στην πλατεία της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης για μία μέση τυπική ημέρα όπως αυτή υπολογίστηκε παραπάνω.



Βήμα 1^ο: Εκκινώντας το πρόγραμμα *ENVI-met V4 Headquarter*, στην καρτέλα *Data and settings*, επιλέγεται η εφαρμογή «Manage Projects and Workspaces» και εμφανίζεται η παρακάτω οθόνη (Εικόνα 4.1).

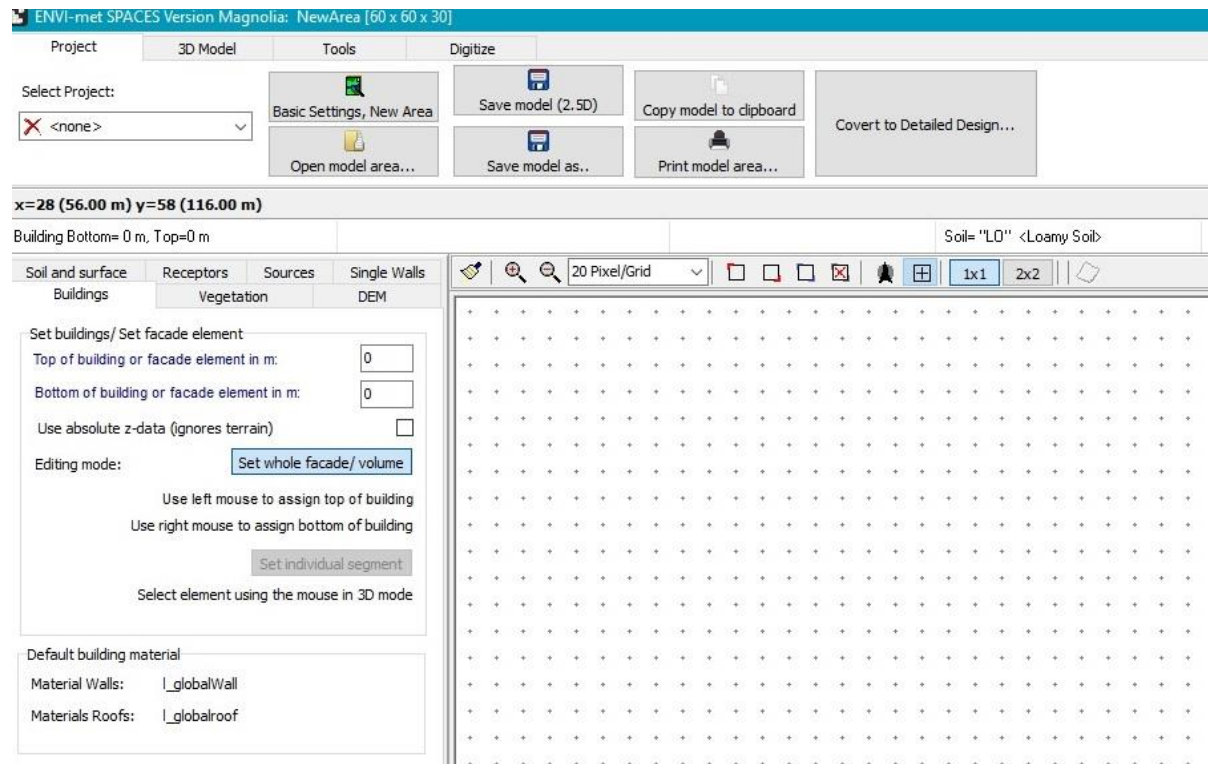


Εικόνα 4.1: Οθόνη εφαρμογής manage projects and workspaces [28].

Από την επιλογή «Change Workspace» επιλέγεται ο φάκελος στον οποίο επιθυμείται να αποθηκευτεί η προσομοίωση και τα αρχεία που θα προκύψουν. Στη συνέχεια με την επιλογή «Create a new project» δημιουργείται το νέο «project» στο οποίο δίνεται και το επιθυμητό όνομα. Τέλος, με την επιλογή *Done* γίνεται έξοδος από τη συγκεκριμένη εφαρμογή.



Βήμα 2^ο: Επιλέγοντας την εφαρμογή *Spaces*, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Οθόνη εφαρμογής Spaces [28].

Επιλέγοντας την οθόνη *Basic Settings, New Area* δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί και να διαμορφωθεί η νέα περιοχή που επιθυμείται να προσομοιωθεί αργότερα. Στην παρακάτω Εικόνα 4.3 ρυθμίζεται αρχικά ο αριθμός των κελιών της περιοχής διαμόρφωσης στις διευθύνσεις X, Y, Z. Στη συγκεκριμένη δωρεάν έκδοση του προγράμματος Envi-met 4.0 υπάρχει η μέγιστη δυνατότητα επιλογής κελιών η οποία είναι 100, 100, 40 αντίστοιχα σε κάθε διεύθυνση. Με κριτήρια την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων αλλά και την εξοικονόμηση υπολογιστικής ισχύος και κατά συνέπεια χρόνου προσομοιώσεως, επιλέχθηκε το πλέγμα X=80, Y=80, Z=35.



Εικόνα 4.3: Οθόνη καρτέλας “Basic Settings, New Area [28].

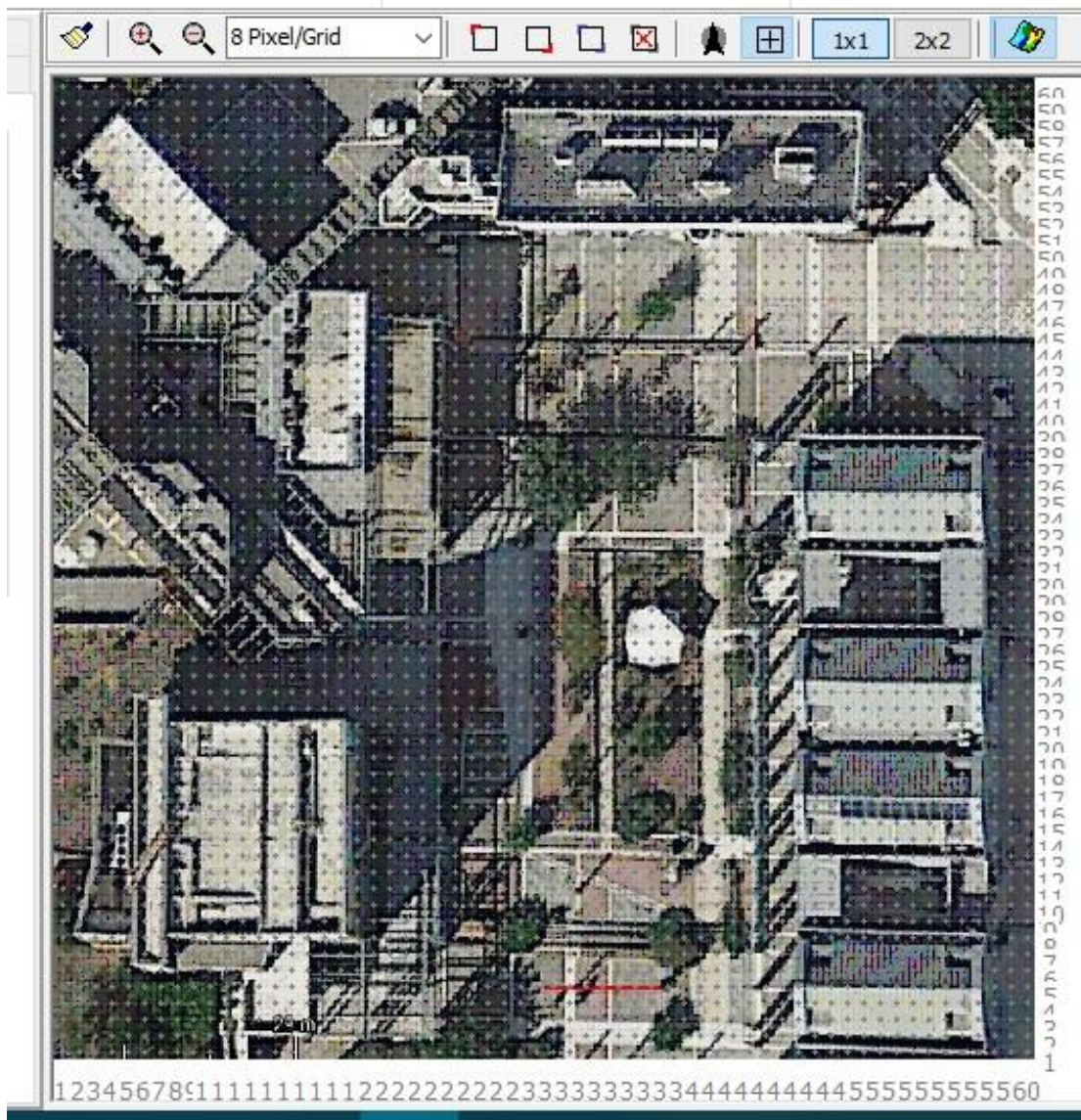
Στο παραπάνω πλήθος κελιών, κατά τις διευθύνσεις X και Y, συμπεριλαμβάνονται 16 κελιά (8+8) τα οποία τέθηκαν υπό τη μορφή επάλληλων πλεγμάτων (nesting grids), προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή θέση των ορίων του υπολογιστικού πεδίου και να μην επηρεαστεί η ροή του αέρα από την ύπαρξη των υπό προσομοίωση στοιχείων. Στη θέση αυτή η κατανομή των παραμέτρων του ροϊκού πεδίου θεωρείται γνωστή, σύμφωνα με τις σχέσεις ροής σε επίπεδο ανάγλυφο. Η ταχύτητα του ανέμου έχει λογαριθμική κατανομή ή σύμφωνα με το γνωστό νόμο του εκθέτη. Η απόσταση από τα όρια στην έξοδο του πεδίου διασφαλίζει ότι τα μεγέθη δεν παρουσιάζουν εγκάρσιες διαφοροποιήσεις (λαμβάνεται σταθερή πίεση σε όλο το ύψος), ενώ στα πλάγια θεωρείται ότι τα μεγέθη δεν παρουσιάζουν κλίσεις στα όρια.

Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται επίσης ότι κατά τον άξονα Z επιλέχθηκε τα υπολογιστικά κελιά να είναι σταθερού ύψους (equidistant). Επίσης, επιλέχθηκε η ανάθεση αργιλικού εδάφους στα *Soil A* και *Soil B* (Loamy Soil), η οποία δικαιολογείται από το γεγονός ότι η ευρύτερη περιοχή γύρω από την πλατεία είναι στο μεγαλύτερό της



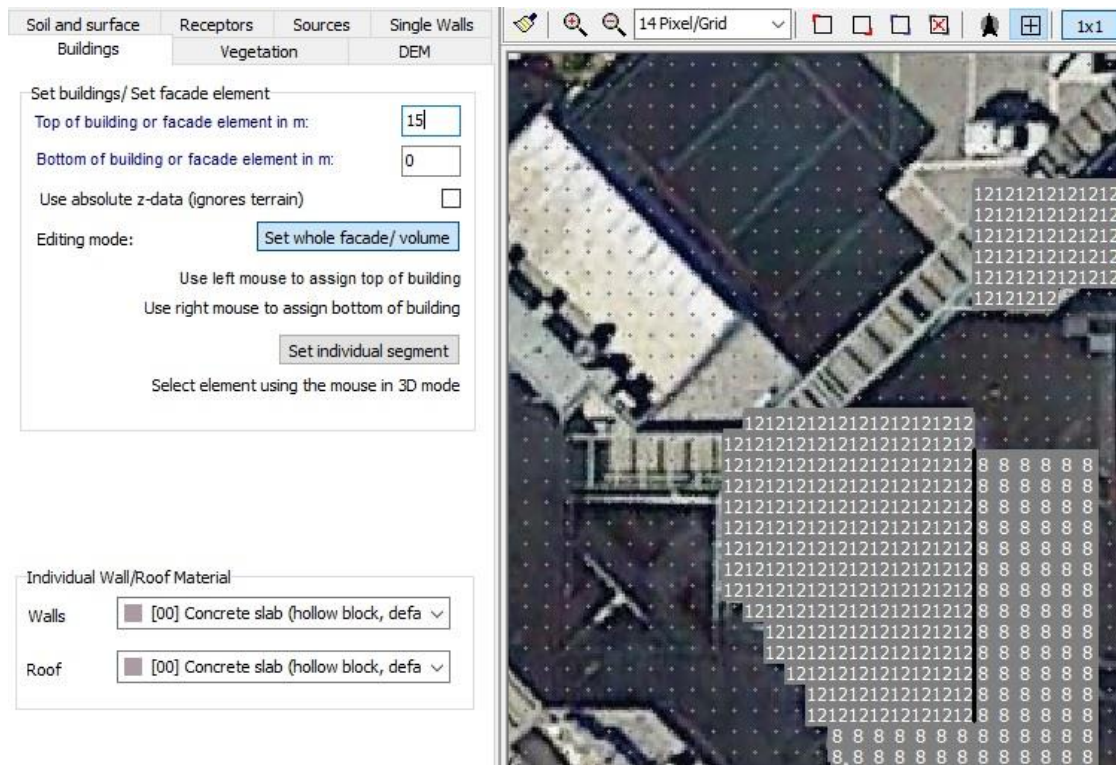
μέρος μη δομημένη. Τέλος, στην έκδοση αυτή είναι καταχωρημένη η πόλη της Αθήνας, ενώ στις γεωγραφικές συντεταγμένες χρησιμοποιήθηκαν αυτές του Πολυτεχνείου Κρήτης οι οποίες είναι $\text{latitude} = 35.52$, $\text{longitude} = 24.06$. Η περιοχή προσομοίωσης έχει αναστραφεί 30° σε σχέση με το Βορρά, το οποίο συμπληρώθηκε στο πεδίο *model rotation out of grid north*.

Στη συνέχεια από την καρτέλα Digitize και με την επιλογή *select bitmap* επιλέγεται η εικόνα της περιοχής της πλατείας όπως αυτή φαίνεται στο Google Earth. Ανάλογα με το μέγεθος της πλατείας και το πώς αυτή απεικονίζεται στην οθόνη επιλέγεται και το πεδίο pixel/grid όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση τέθηκε 8 (Εικόνα 4.4), ώστε να απεικονίζεται ολόκληρη μέσα στο πλέγμα (grid).



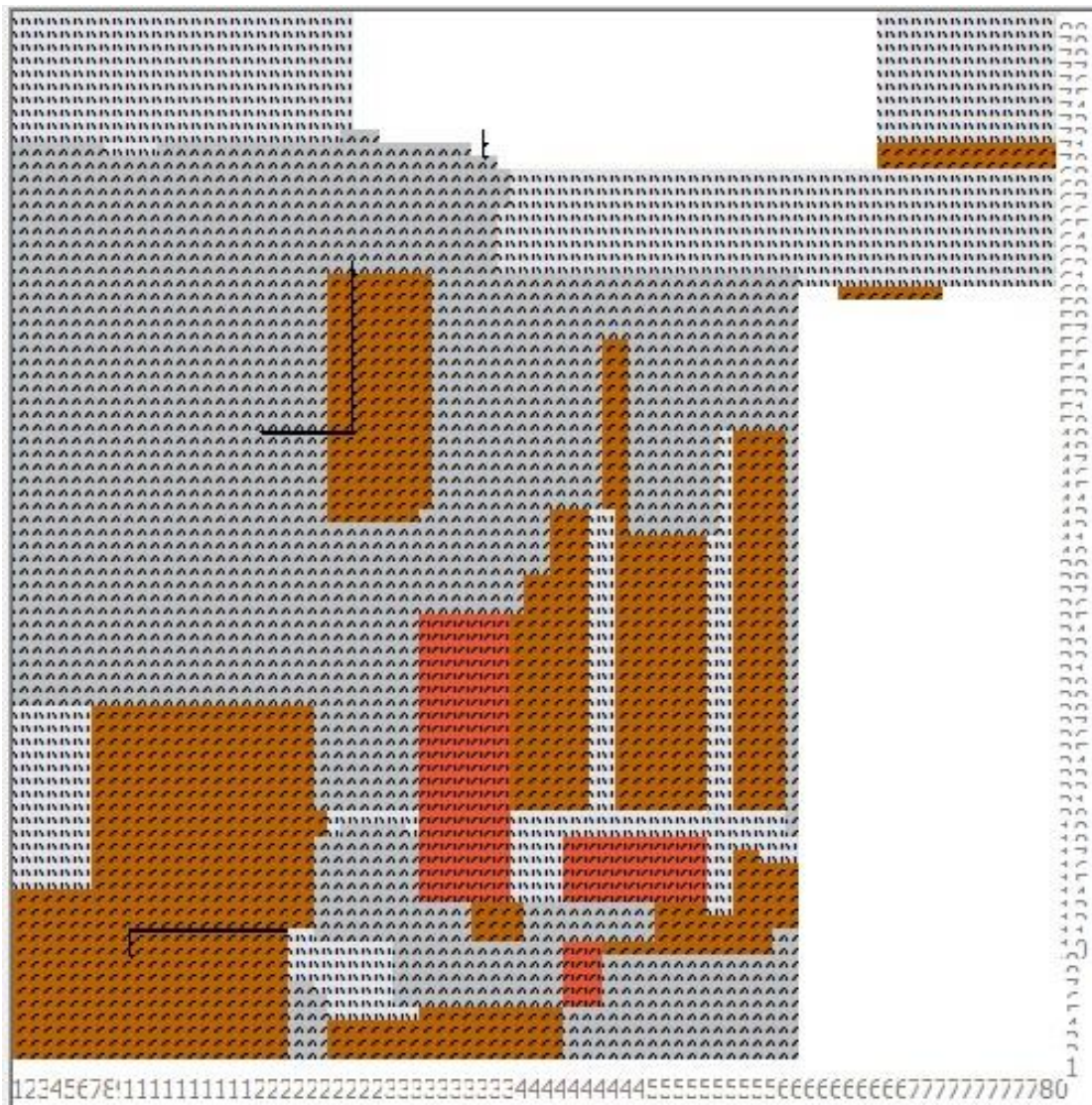
Εικόνα 4.4: Εικόνα της υπό προσομοίωση πλατείας μέσα στο “grid” [Προσωπική εργασία].

Βήμα 3^ο: Τοποθετούνται τα κτίρια με τα πραγματικά τους ύψη από την καρτέλα *buildings* της εφαρμογής *Spaces*. Στο πεδίο *Top of buildings* ορίζεται το ύψος του κτιρίου που επιθυμείται να τοποθετηθεί στο σχέδιο και με αριστερό κλικ του ποντικιού σχεδιάζεται η κάτοψή του. Στη συγκεκριμένη σχεδίαση τα κτίρια έχουν ύψος 12,15,8 μέτρα. Για αναίρεση ενός κτιρίου ορίζεται εκ νέου μηδέν το ύψος του στο πεδίο *Top of buildings* και μαρκάρεται με δεξί κλικ η προς αναίρεση περιοχή (Εικόνα 4.5).



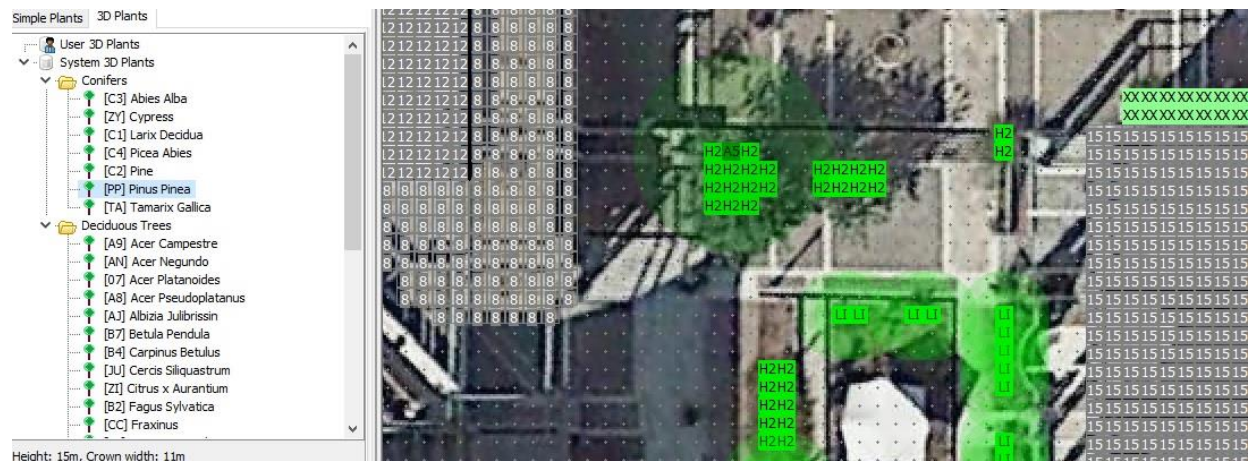
Εικόνα 4.5: Τοποθέτηση κτιρίων μέσα στο ‘grid’ [Προσωπική εργασία].

Στη συνέχεια από την καρτέλα *Soil and Surface* επιλέγεται και τοποθετείται με αριστερό κλικ το είδος του εδάφους που αντιστοιχεί σε κάθε σημείο. Η πλατεία της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης αποτελείται από χώμα (LO), τσιμέντο ανοιχτόχρωμο (PL) και γκρίζο (PG) καθώς και κόκκινα τούβλα (KK), όπως φαίνεται και παρακάτω στην Εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6: Τοποθέτηση ειδών εδάφους στην πλατεία – υφιστάμενη κατάσταση [Προσωπική εργασία].

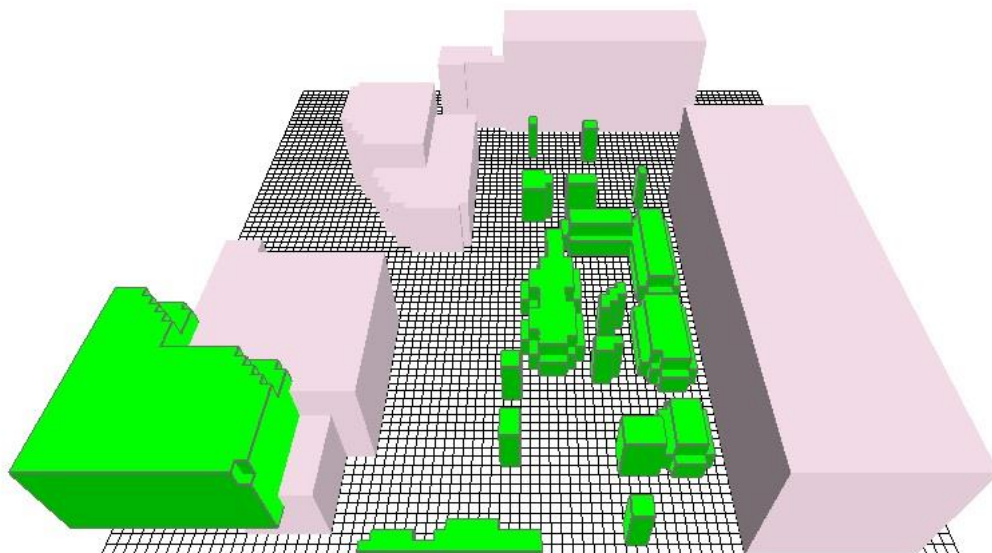
Κύριας σημασίας είναι στη συνέχεια η τοποθέτηση των φυτών που συνθέτουν το πλέγμα της πλατείας. Από την καρτέλα *Vegetation* εισάγονται τα φυτά στο σημείο που αυτά βρίσκονται. Σύμφωνα με τον γεωπόνο του Πολυτεχνείου Κρήτης έχουν φυτευτεί στη συγκεκριμένη πλατεία γρασίδι (XX), θάμνοι (LI), νεραντζιές (H2), όπως φαίνονται και την Εικόνα 4.7 στη συνέχεια.



Εικόνα 4.7: Τοποθέτηση φυτών στο πλέγμα της πλατείας [Προσωπική εργασία].

Επίσης, είναι δυνατόν η τοποθέτηση σιντριβανιών και λόφων από τις καρτέλες *Sources* και *Dem* αντίστοιχα.

Βήμα 4^ο: Συνεχίζοντας στην εφαρμογή *Spaces*, από την καρτέλα *Project* και επιλέγοντας *Convert to 3D* το σχέδιο που έχει δημιουργηθεί ως τώρα μετατρέπεται σε τρισδιάστατο. Επιλέγοντας εν συνεχεία, στην καρτέλα *3D Model* την επιλογή *Open 3D view* εμφανίζεται η υφιστάμενη εικόνα της πλατείας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.8 που ακολουθεί.

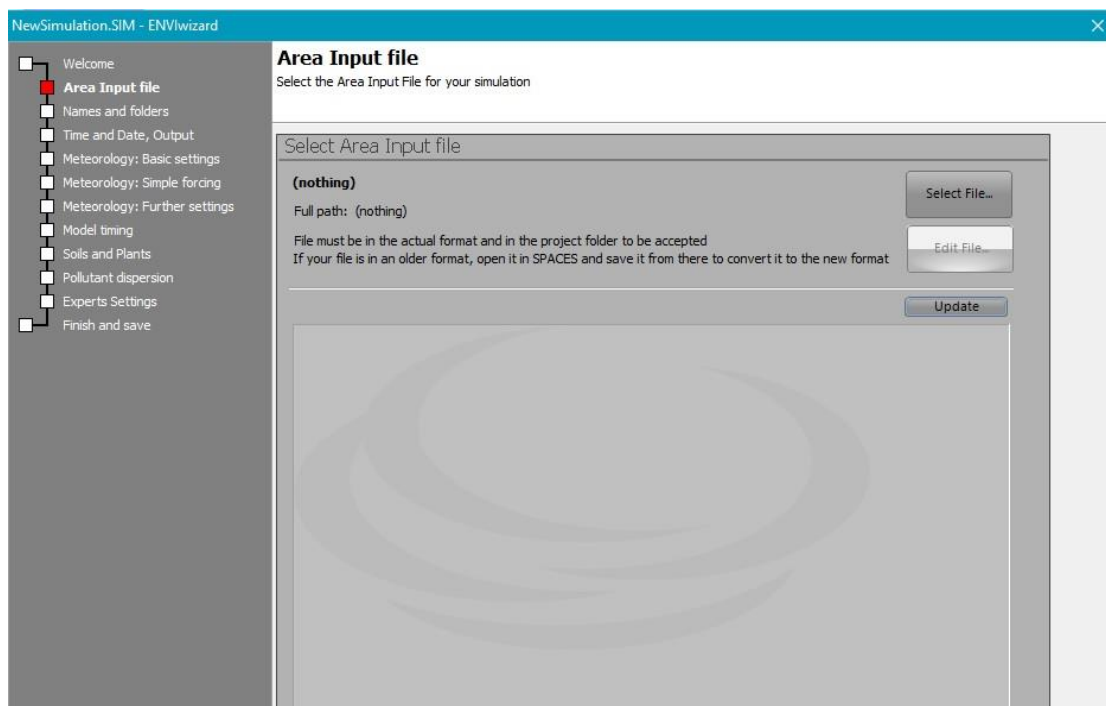


Εικόνα 4.8: Υφιστάμενη τρισδιάστατη μορφή της πλατείας [προσωπική εργασία].



Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας του μοντέλου στην τρισδιάστατη μορφή του. Από την επιλογή *Buildings, Set individual segment* μπορούν να χρωματιστούν οι τοίχοι και οι οροφές των κτιρίων του μοντέλου με διάφορα χρώματα όπως πχ. γκρι, καφέ κοκ.

Βήμα 5^ο: Από την εφαρμογή *Project Wizard* επιλέγεται το *Project* το οποίο δημιουργήθηκε στο 1^ο βήμα και στη συνέχεια δημιουργώντας ένα νέο αρχείο προσομοίωσης με το πλήκτρο *New* εμφανίζεται η παρακάτω Εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.9: Αρχείο δημιουργίας νέας προσομοίωσης [28].

Στην καρτέλα *Area input file* επιλέγεται το αρχείο της περιοχής της πλατείας που δημιουργήθηκε προηγουμένως στο *Spaces*. Στη συνέχεια στην καρτέλα *Names and folders* δίνεται ένα όνομα στην προσομοίωση που δημιουργείται. Επιλέγοντας την καρτέλα *Time and Date, Output* εισάγεται η προσομοίωση να ξεκινήσει στις 5 π.μ. και για 16 ώρες (Εικόνα 4.10) που είναι ένα ικανοποιητικό διάστημα για ασφαλή αποτελέσματα. Επιλέγεται αυτό το διάστημα διότι ξεκινάει πριν από την ανατολή του ηλίου και ολοκληρώνεται με τη δύση του, ώστε να έχουν συμπεριληφθεί οι περισσότερες θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο.



The screenshot shows the 'NewSimulation.SIM - ENVlizard' window. On the left is a sidebar with a tree view containing the following items: Welcome, Area Input file, Names and folders, **Time and Date, Output** (highlighted with a red square), Meteorology: Basic settings, Meteorology: Simple forcing, Meteorology: Further settings, Model timing, Soils and Plants, Pollutant dispersion, Experts Settings, and Finish and save. The main panel is titled 'Time and Date, Output' with the subtitle 'Define date and length of simulation and output options'. It contains two sections: 'Start and duration of model run' and 'Output settings'. The 'Start and duration' section has three input fields: 'Start Date (DD.MM.YYYY):' with the value '23.06.2017', 'Start Time (HH:MM:SS):' with the value '05:00:00', and 'Total Simulation Time (h):' with the value '16'. The 'Output settings' section is partially visible below.

Εικόνα 4.10: Ορισμός χρόνου προσομοίωσης [προσωπική εργασία].

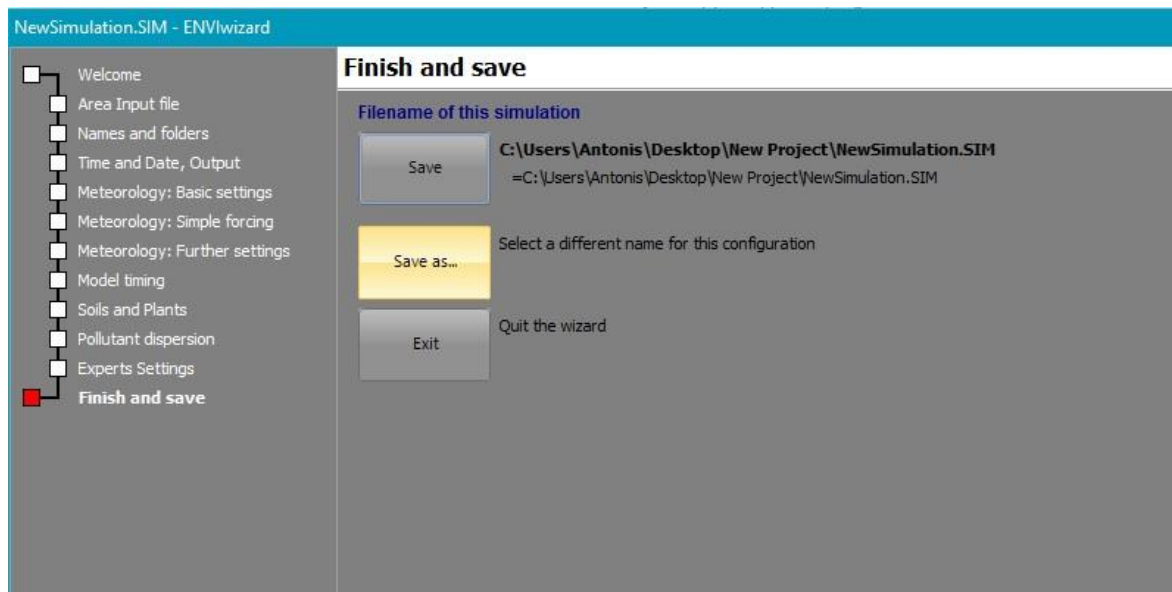
Επιπρόσθετα, στη επόμενη καρτέλα *Meteorology: Basic settings* εισάγονται οι συνθήκες της συγκεκριμένης προσομοίωσης (Εικόνα 4.11), Υφιστάμενη κατάσταση – Τυπική ημέρα. Ρυθμίζονται οι τυπικές συνθήκες που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 4.2) οι οποίες είναι ταχύτητα ανέμου 3.3 m/s, διεύθυνση ανέμου ΒΑ ίση με 45°, θερμοκρασία 28.8° C και υγρασία 53%.

The screenshot shows the 'NewSimulation.SIM - ENVlizard' window with the 'Meteorology: Basic settings' panel selected. The sidebar on the left is the same as in the previous image, but 'Meteorology: Basic settings' is now highlighted with a red square. The main panel is titled 'Meteorology: Basic settings' with the subtitle 'Define the basic meteorological framework for your simulation'. It contains a section 'Initial meteorological conditions' with three sub-sections: 'Wind uvw', 'Temperature T', and 'Humidity q'. The 'Wind uvw' section has three input fields: 'Wind speed measured in 10 m height (m/s):' with the value '3.3', 'Wind direction (deg):' with the value '45' (with a note '(0= from North...180= from South...)' to the right), and 'Roughness length at measurement site:' with a dropdown menu showing '0.1'. The 'Temperature T' section has one input field: 'Initial temperature of atmosphere (°C):' with the value '28.8' and a note '(Calculated when forcing is used)' to the right. The 'Humidity q' section has two input fields: 'Specific humidity at model top (2500 m, g/kg):' with the value '7.0' and 'Relative humidity in 2m (%)': with the value '53'.

Εικόνα 4.11: Εισαγωγή συνθηκών τυπικής ημέρας για την προσομοίωση [προσωπική εργασία].

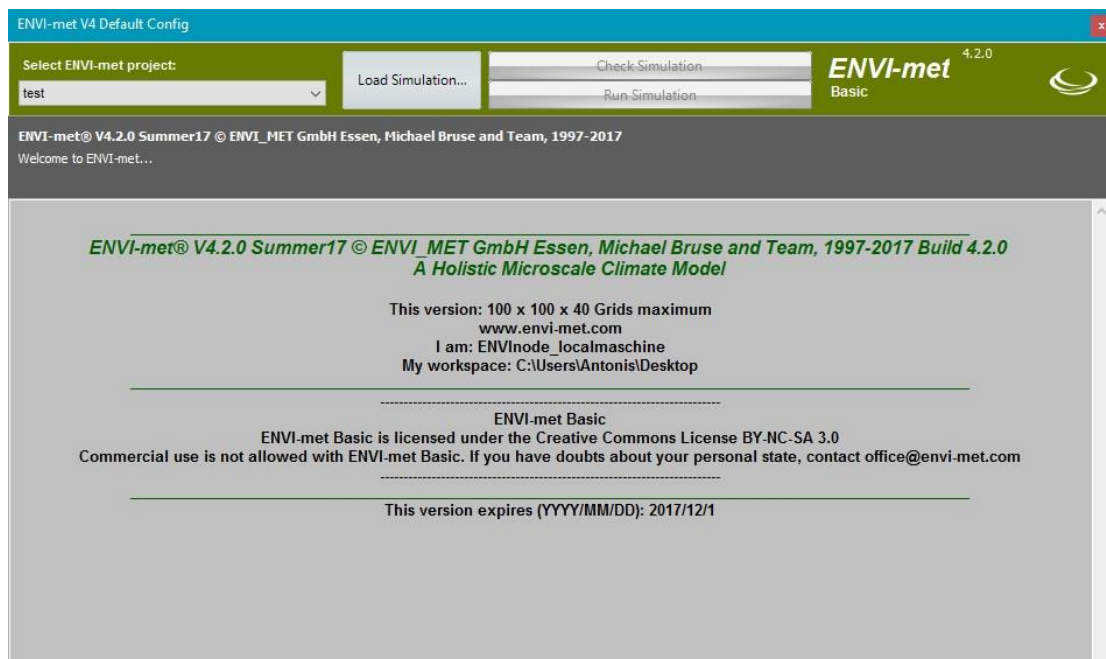
Στη συνέχεια επιλέγονται οι προεπιλεγμένες ρυθμίσεις ως έχουν και ολοκληρώνεται η ρύθμιση αυτής της προσομοίωσης σώζοντας το αρχείο (Εικόνα 4.12).

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



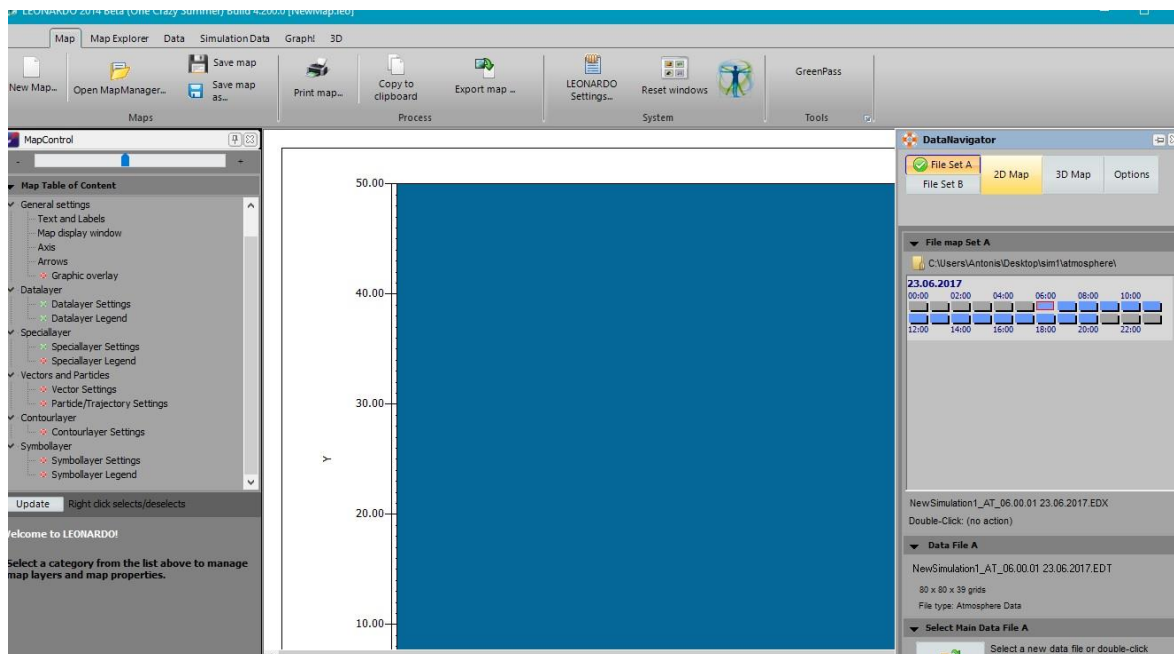
Εικόνα 4.12: Αποθήκευση αρχείου και ρυθμίσεων προσομοίωσης [προσωπική εργασία].

Βήμα 6°: Από το πρόγραμμα Envi-met Headquarter μπορεί τώρα να «τρέξει» η προσομοίωση. Επιλέγοντας *Envi-met version 100x100x40*, η οποία είναι και η μόνη διαθέσιμη στην δωρεάν έκδοση του λογισμικού, εμφανίζεται το παράθυρο της Εικόνας 4.13. Επιλέγεται η προσομοίωση με το όνομα που αποθηκεύτηκε στο 5^ο βήμα και στη συνέχεια με την επιλογή *Run Simulation* ξεκινάει αυτή να «τρέχει» (Εικόνα 4.13). Ενδεικτικά ο μέσος όρος του χρόνου διάρκειας από τις τέσσερις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική ήταν 23 ώρες.



Εικόνα 4.13: Οθόνη προσομοίωσης [προσωπική εργασία]

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή *Leonardo* του προγράμματος Envi-met. Επιλέγοντας τα αρχεία *.EDX* από το φάκελο *atmosphere* που δημιουργήθηκε από την προσομοίωση εμφανίζεται η παρακάτω Εικόνα 4.14.



Εικόνα 4.14: Εφαρμογή Leonardo, εξαγωγή προσομοίωσης [προσωπική εργασία].

Στο δεξί μέρος της οθόνης, όπου βρίσκεται το *Data navigator* εμφανίζονται οι ώρες κατά τις οποίες έγινε η προσομοίωση. Επιλέγοντας με διπλό κλικ κάποια από αυτές

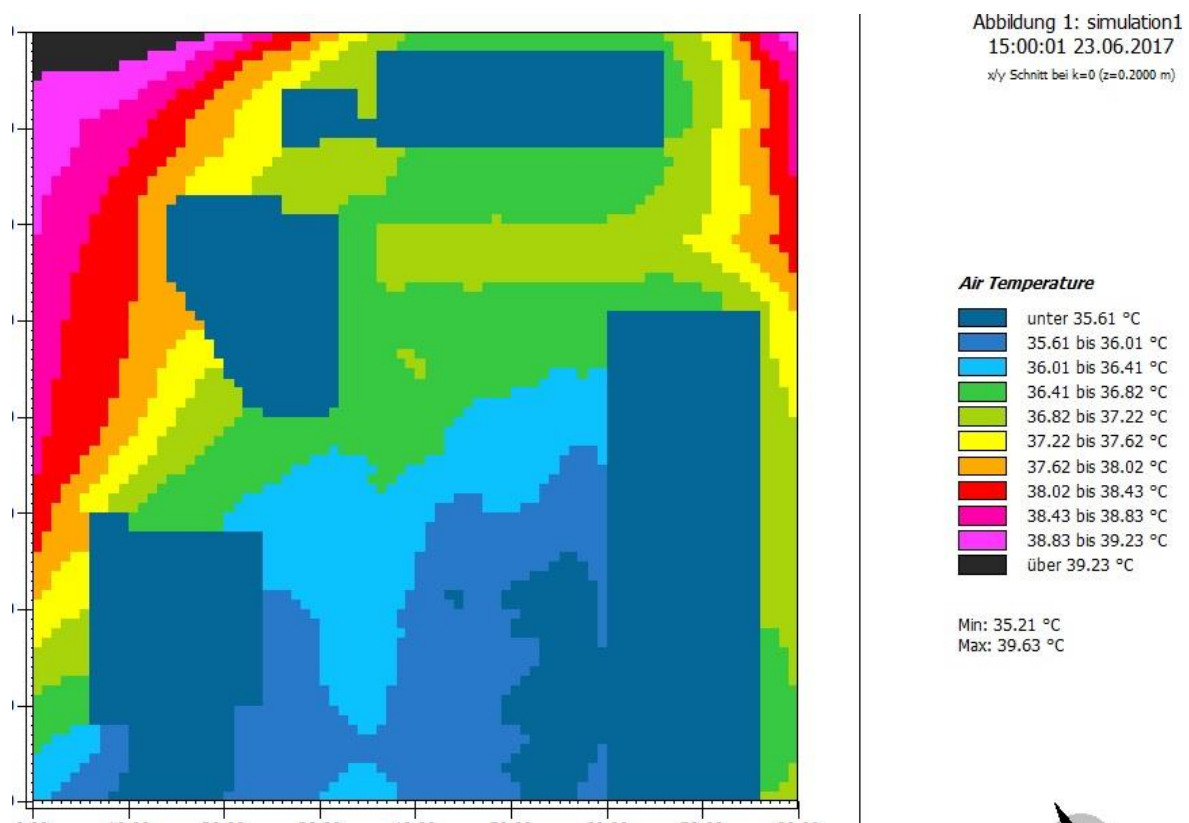


εμφανίζονται σε δισδιάστατο χάρτη τα αποτελέσματα για τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του αέρα κ.ο.κ.

Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα για ανάλυση των παραπάνω μεγεθών σε κάθε μία από τις ώρες της προσομοίωσης. Η προσομοίωση «έτρεξε» από τις 5 π.μ. έως τις 9 μ.μ. . Οι ώρες που προέκυψαν από το πρόγραμμα για ανάλυση είναι από τις 6 π.μ. ως τις 8 μ.μ. .

4.2.1 Αποτελέσματα θερμοκρασίας

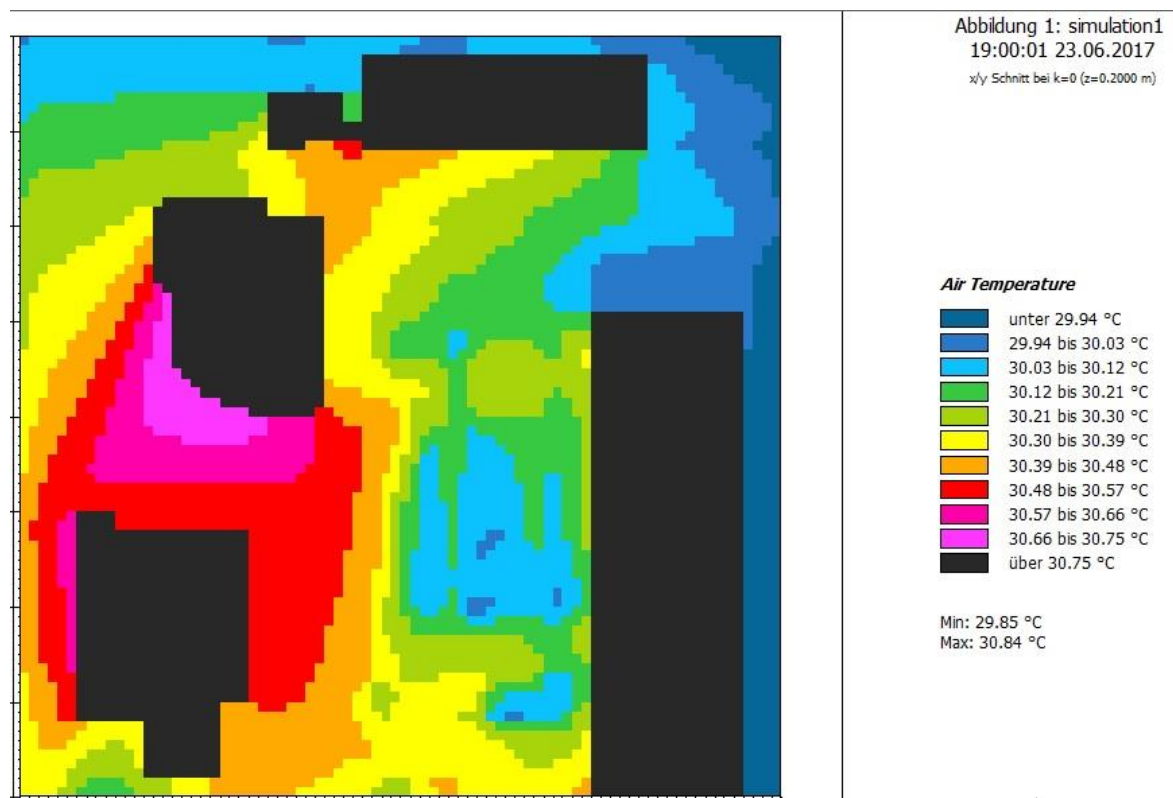
Η μέγιστη θερμοκρασία της πλατείας παρατηρείται στις 3.00 μ.μ. η οποία ανέρχεται στους 39.6° C. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες αναπτύσσονται στο σημείο της πλατείας όπου δεν υπάρχει ιδιαίτερη βλάστηση, οι οποίες επισημαίνονται με ροζ-φούξια και μαύρο χρώμα. Επιπλέον, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στα σημεία τα οποία καλύπτονται από χώμα. Η χαμηλότερη θερμοκρασία εκείνη τη χρονική στιγμή είναι στους 35.2° C. Ακολουθεί (Εικόνα 4.15) το Γράφημα με τις θερμοκρασίες όπως αυτό προέκυψε από την εφαρμογή *Leonardo*.





Εικόνα 4.15: Γράφημα θερμοκρασίας 3.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

Αξίζει επίσης να σημειωθεί το γεγονός ότι στις 7.00 μ.μ. η θερμοκρασία των κτιρίων παρατηρήθηκε υψηλότερη από κάθε άλλο σημείο της πλατείας με την τιμή της να φτάνει στους 30.8° C (εικόνα 4.16). Αυτό συμβαίνει διότι ο ήλιος υπερθέρμανε καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας τα κτίρια τα οποία συγκράτησαν την ηλιακή ακτινοβολία και δεν την αντανάκλασαν, καθώς τα υλικά του κτιρίου δεν είναι θερμοανакλαστικά.



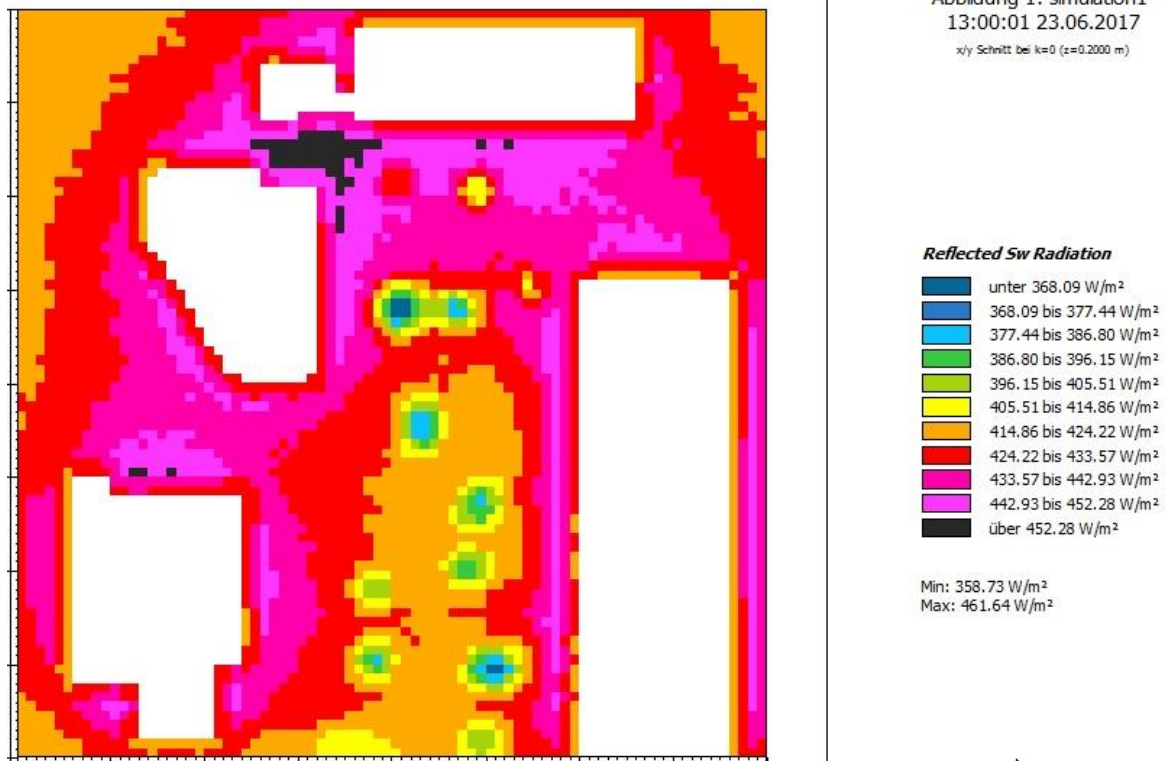
Εικόνα 4.16: Γράφημα θερμοκρασίας 7.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

4.2.2 Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας

Παρατηρείται ότι στα σημεία που βρίσκονται πιο ανοιχτόχρωμα υλικά η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι περισσότερη σε σχέση με τα σημεία με πιο σκούρο έδαφος. Επίσης, οι περιοχές καλυμμένες με χώμα αντανάκλουν μικρότερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το τσιμέντο αλλά δεν την απορροφούν. Στη 1.00 μ.μ. η



μέγιστη ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στα 461.64 W/m^2 . Ακολουθεί το Γράφημα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη $1.00 \mu\text{m}$ (Εικόνα 4.17).



Εικόνα 4.17: Γράφημα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη $1.00 \mu\text{m}$. υφιστάμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

4.2.3 Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας

Η προσομοίωση ξεκίνησε με αρχικές συνθήκες τη μέση σχετική υγρασία στο 53%. Σύμφωνα με την προσομοίωση παρατηρήθηκε ότι τις θερμότερες ώρες τις ημέρας οι τιμές της σχετικής υγρασίας κυμαίνονταν από 34-40%. Οι υψηλότερες τιμές της παρατηρούνται στα φυτεμένα μέρη της πλατείας και στα χωμάτινα. Οι τιμές αυτές θεωρούνται αρκετά χαμηλές σε σχέση με τις συνθήκες θερμικής άνεσης οι οποίες είναι 50-60%. Συνεπώς το κλίμα στην πλατεία παρατηρείται ξηρό τις ώρες με υψηλή θερμοκρασία, δηλαδή από τις 12 μ.μ. ως τις 6 μ.μ.. Παρακάτω παρουσιάζεται το Γράφημα με τις τιμές της σχετικής υγρασίας στις 5.00 μ.μ. (Εικόνα 4.18).



Abbildung 1: simulation1
17:00:01 23.06.2017
x/y Schnitt bei k=0 (z=0.2000 m)

Relative Humidity

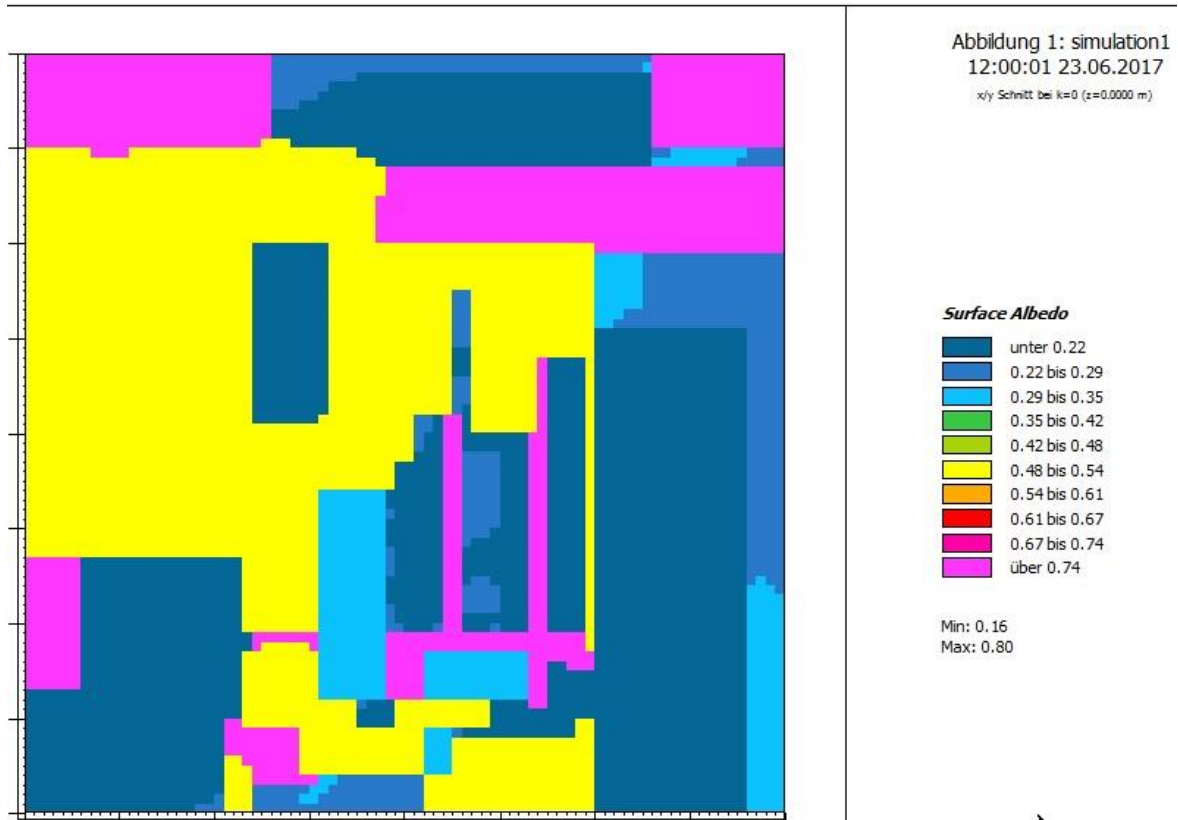
unter 34,80 %
34,80 bis 35,34 %
35,34 bis 35,88 %
35,88 bis 36,42 %
36,42 bis 36,96 %
36,96 bis 37,51 %
37,51 bis 38,05 %
38,05 bis 38,59 %
38,59 bis 39,13 %
39,13 bis 39,67 %
über 39,67 %

Min: 34,26 %
Max: 40,21 %

Εικόνα 4.18: Γράφημα σχετικής υγρασίας στις 5.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

4.2.4 Αποτελέσματα ανακλαστικότητας επιφανειών (albedo)

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες παραγράφους ο δείκτης ανακλαστικότητας “albedo” δείχνει κατά πόσο ένα υλικό ανακλάει την ηλιακή ακτινοβολία. Υλικά με $\text{albedo} > 0.5$ πρέπει να επιλέγονται ώστε να επικρατούν συνθήκες άνεσης στο χώρο. Στην παρακάτω Εικόνα 4.19 απεικονίζονται οι τιμές albedo των περιοχών της πλατείας όπως αυτές προέκυψαν από την προσομοίωση.



Εικόνα 4.19: Γράφημα ανακλαστικότητας (albedo) στις 12.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

Παρατηρείται ότι οι επιφάνειες όλων των κτιρίων χαρακτηρίζονται από χαμηλή ανακλαστικότητα κάτω από 0.22. Στις χωμάτινες περιοχές παρατηρείται επίσης χαμηλός συντελεστής albedo της τάξης των 0.22. Επιπλέον, τα μέρη με κόκκινα τούβλα έχουν σχετικά χαμηλή ανακλαστικότητα ίση με 0.3. Οι επιφάνειες καλυμμένες με ανοιχτόχρωμο τσιμέντο παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα η οποία φτάνει στο 0.8. Τέλος, περιοχές καλυμμένες με γκρίζες πλάκες χαρακτηρίζονται με albedo 0.5.

4.3 Προσομοίωση 2^η : Υφιστάμενη κατάσταση – Θερμότερη ημέρα

Στη δεύτερη προσομοίωση ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία με την πρώτη προσομοίωση με τη μόνη διαφορά ότι στο Βήμα 5 εισάχθηκαν τα δεδομένα της θερμότερης ημέρας όπως φαίνονται παρακάτω στην Εικόνα 4.20.



NewSimulation.SIM - ENViwizard

Welcome

Area Input file

Names and folders

Time and Date, Output

Meteorology: Basic settings

Meteorology: Simple forcing

Meteorology: Further settings

Model timing

Soils and Plants

Pollutant dispersion

Experts Settings

Finish and save

Meteorology: Basic settings

Define the basic meteorological framework for your simulation

Initial meteorological conditions

Wind uvw

Wind speed measured in 10 m height (m/s): 3.0

Wind direction (deg): 45 (0= from North...180= from South...)

Roughness length at measurement site: 0.1

Temperature T

Initial temperature of atmosphere (°C): 29.2 (Calculated when forcing is used)

Humidity q

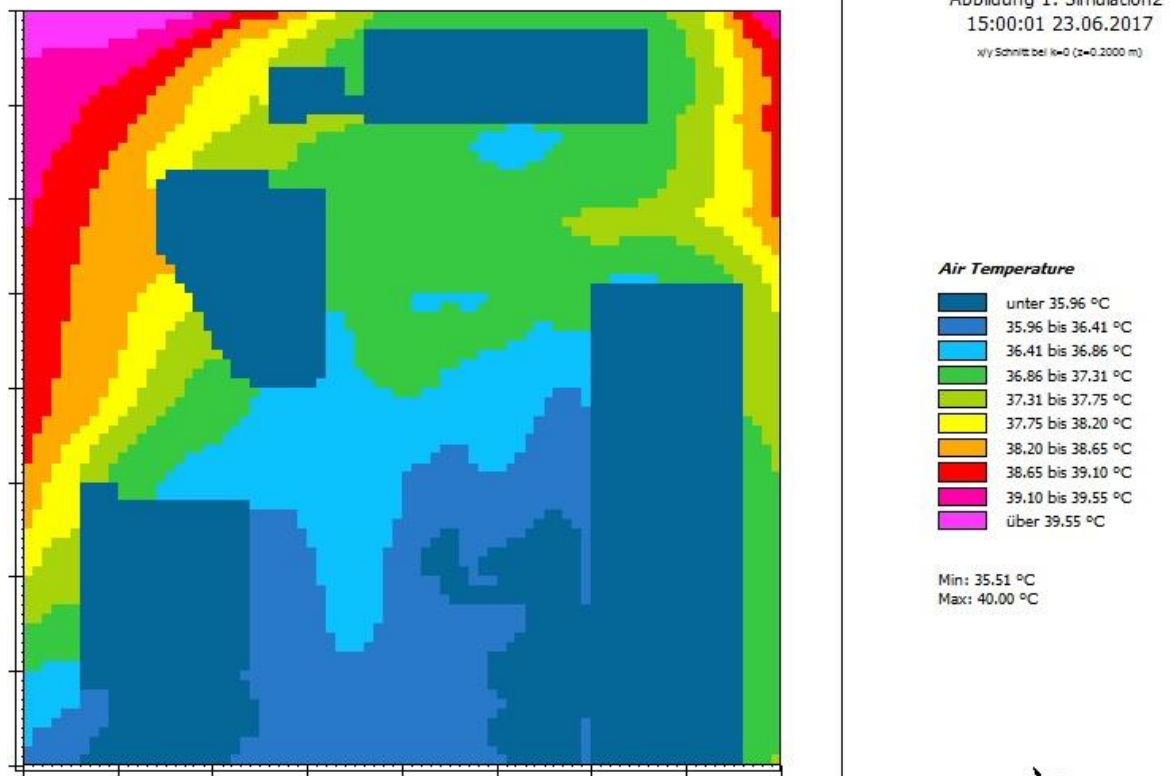
Specific humidity at model top (2500 m, g/kg): 7.0

Relative humidity in 2m (%): 55.4

Εικόνα 4.20: Εισαγωγή συνθηκών θερμότερης ημέρας για την προσομοίωση [προσωπική εργασία].

4.3.1 Αποτελέσματα θερμοκρασίας

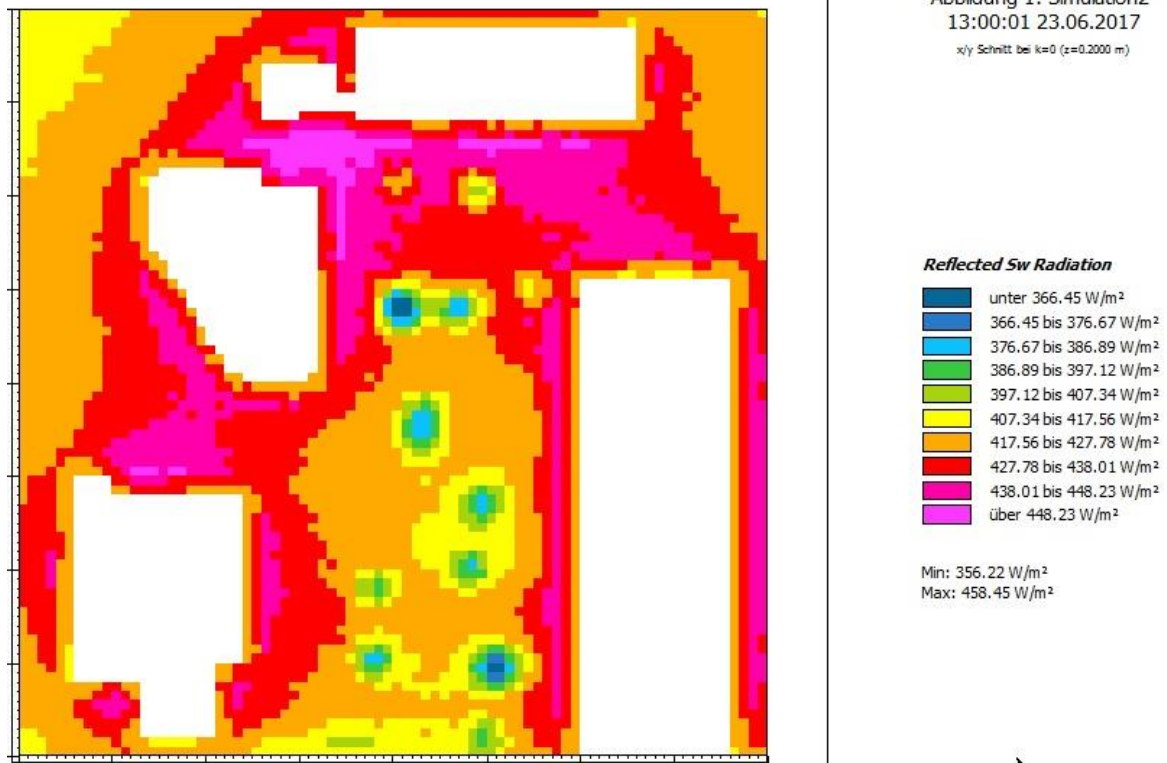
Η μέγιστη θερμοκρασία της πλατείας για την θερμότερη ημέρα του έτους παρατηρείται και πάλι στις 3.00 μ.μ. η οποία ανέρχεται στους 40.0° C. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες αναπτύσσονται στο σημείο της πλατείας όπου δεν υπάρχει ιδιαίτερη βλάστηση, οι οποίες επισημαίνονται με ροζ-φούξια και μαύρο χρώμα. Επιπλέον, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στα σημεία τα οποία καλύπτονται από χώμα. Η χαμηλότερη θερμοκρασία εκείνη τη χρονική στιγμή ήταν στους 35.5° C. Στην Εικόνα 4.21 που ακολουθεί απεικονίζονται τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας για τις 3.00 μ.μ.



Εικόνα 4.21: Γράφημα θερμοκρασίας 3.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση - θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].

4.3.2 Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας

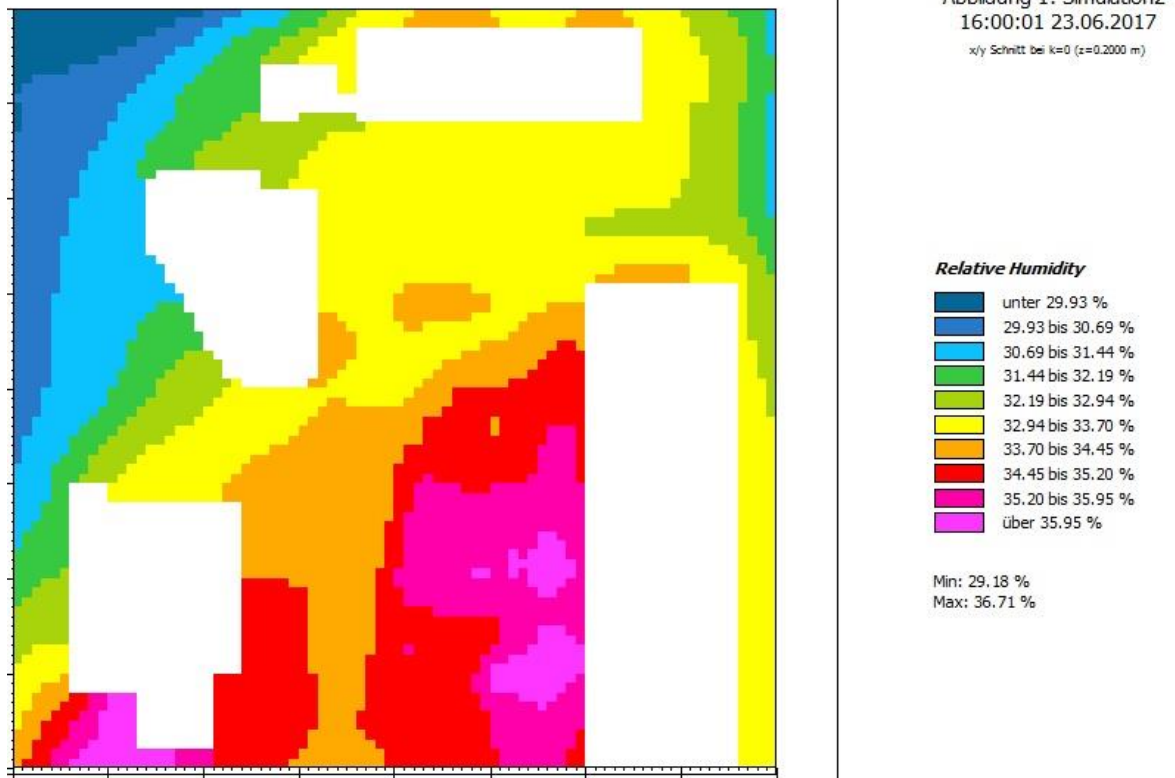
Ομοίως με την πρώτη προσομοίωση, στα σημεία που βρίσκονται πιο ανοιχτόχρωμα υλικά η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι περισσότερη σε σχέση με τα σημεία με πιο σκούρο έδαφος. Επίσης, οι περιοχές καλυμμένες με χόμα αντανακλούν μικρότερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το τσιμέντο αλλά δεν την απορροφούν. Στη 1.00 μ.μ. και για τη θερμότερη ημέρα η μέγιστη ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία έφτανε στα 458.45 W/m² (Εικόνα 4.22).



Εικόνα 4.22: Γράφημα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη 1.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση - θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].

4.3.3 Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας

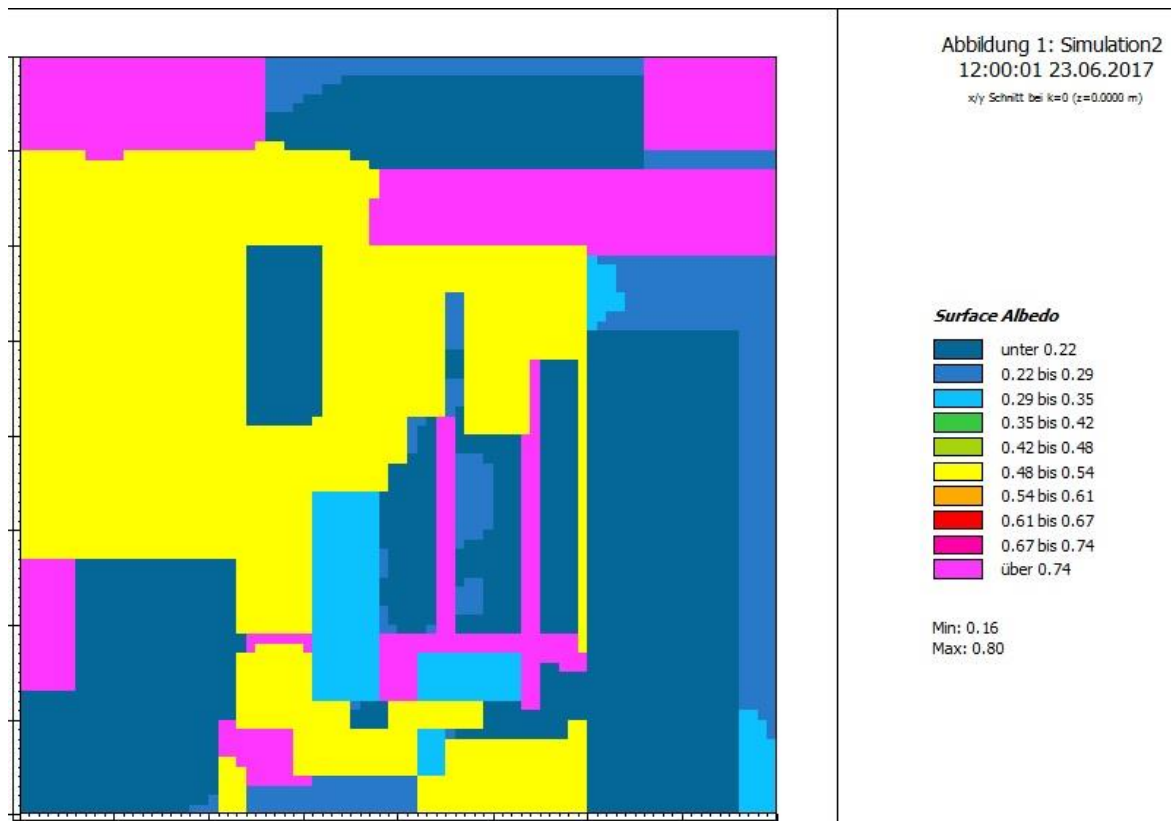
Η προσομοίωση ξεκίνησε με αρχικές συνθήκες τη μέση σχετική υγρασία στο 55.4%. Σύμφωνα με την προσομοίωση παρατηρήθηκε ότι τις θερμότερες ώρες τις ημέρας οι τιμές της σχετικής υγρασίας κυμαίνονταν από 29% έως 37%. Οι υψηλότερες παρατηρούνται στα φυτεμένα μέρη της πλατείας και στα χωμάτινα. Οι τιμές αυτές θεωρούνται αρκετά χαμηλές σε σχέση με τις συνθήκες θερμικής άνεσης οι οποίες είναι 50% έως 60%. Συνεπώς το κλίμα στην πλατεία παρατηρείται και πάλι ξηρό τις ώρες με υψηλή θερμοκρασία. Παρακάτω παρουσιάζεται το Γράφημα με τις τιμές της σχετικής υγρασίας στις 4.00 μ.μ. (Εικόνα 4.23).



Εικόνα 4.23: Γράφημα σχετικής υγρασίας στις 4.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση - θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].

4.3.4 Αποτελέσματα ανακλαστικότητας επιφανειών (albedo)

Παρατηρείται ότι οι επιφάνειες όλων των κτιρίων χαρακτηρίζονται από χαμηλή ανακλαστικότητα κάτω από 0.22 (Εικόνα 4.24). Στις χωμάτινες περιοχές παρατηρείται επίσης χαμηλός συντελεστής albedo της τάξης των 0.22. Επιπλέον, τα μέρη με κόκκινα τούβλα έχουν σχετικά χαμηλή ανακλαστικότητα ίση με 0.3. Οι επιφάνειες καλυμμένες με ανοιχτόχρωμο τσιμέντο παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα η οποία φτάνει στο 0.8. Τέλος, περιοχές καλυμμένες με γκρίζες πλάκες χαρακτηρίζονται με albedo 0.5.

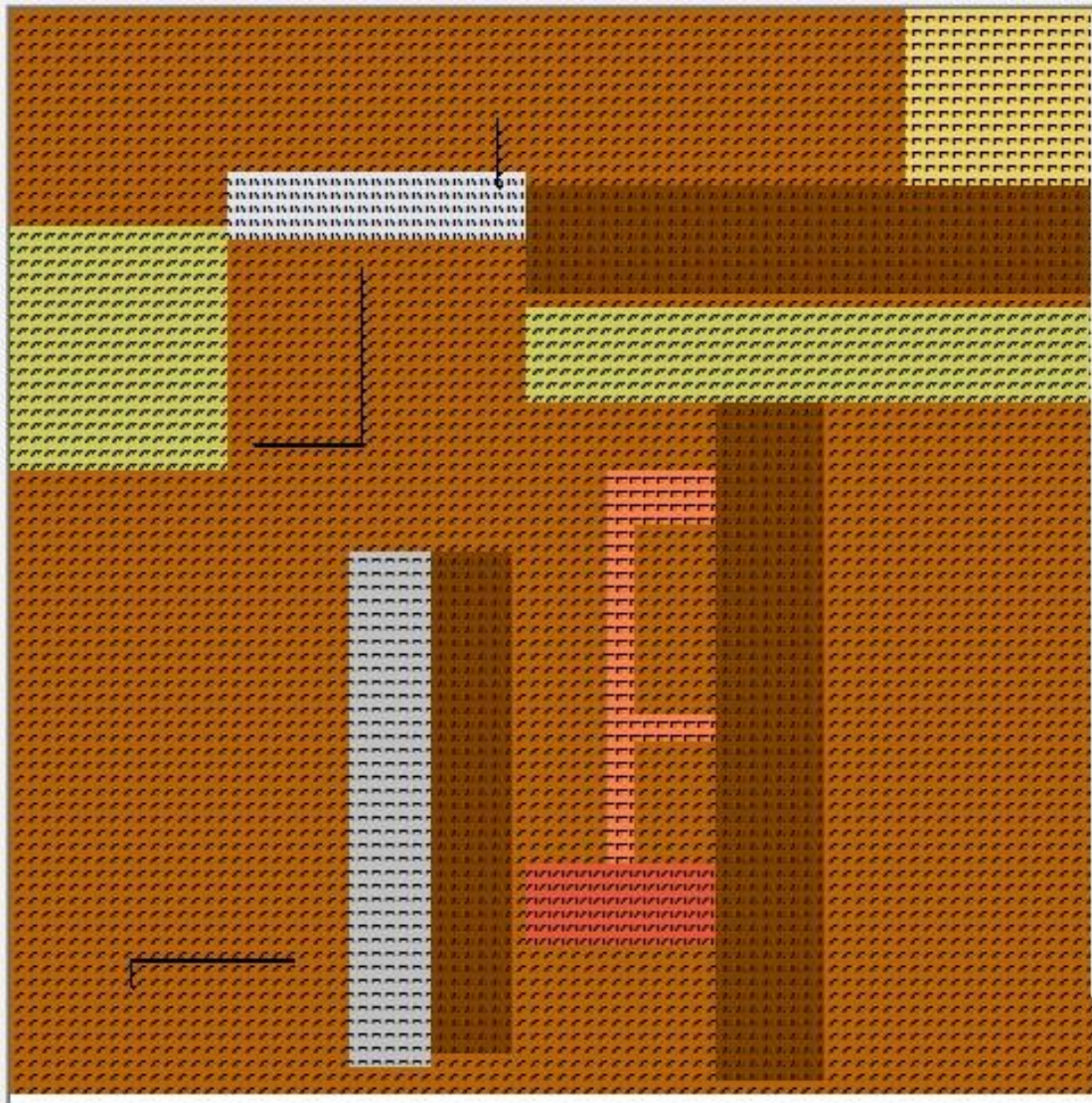


Εικόνα 4.24: Γράφημα ανακλαστικότητας (albedo) στις 12.00 μ.μ. υφιστάμενη κατάσταση – θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].

4.4 Προσομοίωση 3^η: Προτεινόμενη κατάσταση – Τυπική ημέρα

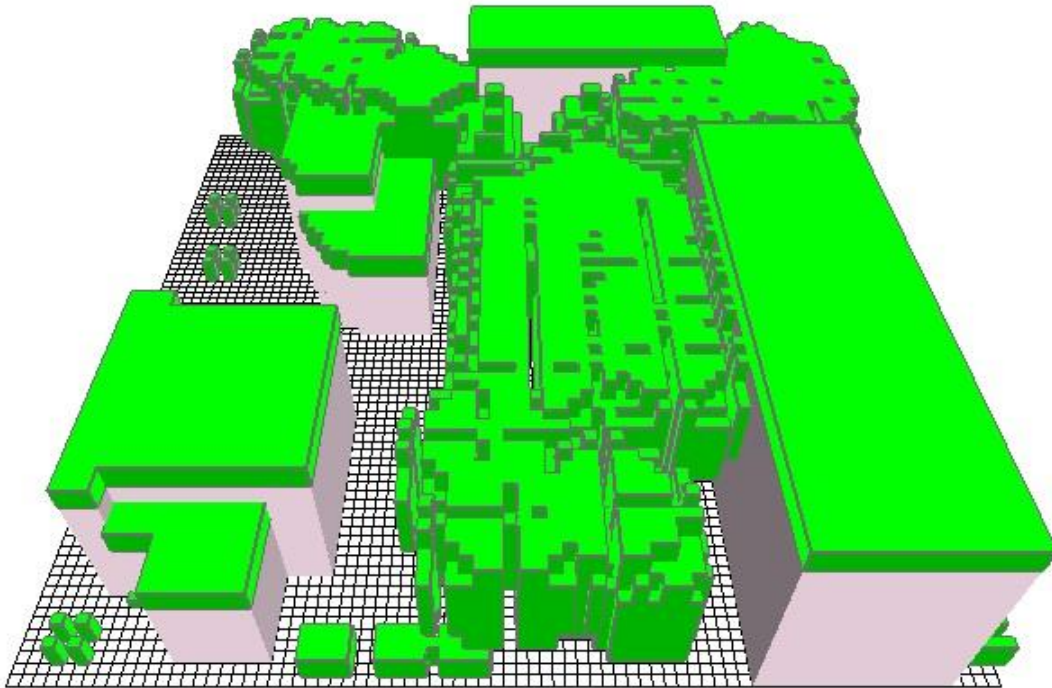
Στη συγκεκριμένη προσομοίωση ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με τις δύο προηγούμενες προσομοιώσεις, με τη διαφορά ότι έπρεπε να διαμορφωθεί εκ νέου στην εφαρμογή Spaces ο χώρος της πλατείας όπως θα ήταν η προτεινόμενη κατάσταση.

Στο Βήμα 3, κατόπιν της τοποθέτησης των κτιρίων, τοποθετήθηκαν εκ νέου υπεδάφη όπως ξύλινα καταστρώματα (wood planks) και αμμώδες έδαφος (sandy soil). Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν γρανιτένιες πλάκες, κόκκινα τούβλα, ανοιχτόχρωμο τσιμέντο, κίτρινες πέτρες, και φυσικά χωματώδης περιοχές (Εικόνα 4.25), υλικά τα οποία παρουσιάζουν αυξημένο συντελεστή albedo (περίπου 0.5), με σκοπό την αύξηση της ανακλαστικότητας.



Εικόνα 4.25: Τοποθέτηση ειδών εδάφους στην πλατεία – προτεινόμενη κατάσταση [Προσωπική εργασία].

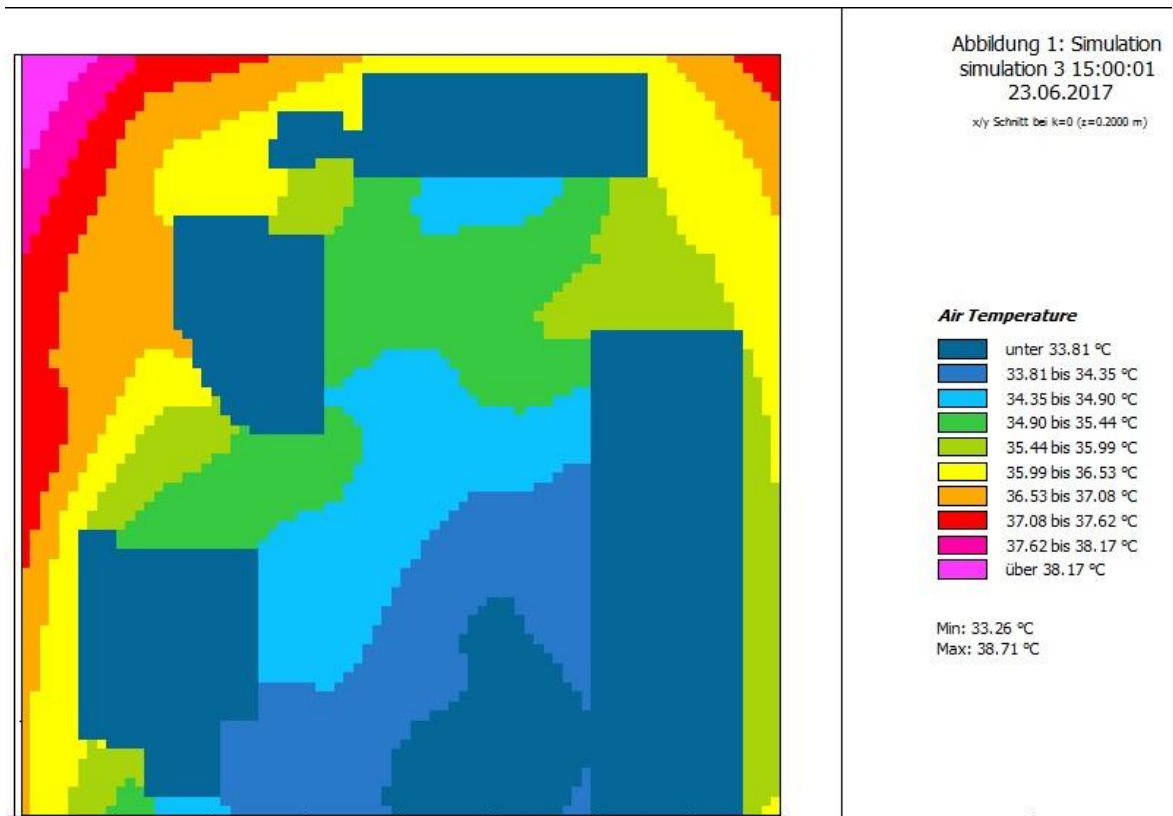
Επιπλέον, πολύ σημαντικός παράγοντας για την ενεργειακή αναβάθμιση της πλατείας ήταν η τοποθέτηση φυτών σε όλα τα μήκη και πλάτη της περιοχής. Αρχικά, τοποθετήθηκε γρασίδι σε όλες τις στέγες των κτιρίων ώστε η θερμοκρασία των κτιρίων να μειωθεί. Στις προσόψεις των κτιρίων τοποθετήθηκαν αναρριχώμενα φυτά με σκοπό τη σκίαση τους. Στα διάφορα σημεία της πλατείας φυτεύτηκαν πεύκα, ελιές, θάμνοι και διάφορα δέντρα μήκους έως 10 μέτρων (Εικόνα 4.26), με αποτέλεσμα της σκίαση της πλατείας.



Εικόνα 4.26: Προτεινόμενη τρισδιάστατη μορφή φύτευσης της πλατείας [προσωπική εργασία].

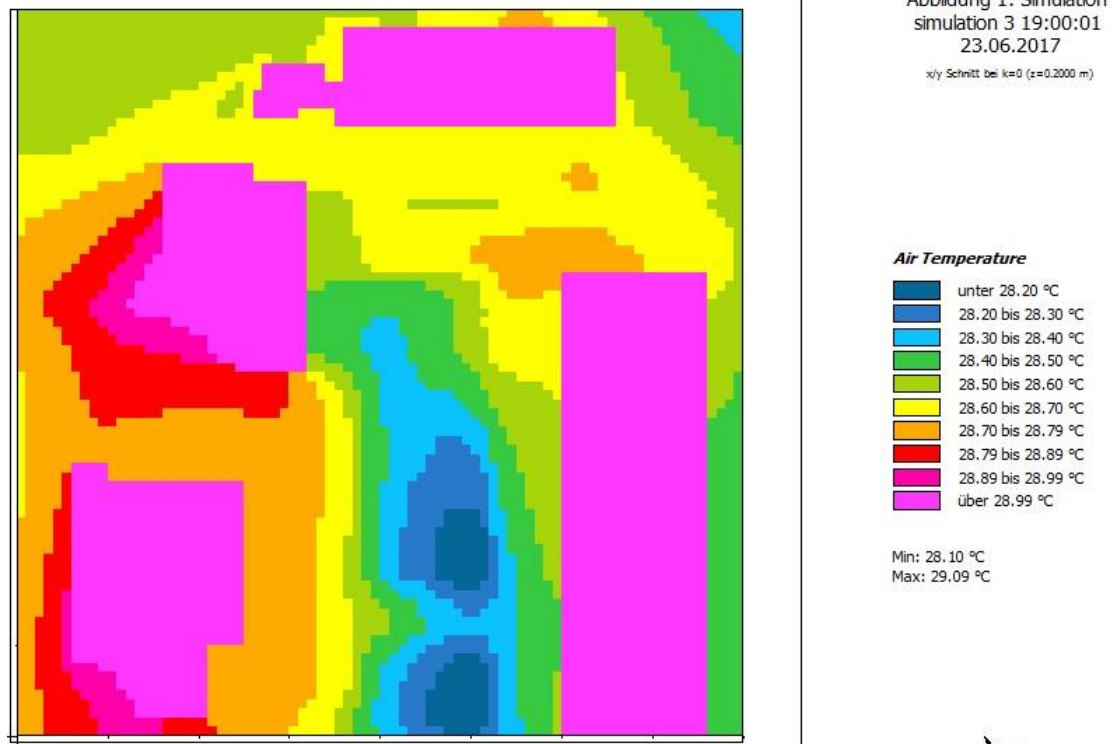
4.4.1 Αποτελέσματα θερμοκρασίας

Η μέγιστη θερμοκρασία της πλατείας παρατηρείται στις 3.00 μ.μ. η οποία ανέρχεται στους 38.7° C. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες αναπτύσσονται πλέον στα σημεία εξωτερικά της πλατείας όπου η βλάστηση είναι πιο αραιή, οι οποίες επισημαίνονται με ροζ-φούξια χρώμα (Εικόνα 4.27). Επιπλέον, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στα σημεία τα οποία καλύπτονται από χόμα και ψηλά δέντρα ύψους 10 μέτρων. Η χαμηλότερη θερμοκρασία εκείνη τη χρονική στιγμή ήταν στους 33.2° C.



Εικόνα 4.27: Γράφημα θερμοκρασίας 3.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

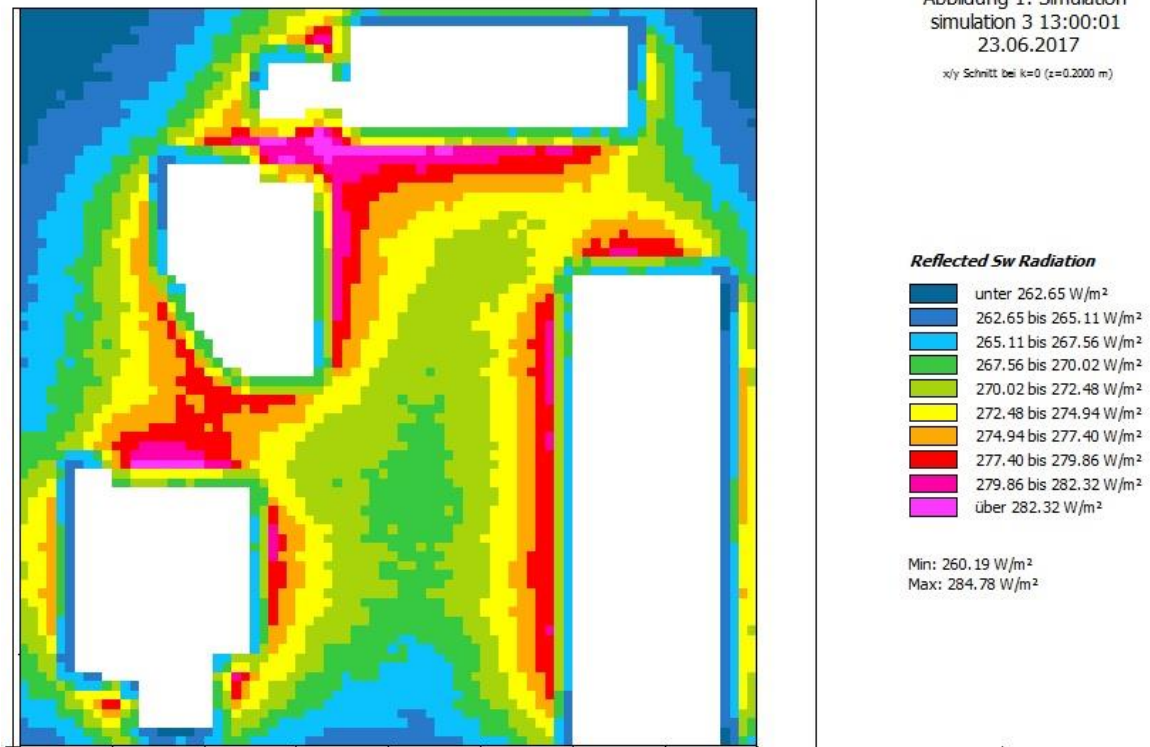
Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι στις 7.00 μ.μ. η θερμοκρασία των κτιρίων παρατηρήθηκε και πάλι υψηλότερη από κάθε άλλο σημείο της πλατείας με την τιμή της να φτάνει τους 29.1° C (Εικόνα 4.28). Αυτό συμβαίνει διότι ο ήλιος υπερθέρμανε καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας τα κτίρια τα οποία συγκράτησαν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 4.28: Γράφημα θερμοκρασίας στις 7.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

4.4.2 Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας

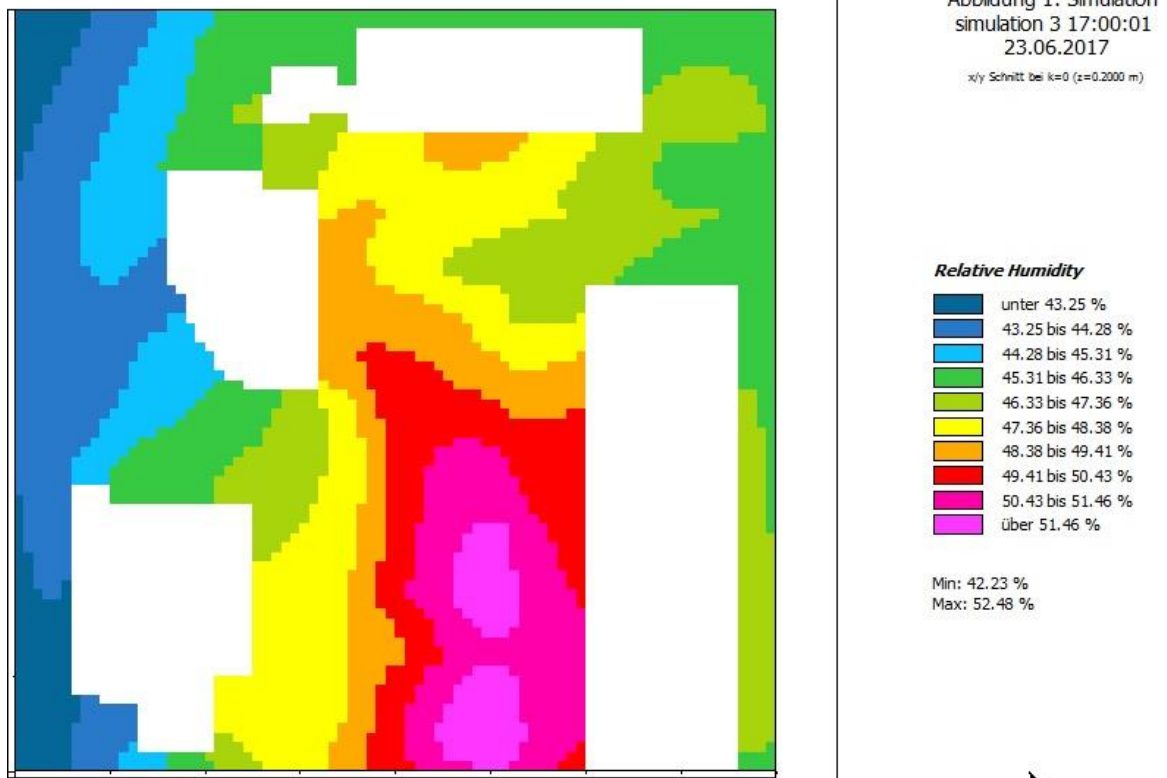
Παρατηρείται ότι στα σημεία που βρίσκονται πιο ανοιχτόχρωμα υλικά η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι περισσότερη σε σχέση με τα σημεία με πιο σκούρο έδαφος. Επίσης, οι περιοχές καλυμμένες με χόμα αντανακλούν μικρότερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το τσιμέντο αλλά δεν την απορροφούν. Εκεί που παρατηρούνται πυκνά και ψηλά δέντρα η ανακλώμενη ακτινοβολία είναι ελάχιστη. Στη 1.00 μ.μ. η μέγιστη ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στα 284.78 W/m² (Εικόνα 4.29).



Εικόνα 4.29: Γράφημα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη 1.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

4.4.3 Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας

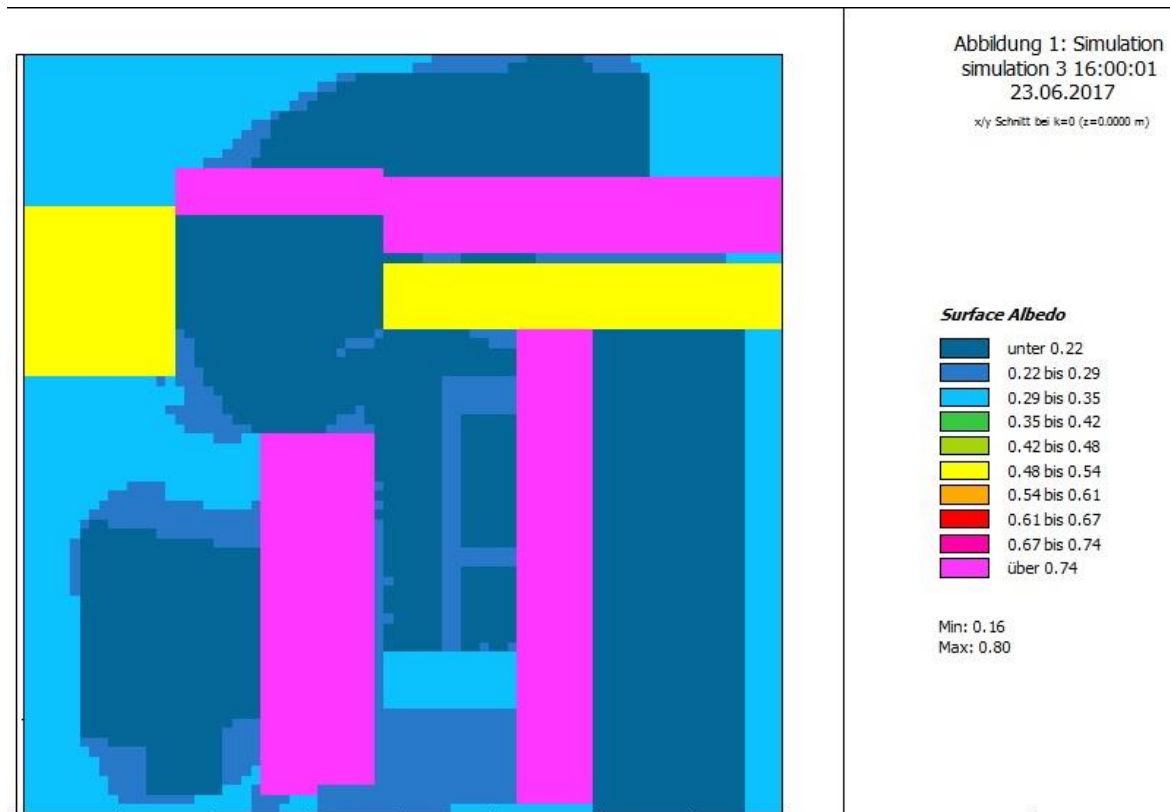
Η προσομοίωση ξεκίνησε με αρχικές συνθήκες τη μέση σχετική υγρασία στο 53%. Σύμφωνα με την προσομοίωση παρατηρήθηκε ότι τις θερμότερες ώρες τις ημέρας οι τιμές της σχετικής υγρασίας κυμαίνονταν από 42-52.5%. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στα φυτεμένα μέρη της πλατείας με πυκνή βλάστηση, οι οποίες επισημαίνονται με ροζ χρώμα (Εικόνα 4.30). Οι τιμές αυτές θεωρούνται αρκετά καλές, μέσα στις συνθήκες θερμικής άνεσης οι οποίες είναι 50-60%. Παρακάτω παρουσιάζεται το Γράφημα με τις τιμές της σχετικής υγρασίας στις 5.00 μ.μ. (Εικόνα 4.30).



Εικόνα 4.30: Γράφημα σχετικής υγρασίας στις 5.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

4.4.4 Αποτελέσματα ανακλαστικότητας επιφανειών (albedo)

Μετά το πέρας της βιοκλιματικής επέμβασης στην πλατεία, οι τιμές albedo παρατηρούνται μειωμένες σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση. Στην παρακάτω Εικόνα 4.31 φαίνονται οι τιμές albedo των περιοχών της πλατείας όπως αυτές προέκυψαν από την προσομοίωση. Οι τιμές κυμαίνονται έως 0.30 οι οποίες θεωρούνται αρκετά χαμηλές. Αυτό οφείλεται στην υψηλή βλάστηση διότι τα δέντρα δεν ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4.31: Γράφημα ανακλαστικότητας (albedo) στις 12.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - τυπική ημέρα [προσωπική εργασία].

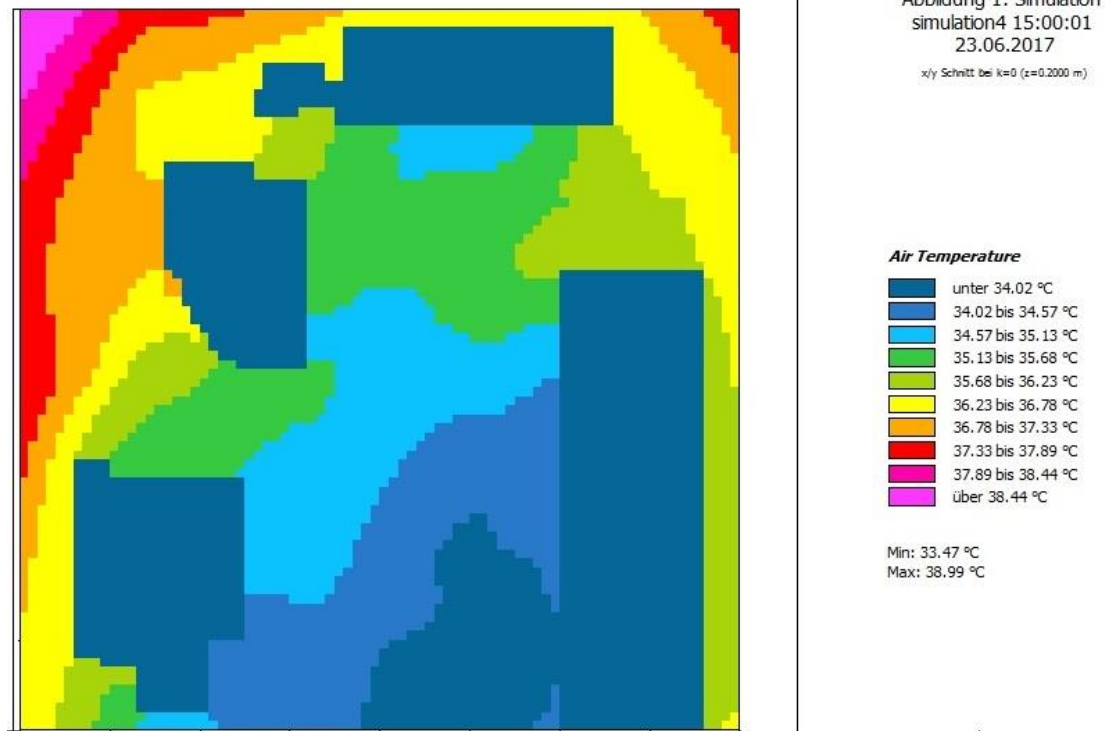
4.5 Προσομοίωση 4^η : Προτεινόμενη κατάσταση – Θερμότερη ημέρα

Στην τέταρτη προσομοίωση εισάχθηκαν τα δεδομένα της θερμότερης ημέρας όπως ακριβώς έγινε και στην δεύτερη.

4.5.1 Αποτελέσματα θερμοκρασίας

Η μέγιστη θερμοκρασία της πλατείας για την θερμότερη ημέρα του έτους παρατηρείται και πάλι στις 3.00 μ.μ. η οποία ανέρχεται στους 39.0° C. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες αναπτύσσονται βορειοδυτικά της πλατείας όπου δεν υπάρχει ιδιαίτερη βλάστηση, οι οποίες επισημαίνονται με ροζ χρώμα (Εικόνα 4.32). Στο κύριο τμήμα της πλατείας παρατηρούνται τιμές έως 35° C. Επιπλέον, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στα σημεία τα οποία καλύπτονται από χόμα. Η χαμηλότερη θερμοκρασία εκείνη τη χρονική στιγμή είναι στους 34.0° C.

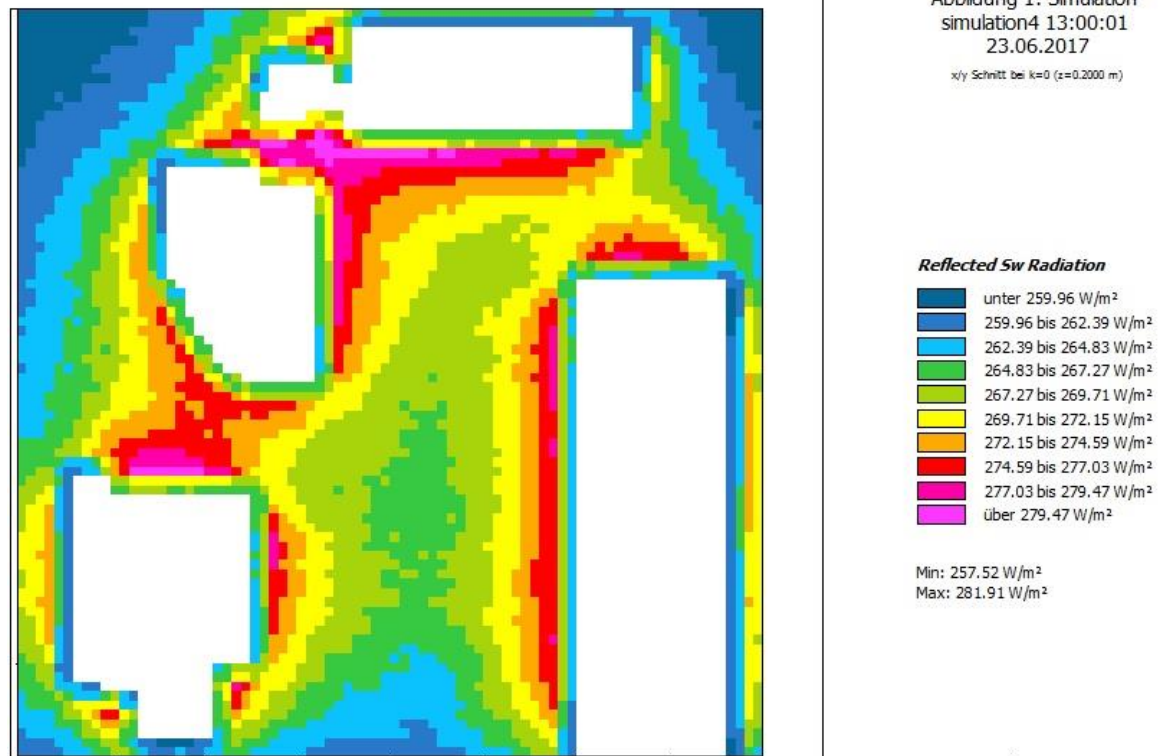
ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



Εικόνα 4.32: Γράφημα θερμοκρασίας 3.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].

4.5.2 Αποτελέσματα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας

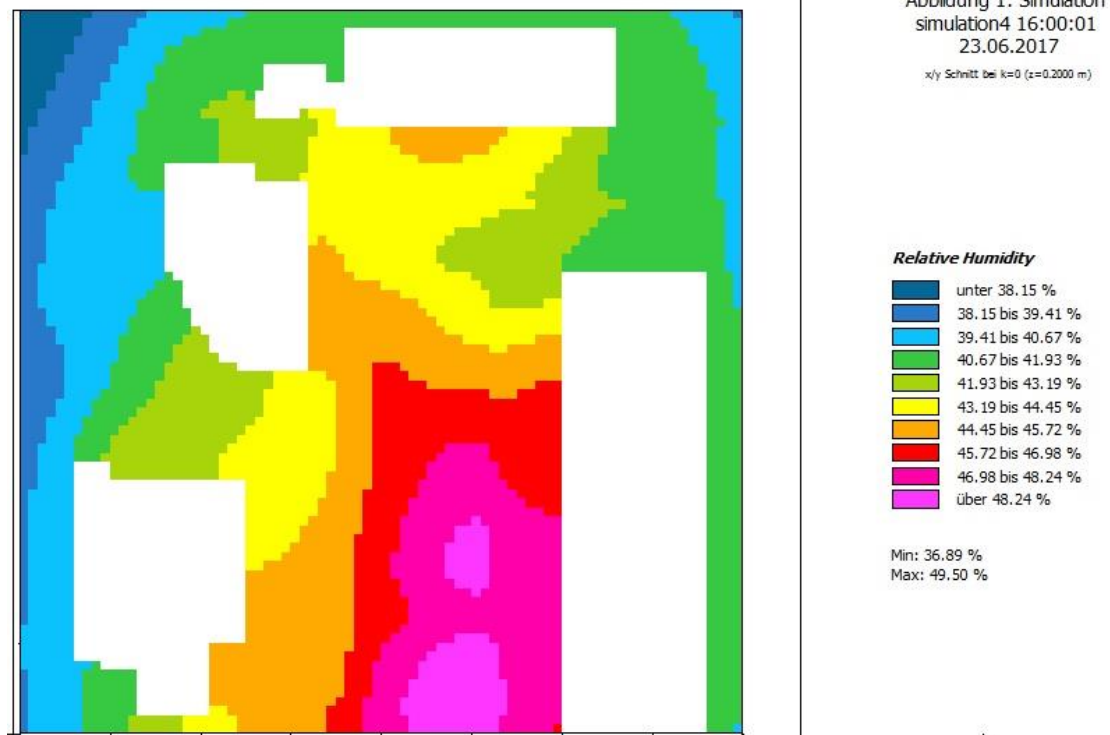
Ομοίως, στα σημεία που βρίσκονται πιο ανοιχτόχρωμα υλικά η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι περισσότερη σε σχέση με τα σημεία με πιο σκούρο έδαφος. Επίσης, οι περιοχές καλυμμένες με χώμα αντανακλούν μικρότερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το τσιμέντο αλλά δεν την απορροφούν. Στη 1.00 μ.μ. και για τη θερμότερη ημέρα η μέγιστη ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στα 281.91 W/m^2 (Εικόνα 4.33).



Εικόνα 4.33: Γράφημα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη 1.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].

4.5.3 Αποτελέσματα σχετικής υγρασίας

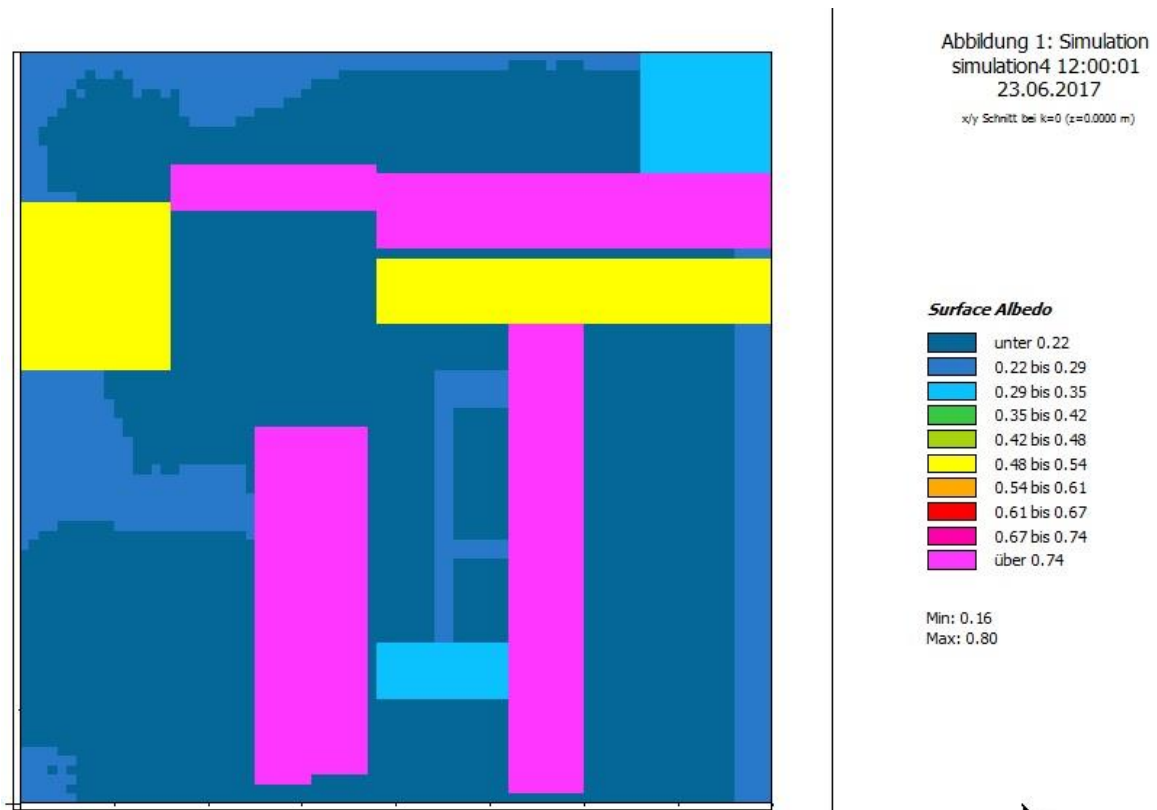
Η προσομοίωση ξεκίνησε με αρχικές συνθήκες τη μέση σχετική υγρασία στο 55.4%. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στα φυτεμένα μέρη της πλατείας οι οποίες φτάνουν το 50%. Οι τιμές αυτές θεωρούνται αρκετά κοντά με τις συνθήκες θερμικής άνεσης οι οποίες είναι 50-60%. Συνεπώς το κλίμα στην πλατεία παρατηρείται βελτιωμένο τις ώρες με υψηλή θερμοκρασία. Παρακάτω παρουσιάζεται το Γράφημα με τις τιμές της σχετικής υγρασίας στις 4.00 μ.μ. (Εικόνα 4.34).



Εικόνα 4.34: Γράφημα σχετικής υγρασίας στις 4.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση - θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].

4.5.4 Αποτελέσματα ανακλαστικότητας επιφανειών (albedo)

Οι επιφάνειες όλων των κτιρίων χαρακτηρίζονται από χαμηλή ανακλαστικότητα κάτω από 0.22. Στις χωμάτινες περιοχές παρατηρείται επίσης χαμηλός συντελεστής albedo χαμηλότερος από 0.22. Επιπλέον, τα σημεία που είναι καλυμμένα από ξύλο έχουν σχετικά χαμηλή ανακλαστικότητα ίση με 0.3. Οι επιφάνειες από ανοιχτόχρωμο τσιμέντο παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα η οποία φτάνει στο 0.8, όπως φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 4.35.



Εικόνα 4.35: Γράφημα ανακλαστικότητας (albedo) στις 12.00 μ.μ. προτεινόμενη κατάσταση – θερμότερη ημέρα [προσωπική εργασία].



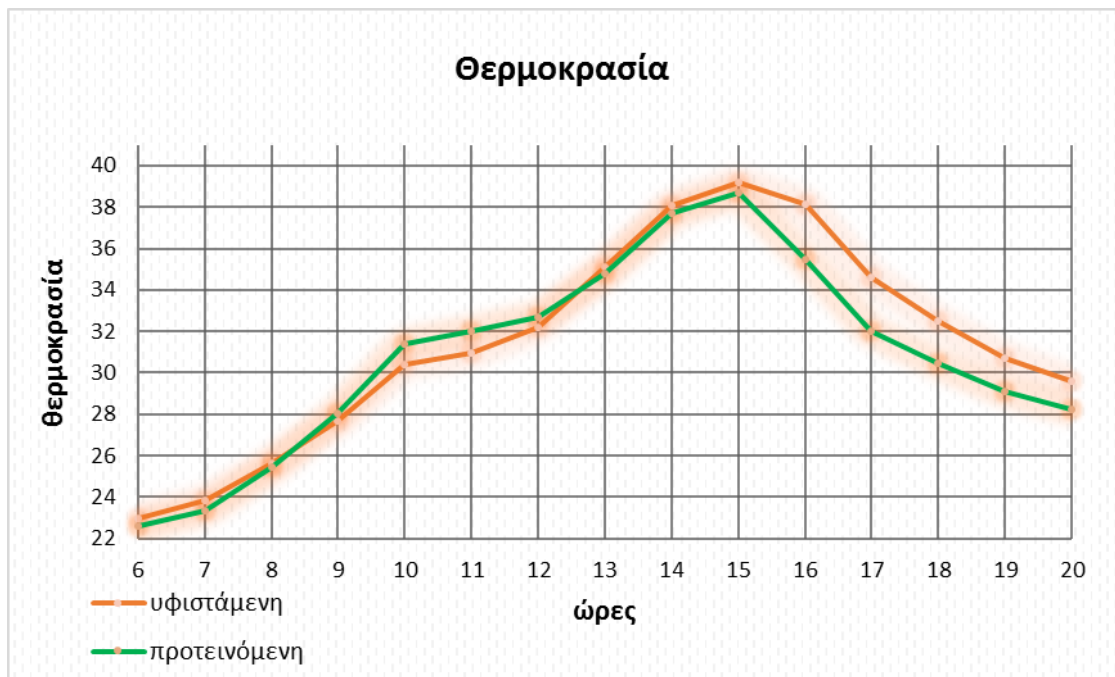
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η σύγκριση των προσομοιώσεων που διενεργήθηκαν στο κεφάλαιο 4. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση μεταξύ όμοιων συνθηκών στις προσομοιώσεις, δια τούτου γίνεται σύγκριση μεταξύ πρώτης και τρίτης προσομοίωσης καθώς και μεταξύ δεύτερης και τέταρτης. Στις ίδιες λοιπόν συνθήκες επιθυμείται να συγκριθούν ο υφιστάμενος χώρος της πλατείας με τον προτεινόμενο όπως αυτό δημιουργήθηκε στο λογισμικό Envi-met. Η σύγκριση αυτή αφορά ως προς τη θερμοκρασία, την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, τη σχετική υγρασία και το δείκτη ανακλαστικότητας Albedo.

5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων πρώτης και τρίτης προσομοίωσης

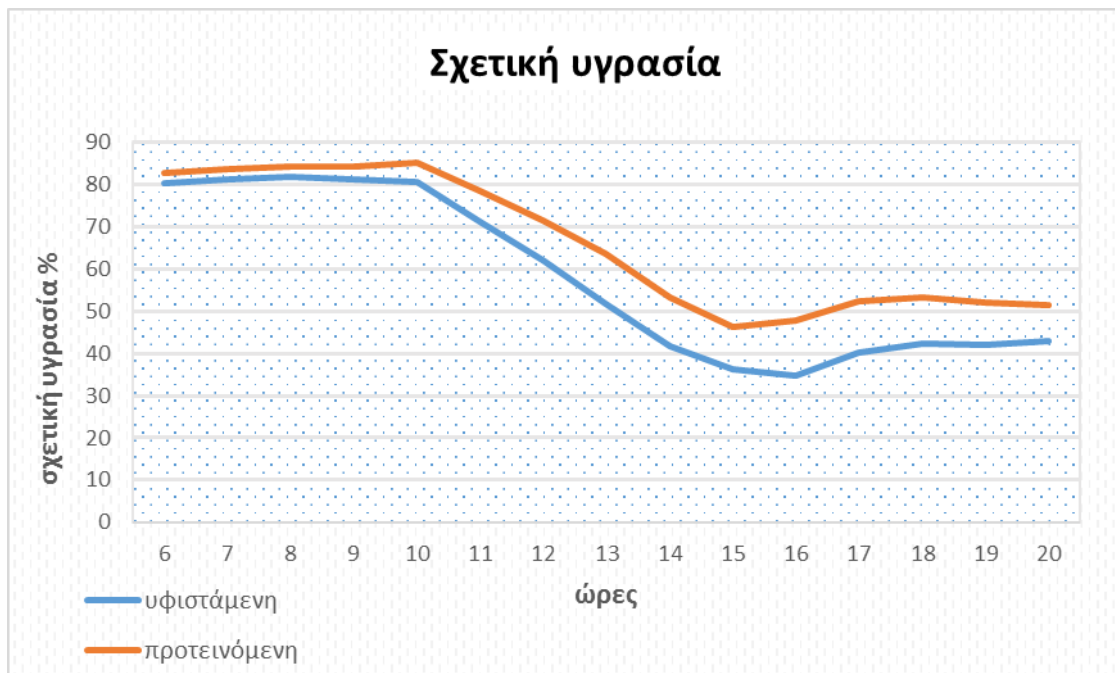
Για τις συνθήκες μίας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό Κελσίου στην μέγιστη θερμοκρασία και κατά δύο στην ελάχιστη για την προτεινόμενη διαμόρφωση της πλατείας της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Συγκεκριμένα στο κεντρικό μέρος της πλατείας όπου αναπτύσσονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρείται σημαντική μείωση της θερμοκρασίας έως και δυνάμει βαθμούς Κελσίου. Το παραπάνω εύρημα οφείλεται στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην προτεινόμενη κατάσταση και αυτά είναι χώμα, άμμος, ξύλο και ψυχρά υλικά δόμησης. Επίσης, σημαντικός παράγοντας για την μείωση της θερμοκρασίας είναι η φύτευση. Στην πρόταση υπάρχουν στο χώρο ψηλότερα δέντρα τα οποία δημιουργούν σκίαση αλλά και πληθώρα άλλων φυτών και δέντρων με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας αλλά και της αίσθησης της. Στο παρακάτω Γράφημα 5.1 παρουσιάζεται η απεικόνιση των θερμοκρασιών της πλατείας σε όλες τις ώρες της προσομοίωσης για τις δύο καταστάσεις την πλατείας.



Γράφημα 5.1: Αποτύπωση θερμοκρασιών υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης.

Επιπρόσθετα, η φύτευση γρασιδιού στις στέγες των κτιρίων της πλατείας μείωσε τη θερμοκρασία των κτιρίων κατά ενάμιση βαθμό Κελσίου, ενώ μειώθηκε αισθητά και η θερμοκρασία των περιβαλλόντων χώρων των κτιρίων. Επιπρόσθετα, τα κτίρια με την προτεινόμενη διαμόρφωση έχουν αποκτήσει γρηγορότερη ψυκτική ισχύ με αποτέλεσμα η θερμοκρασία των δωματίων να μειώνεται γρηγορότερα κάνοντας τις συνθήκες εντός κτιρίου ευνοϊκότερες.

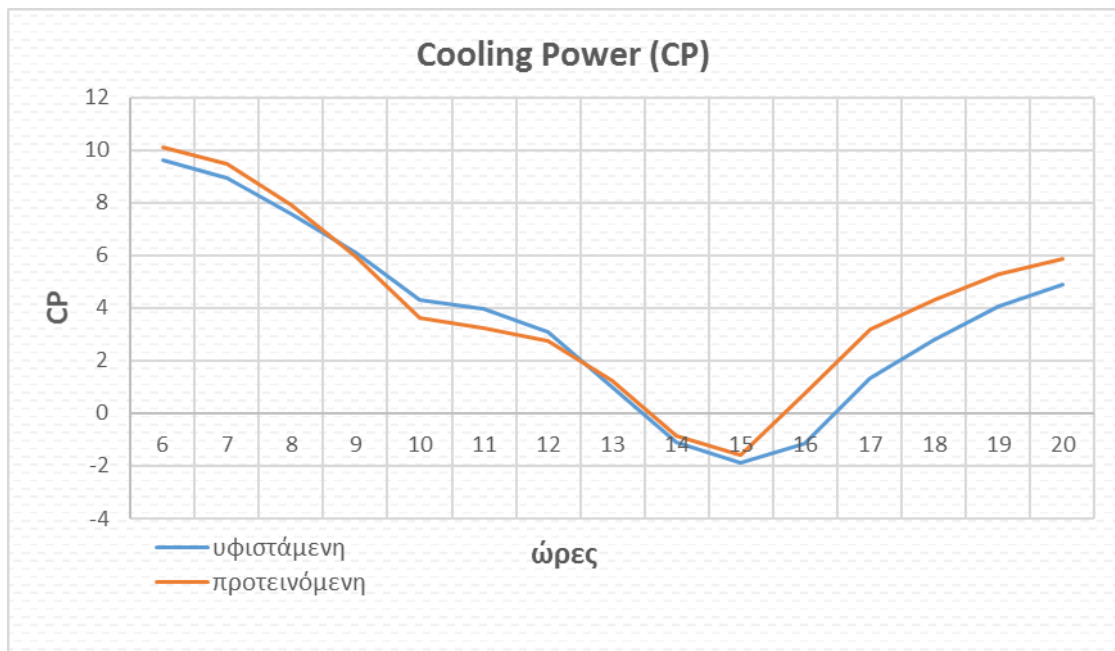
Η νέα προτεινόμενη διαμόρφωση της πλατείας επηρεάζει αισθητά τη σχετική υγρασία. Με την υφιστάμενη κατάσταση οι τιμές της σχετικής υγρασίας κυμαίνονται σε χαμηλά ποσοστά της τάξης του 35-40% , ενώ στην προτεινόμενη διαμόρφωση οι τιμές παρουσιάζουν αύξηση κατά 12% (Γράφημα 5.2). Αυτή η αλλαγή είναι πολύ σημαντική γιατί οι νέες συνθήκες είναι πιο κοντά στις συνθήκες θερμικής άνεσης μετατρέποντας το κλίμα της πλατείας σε πιο ευχάριστο για τον άνθρωπο.



Γράφημα 5.2: Αποτύπωση τιμών σχετικής υγρασίας, υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης.

Άλλος ένας παράγοντας που εξετάζεται είναι η ανακλαστικότητα Albedo. Στην υφιστάμενη κατάσταση παρατηρούνται μεγάλες επιφάνειες με Albedo κοντά στο 0.5 ενώ στην προτεινόμενη κατάσταση παρατηρούνται υψηλότερες τιμές που φτάνουν έως το 0.8. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν ψυχρά υλικά, λευκά και ανοιχτόχρωμα, υλικά νεότερης τεχνολογίας από τα υφιστάμενα. Όπως ήταν αναμενόμενο τα ψηλότερα δέντρα δεν παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα, γεγονός όμως που δεν προκαλεί προβληματισμό διότι προκαλούν σκίαση.

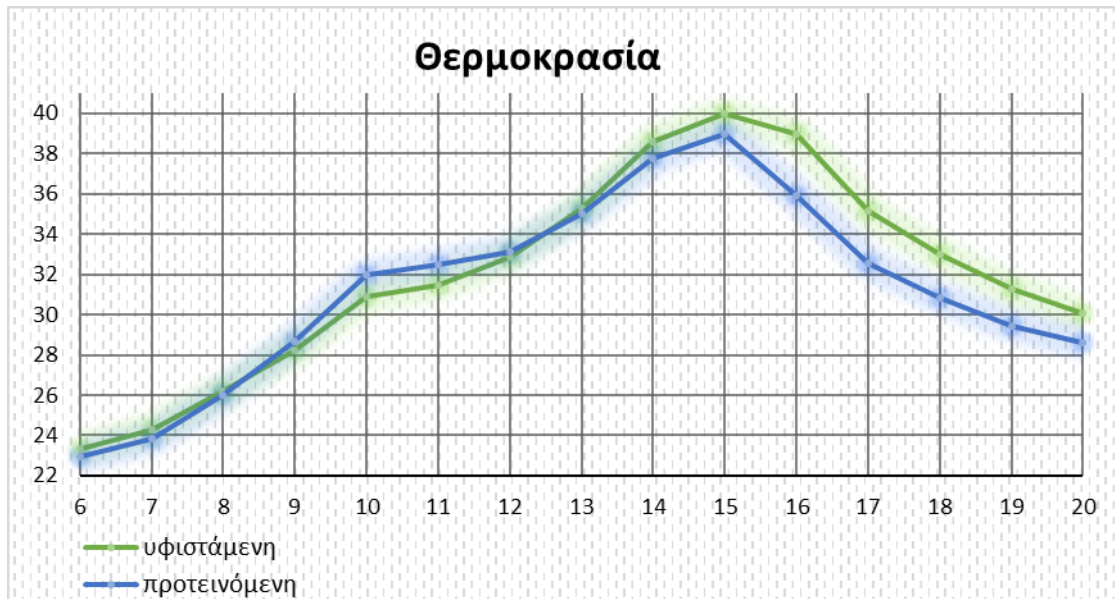
Αναφορικά με το δείκτη ισχύος αποψύξεως CP (Cooling Power), ο οποίος εφαρμόζεται ιδιαίτερα σε εξωτερικούς χώρους, προέκυψε αισθητή βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών στην προτεινόμενη διαμόρφωση του χώρου της πλατείας. Ειδικότερα, από τις 3.00 μ.μ. ως τις 8.00 μ.μ. η θερμική άνεση αυξάνεται σημαντικά, δηλαδή αυξάνεται η απώλεια θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα, καθιστώντας το κλίμα πιο ευχάριστο. Παρουσιάζονται οι δείκτες ισχύος αποψύξεως CP στο παρακάτω Γράφημα 5.3 όπως αυτοί υπολογίστηκαν από τον τύπο των M. Cena, M. Gregorczyk και G. Wojcik [20].



Γράφημα 5.3: Αποτύπωση δείκτη ισχύος αποψύξεως υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης.

5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων δεύτερης και τέταρτης προσομοίωσης

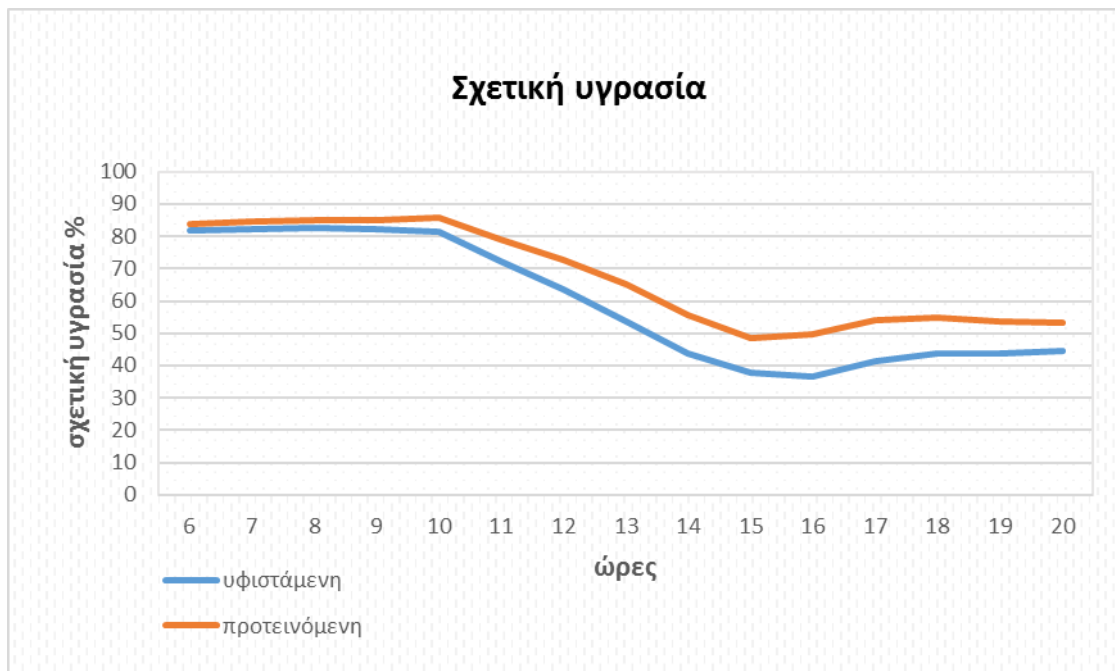
Όσο αφορά τις συνθήκες της θερμότερης καλοκαιρινής ημέρας παρατηρείται επίσης μείωση της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό Κελσίου στην μέγιστη θερμοκρασία και κατά δύο στην ελάχιστη για την νέα προτεινόμενη διαμόρφωση της πλατείας. Ειδικά στο κεντρικό μέρος της όπου αναπτύσσονταν και οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρείται σημαντική μείωση της θερμοκρασίας έως και δύομισή βαθμούς Κελσίου. Η μείωση της θερμοκρασίας οφείλεται στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην προτεινόμενη κατάσταση όπως χώμα, άμμος, ξύλο και ψυχρά υλικά δόμησης. Επίσης, σημαντικός παράγοντας για την μείωση της θερμοκρασίας είναι η φύτευση, όπως σημειώθηκε και παραπάνω. Στην πρόταση υπάρχουν στο χώρο ψηλότερα δέντρα τα οποία δημιουργούν σκίαση αλλά και πληθώρα άλλων φυτών και δέντρων με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας αλλά και της αίσθησης της. Στο παρακάτω Γράφημα 5.4 παρουσιάζεται η απεικόνιση των θερμοκρασιών της πλατείας σε όλες τις ώρες της προσομοίωσης για τις δύο καταστάσεις την πλατείας.



Γράφημα 5.4: Αποτύπωση θερμοκρασιών υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης.

Επιπρόσθετα, η φύτευση γρασιδιού στις στέγες των κτιρίων της πλατείας μείωσε τη θερμοκρασία των κτιρίων κατά ενάμιση βαθμό Κελσίου, ενώ μειώθηκε αισθητά και η θερμοκρασία των περιβαλλόντων χώρων των κτιρίων. Επίσης, τα κτίρια με την προτεινόμενη διαμόρφωση έχουν αποκτήσει γρηγορότερη ψυκτική ισχύ με αποτέλεσμα η θερμοκρασία των δωματίων να μειώνεται γρηγορότερα κάνοντας τις συνθήκες εντός κτιρίου ευνοϊκότερες.

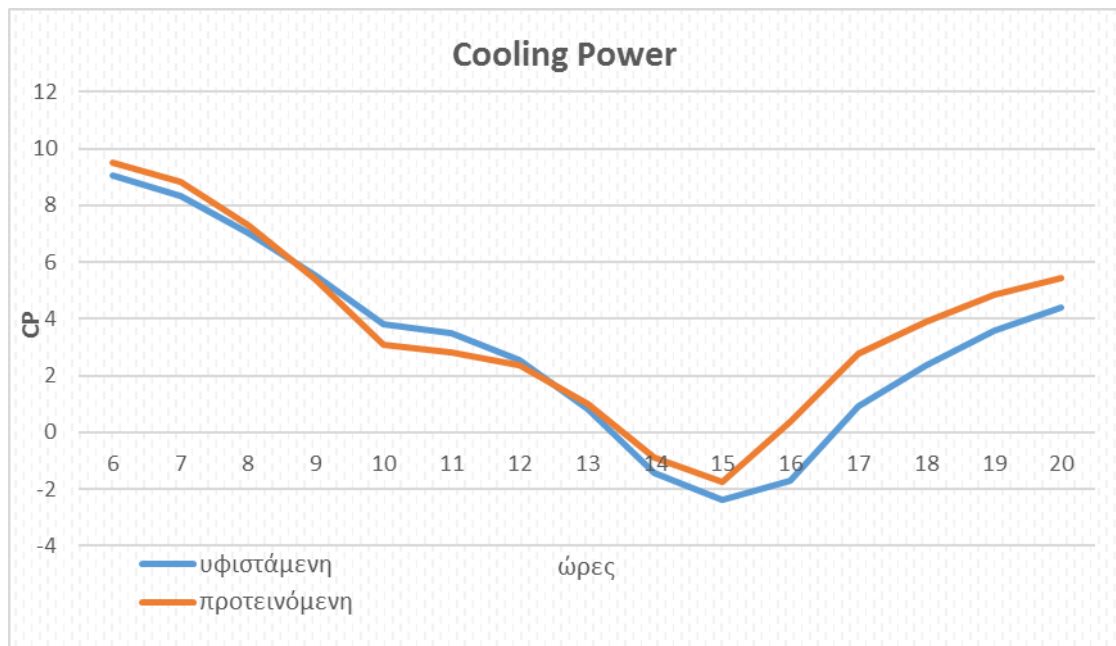
Η νέα προτεινόμενη διαμόρφωση της πλατείας επηρεάζει αισθητά την σχετική υγρασία. Με την υφιστάμενη κατάσταση οι τιμές της σχετικής υγρασίας κυμαίνονται σε χαμηλά ποσοστά της τάξης του 28,7-37,7% , ενώ στην προτεινόμενη διαμόρφωση οι τιμές παρουσιάζουν αύξηση κατά 10% (Γράφημα 5.5). Οι νέες κλιματικές συνθήκες βρίσκονται πιο κοντά στις συνθήκες θερμικής άνεσης, καθιστώντας το κλίμα ευνοϊκότερο για τον άνθρωπο.



Γράφημα 5.5: Αποτύπωση τιμών σχετικής υγρασίας, υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης.

Αναφορικά με την ανακλαστικότητα Albedo στην υφιστάμενη κατάσταση παρατηρούνται μεγάλες επιφάνειες με Albedo κοντά στο 0.5 ενώ στην προτεινόμενη κατάσταση παρατηρούνται υψηλότερες τιμές που φτάνουν έως το 0.8. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν ψυχρά υλικά, λευκά και ανοιχτόχρωμα, υλικά νεότερης τεχνολογίας από τα υφιστάμενα. Όπως είναι αναμενόμενο τα ψηλότερα δέντρα δεν παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα, γεγονός όμως που δεν προκαλεί προβληματισμό διότι προκαλούν σκίαση.

Για το δείκτη ισχύος αποψύξεως CP (Cooling Power), ο οποίος εφαρμόζεται ιδιαίτερα σε εξωτερικούς χώρους, προέκυψε αισθητή βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών στην προτεινόμενη διαμόρφωση του χώρου της πλατείας. Ειδικότερα, από τις 3.00 μ.μ. ως τις 8.00 μ.μ. η θερμική άνεση αυξάνεται σημαντικά (Γράφημα 5.6), δηλαδή αυξάνεται η απώλεια θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα, καθιστώντας το κλίμα πιο ευχάριστο. Παρουσιάζονται οι δείκτες ισχύος αποψύξεως CP στο παρακάτω Γράφημα όπως αυτοί υπολογίστηκαν από τον τύπο των M. Cena, M. Gregorczyk και G. Wojcik [20].



Γράφημα 5.6: Αποτύπωση δείκτη ισχύος αποψύξεως υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Για τη μαθηματική προσομοίωση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης στην περιοχή της πλατείας της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, έγινε χρήση του λογισμικού ENVI-met, έκδοση 4.0. Τα οπτικοποιημένα αποτελέσματα του κεφαλαίου 5, βασίζονται σε έναν πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων, ο οποίος παράγεται από το λογισμικό σε κάθε προσομοίωση. Στα δεδομένα αυτά πραγματοποιήθηκε ιδιαίτερα πολύπλοκη επεξεργασία (η ανάλυση της οποίας ξεφεύγει από το σκοπό αυτής της διπλωματικής εργασίας), με τη βοήθεια διαφόρων προγραμμάτων όπως το Microsoft Office Excel, το Microsoft Office Access και το Leonardo.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις προσομοιώσεις. Οι δύο πρώτες αφορούσαν στην υφιστάμενη διαμόρφωση της υπό μελέτης πλατείας για τις συνθήκες μίας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας και της θερμότερης καλοκαιρινής ημέρας αντίστοιχα, ενώ οι υπόλοιπες δύο αφορούσαν στην προτεινόμενη διαμόρφωση για τις συνθήκες τυπικής και θερμότερης καλοκαιρινής ημέρας. Σημειώνεται εδώ ότι οι τέσσερις παραπάνω προσομοιώσεις είναι αυτές που αναλύονται στο πλαίσιο της Διπλωματικής Εργασίας και πως στην πραγματικότητα πραγματοποιήθηκαν πολλές περισσότερες, σε μια προσπάθεια συγκερασμού αποτελεσμάτων ικανοποιητικής ακρίβειας και υπολογιστικού χρόνου σε ανεκτά επίπεδα.

6.2 Συμπεράσματα

Για την πρώτη προσομοίωση, υφιστάμενη διαμόρφωση και τυπική καλοκαιρινή ημέρα προέκυψαν (Πίνακας 6.1):

- Η μέση τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίση με 31.44° C.
- Η μέση σχετική υγρασία της πλατείας είναι ίση με 57.99%.
- Η μέση τιμή του συντελεστή αποψύξεως είναι ίση με 3.57.



Ομοίως, για τη δεύτερη προσομοίωση, υφιστάμενη κατάσταση και θερμότερη καλοκαιρινή ημέρα προέκυψαν (Πίνακας 6.1):

- Η μέση τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίση με 31.97° C.
- Η μέση σχετική υγρασία της πλατείας είναι ίση με 59.42%.
- Η μέση τιμή του συντελεστή αποψύξεως είναι ίση με 3.09.

Αναφορικά για τη τρίτη προσομοίωση, προτεινόμενη κατάσταση και τυπική καλοκαιρινή ημέρα προέκυψαν (Πίνακας 6.2):

- Η μέση τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίση με 30.80° C.
- Η μέση σχετική υγρασία της πλατείας είναι ίση με 66.03%.
- Η μέση τιμή του συντελεστή αποψύξεως είναι ίση με 4.08.

Για την τέταρτη προσομοίωση, προτεινόμενη διαμόρφωση και θερμότερη καλοκαιρινή ημέρα προέκυψαν (Πίνακας 6.2):

- Η μέση τυπική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίση με 31.21° C.
- Η μέση σχετική υγρασία της πλατείας είναι ίση με 67.41%.
- Η μέση τιμή του συντελεστή αποψύξεως είναι ίση με 3.67.

Εποπτικά παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες 6.1 και 6.2 τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και οι τιμές των βασικών βιοκλιματικών δεικτών για τις συνθήκες τυπικής και θερμότερης καλοκαιρινής μέρας αντίστοιχα.

Τυπική καλοκαιρινή μέρα

Βιοκλιματικοί δείκτες	Υφιστάμενη	Προτεινόμενη	Διαφορά
Θερμοκρασία T(° C)	31.44	30.80	-0.64
Σχετική υγρασία (%)	57.99	66.03	+8.04
Δείκτης θερμικής άνεσης CP	3.57	4.08	+0.51

Πίνακας 6.1: Τιμές των βασικών βιοκλιματικών δεικτών στην υφιστάμενη και στην προτεινόμενη κατάσταση για μία τυπική καλοκαιρινή ημέρα [Πηγή: Προσωπική εργασία].

**Θερμότερη καλοκαιρινή ημέρα**

Βιοκλιματικοί δείκτες	Υφιστάμενη	Προτεινόμενη	Διαφορά
Θερμοκρασία T(° C)	31.97	31.21	-0,76
Σχετική υγρασία (%)	59.42	67.41	+7.99
Δείκτης CP	3.09	3.67	+0.58

Πίνακας 6.2: Τιμές των βασικών βιοκλιματικών δεικτών στην υφιστάμενη και στην προτεινόμενη κατάσταση για τη θερμότερη καλοκαιρινή ημέρα [Πηγή: Προσωπική εργασία].

Από τα παραπάνω και όπως εποπτικά φαίνεται στους Πίνακες 6.1 και 6.2 οι τιμές των βασικών βιοκλιματικών δεικτών παρουσιάζονται βελτιωμένοι στην προτεινόμενη διαμόρφωση της πλατείας. Ειδικότερα:

- Η διαφορά μεταξύ υφιστάμενης κατάστασης και πρότασης, για τη μέση θερμότερη ημέρα, της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι ίση με 0.76 ° C. Τις ώρες με την μέγιστη θερμοκρασία η διαφορά αυτή φτάνει έως και τους 2 ° C.
- Η διαφορά μεταξύ υφιστάμενης κατάστασης και πρότασης, για την σχετική υγρασία είναι 7.99%, με το μέγιστο της διαφοράς μέσα στην ημέρα να φτάνει το 15%.
- Η διαφορά μεταξύ υφιστάμενης κατάστασης και πρότασης, για το μέσο δείκτη θερμικής άνεσης CP είναι ίση με 0.58 ή 19.21%. Σε ορισμένες ώρες της ημέρας η τιμή αυτή προσεγγίζει τις 2 μονάδες.

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για το βιοκλιματικό σχεδιασμό της πλατείας της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Το μικροκλίμα αστικών υπαίθριων χώρων είναι δυνατόν να μελετηθεί με τη χρήση σύνθετων αλγορίθμων. Επίσης, είναι δυνατή η σύνθεση της μορφολογίας των χώρων αυτών αναφορικά με τα υλικά δόμησης και με τη βλάστηση. Οι νέες προτεινόμενες βελτιώσεις της μορφολογίας μπορούν να μελετηθούν και να αξιολογηθούν από τα συγκεκριμένα προγράμματα ώστε να γίνει σωστή μελέτη και υλοποίηση του

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



σχεδιασμού χωρίς λάθη που συνέβαιναν κατά το παρελθόν. Οπότε, ως αποτέλεσμα αυτής της μελέτης προκύπτουν βελτιωμένες συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων στα αστικά κέντρα, με γνώμονα την ελάχιστη δυνατή παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον.

Κατά την ανάγνωση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, η αξιοπιστία του προγράμματος κρίνεται ικανοποιητική και συνίσταται η χρήση του για τη μελέτη και τη διαμόρφωση του μικροκλίματος υπαίθριων χώρων. Για μεγαλύτερη ευκρίνεια και ακρίβεια μετρήσεων, η χρήση του προγράμματος προτείνεται να συνοδεύεται από επί τόπου μετρήσεις στον εκάστοτε προς μελέτη χώρο. Έτσι τα αποτελέσματα του προγράμματος θα έχουν ελάχιστη απόκλιση από την πραγματικότητα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, η πρόταση για την εκ νέου διαμόρφωση της πλατείας της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης ικανοποίησε τις ελάχιστες απαιτήσεις ώστε να κριθεί αποτελεσματική. Κατά τη νέα διαμόρφωση προτάθηκαν αλλαγή των δομικών υλικών (σκυρόδεμα) της πλατείας και αντικατάσταση τους με ψυχρά υλικά όπως χώμα, άμμος και ξύλο. Επίσης, προτάθηκε η δημιουργία νέων θέσεων φύτευσης ποικίλων φυτών και δέντρων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, η πρόταση για τη νέα διαμόρφωση της πλατείας θα επιφέρει:

- Μείωση της μέγιστης θερινής θερμοκρασίας περιβάλλοντος ίση με 2°C για τις θερμότερες ώρες της ημέρας, η οποία κρίνεται ικανοποιητική ώστε να υλοποιηθεί μία τέτοια μελέτη.
- Αύξηση του μέσου δείκτη θερμικής άνεσης CP για το χρονικό διάστημα από τις 6.00 το πρωί έως 8.00 το απόγευμα ίση με 0.58 ή 19.21 %, τιμή σημαντικά ικανοποιητική.
- Αύξηση της μέσης σχετικής υγρασίας κατά 7.99% και δημιουργία σκιάς, καθιστώντας το κλίμα της πλατείας πιο κοντά στις συνθήκες θερμικής άνεσης.

Ο ρόλος των χώρων πρασίνου και της βλάστησης στη βελτίωση του μικροκλίματος και των συνθηκών άνεσης στα αστικά κέντρα είναι καταλυτικός και πολύπλευρος. Θα πρέπει να λαμβάνονται απαραίτητως υπόψη κατά το σχεδιασμό, την επέκταση ή/και την ανάπλαση των ανοιχτών αστικών χώρων διότι, πέραν του αισθητικού



αποτελέσματος, η απουσία τους μέσα στον αστικό ιστό έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ενός διαφορετικού θερμικού ισοζυγίου από εκείνο στο ύπαιθρο και την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, ένα φαινόμενο που είναι ευρέως γνωστό με τον όρο αστική θερμική νησίδα.

6.3 Προτάσεις

Η παραπάνω έρευνα, που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, έδωσε ελπιδοφόρα αποτελέσματα και οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον και από άλλους ερευνητές.

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτέλεσε η μελέτη του βιοκλιματικού σχεδιασμού των αστικών κέντρων και συγκεκριμένα της κεντρικής πλατείας της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά Κρήτης, που στόχο είχε τη μελέτη των συνθηκών άνεσης των κατοίκων σε αυτά και την προσομοίωση του μικροκλίματος με το λογισμικό ENVI-met. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια ότι τα συγκεκριμένα αυτά επιστημονικά ζητήματα βρίσκονται κάτω από συνεχή μελέτη, έρευνα και ανάπτυξη, συνδυάζοντας την πρόοδο που σημειώνει η τεχνολογία καθημερινά με τη συσσώρευση πρακτικής εμπειρίας.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, αλλά και τη σύγχρονη τάση – αναγκαιότητα που επικρατεί στις μέρες για στροφή στην «πράσινη ανάπτυξη», με απώτερο στόχο την περεταίρω προστασία του πλανήτη δεδομένης και της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής που αποτελεί πλέον γεγονός, προτείνεται παρακάτω μια σειρά από θέματα για μελλοντική διερεύνηση.

Αναφορικά με το λογισμικό ENVI-met, μέσω ενός σχετικά μεγάλου αριθμού προσομοιώσεων και μετά τον έλεγχο και την αξιολόγηση αποτελεσμάτων που προέκυψαν, κρίθηκε ως ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την πραγματοποίηση βιοκλιματικών μελετών. Στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγεται επίσης το γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως, τόσο από ερευνητές όσο και από αρχιτέκτονες και μηχανικούς, γεγονός που οφείλεται στο ότι το εν λόγω λογισμικό (μοντέλο) είναι

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET



ιδιαίτερος απλό στη χρήση του σε σχέση, για παράδειγμα, με άλλα αντίστοιχα μοντέλα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι ο χρήστης του μοντέλου μετά από κάθε προσομοίωση έχει στη διάθεσή του μία πληθώρα δεδομένων για την περιοχή μελέτης που τον ενδιαφέρει, τα οποία εύκολα οπτικοποιούνται και ως εκ τούτου μπορεί γρήγορα να εξάγει συμπεράσματα. Συνεπώς, για όλους τους παραπάνω λόγους προτείνεται η χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού για μελλοντικές μελέτες – έρευνες βιοκλιματικών αναπλάσεων περιοχών καθώς και για το σχεδιασμό νέων χώρων.

Επιπρόσθετα, για τον προσδιορισμό των όποιων ανακρίβειών και σφαλμάτων του λογισμικού, προτείνεται οι μελετητές να πραγματοποιούν προσομοιώσεις σε περιοχές απλής σχετικά γεωμετρίας, με στόχο την αποφυγή προβλημάτων σύγκλισης και μη «λογικών» αποτελεσμάτων. Επίσης προτείνεται στη συνέχεια να γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με επιτόπιες μετρήσεις στις περιοχές.

Το λογισμικό επιπλέον προσφέρει στοιχεία τα οποία αφορούν κυρίως στους δείκτες θερμικής άνεσης P.M.V. και C.P., οι οποίοι είναι και οι περισσότερο διαδεδομένοι. Θα είχε εξαιρετικό ενδιαφέρον οι τιμές που προσδιορίζονται μέσω των προσομοιώσεων να συγκρίνονται στη συνέχεια με τις τιμές που προκύπτουν από τις απαντήσεις πεζών ή κατοίκων μίας συγκεκριμένης περιοχής, μέσω διαδικασίας συμπλήρωσης ερωτηματολογίου, αλλά και με δήλωση της προσωπική αίσθηση θερμικής άνεσης του κάθε ερωτώμενου.

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

Το ENVI-met διαθέτει ακόμη βάσεις δεδομένων που αφορούν στη βλάστηση, στα υλικά των επιφανειών, στο έδαφος και τη σύσταση αυτού. Στο σημείο αυτό



προτείνεται να εμπλουτιστούν οι συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων με περισσότερα είδη φυτών και υλικά, με τη βοήθεια φυσικά εξειδικευμένων γεωπόνων, βοτανολόγων, γεωλόγων, φυσικών και άλλων σχετικών επιστημόνων, οι οποίοι και θα αποδώσουν τα πραγματικά χαρακτηριστικά στα φυτά και τις σωστές ιδιότητες στα υλικά, με απώτερο στόχο την επιπλέον αύξηση της χρησιμότητας του λογισμικού.

Επιπρόσθετα, στις αδυναμίες ίσως του ENVI-met συγκαταλέγεται το γεγονός ότι το λογισμικό δεν παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να παρεμβαίνει στον κώδικά του. Είναι γεγονός ότι το λογισμικό «γνωρίζει» τις εξισώσεις ρευστομηχανικής που χρησιμοποιούνται, όμως δεν επιτρέπει τροποποιήσεις ή/και επεκτάσεις. Μία πιθανή λύση του συγκεκριμένου προβλήματος θα ήταν η περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του ENVI-met, σε συνεργασία και με τη σύμφωνη γνώμη του δημιουργού του, ίσως στο πλαίσιο μιας μελλοντικής διδακτορικής διατριβής, δεδομένων και των δυνατοτήτων του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε υπολογιστική δύναμη και επιστημονικό δυναμικό.

Εν κατακλείδι, προτείνεται στο μέλλον να πραγματοποιηθεί περεταίρω έρευνα και μελέτη του μικροκλίματος της πόλης των Χανίων, δεδομένης και της σπουδαιότητας και της αρχαιολογικής σημασίας της περιοχής, αλλά και λόγω του ότι είναι η πόλη στην οποία εδράζεται το Πολυτεχνείο Κρήτης. Μια ενδιαφέρουσα μελέτη θα περιλάμβανε την παραμετρική ανάλυση διαφορετικών προτεινόμενων παρεμβάσεων στην υπάρχουσα κατάσταση, καθώς και την μελέτη των μικροκλιματικών συνθηκών σε διαφορετικές εποχές του χρόνου.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Population Dynamics and Climate Change. New York, N.Y.: UNFPA, (2009)
2. Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces, Centre for Renewable Energy Sources (C.R.E.S.), (2004)
3. Τ.Ε.Ε. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. , (2011)
4. On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment, V. Geros, M. Santamouris, S. Karatasou, A. Tsangrassoulis, N. Papanikolaou, (2005)
5. Heat fluxes through roofs and their relevance to estimates of urban heat storage, Stephanie K. Meyn, T.R. Oke, (2009)
6. Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons, Evyatar Erella, David Pearlmuttera, Daniel Bonehb, Pua Bar Kutielb, 2(013)
7. Designing Urban Spaces and Buildings to Improve Sustainability and Quality of Life in a Warmer World, Smith, C. and Levermore, G. , (2008)
8. Thermal environmental conditions for human occupancy (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA), (1981)
9. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter. Solar Energy, Nikolopoulou, M., Baker, N. and Steemers, K. (2001)
10. Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels, M.S. Jang, C.D. Koh, I.S. Moon, (2005)
11. Θερμική άνεση, Κοτσίρης, Γ. Εκδόσεις Ίων, (2007)
12. Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens, Zoulia, I., Santamouris, M. and Dimoudi, A. , (2009)
13. Climate Considerations in Building and Urban Design, Van Nostrand Reinhold, New York, (1998)
14. Heat island group, Berkeley lab, <https://heatisland.lbl.gov/>
15. Φυσική Περιβάλλοντος, Χέλμης, Κ. και Παπαϊωάννου, Γ. Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, (2001)



- 16.** Human-biometeorological assessment of urban microclimate's thermal component, Mayer H. and Matzarakis A. , (1998)
- 17.** Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation, Mohammad H. Hasan, Fadi Alsaleem, Mostafa Rafaie, (2016)
- 18.** Μετριάσμός του φαινομένου θερμικής νήσου μέσω της φύτευσης δωμαίων και όψεων, Αλεξανδρή Ε. (2010)
- 19.** The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands, E. Vardoulakis, D. Karamanis , A. Fotiadi , G. Mihalakakou, (2013)
- 20.** Human-biometeorological assessment of urban microclimate's thermal component, Mayer H. and Matzarakis A. , (1998)
- 21.** Energy and climate in the urban built environment, Santamouris, (2001)
- 22.** Η συμβολή των αστικών κενών στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος και μικροκλίματος. Η περίπτωση της περιοχής του Ψυρρή, Καψανάκη, Ε. (2005)
- 23.** Network optimization for enhanced resilience of urban heat island measurements Tsuyoshi Honjo, Hiroaki Yamato, Takehiko Mikami, C.S.B. Grimmond, (2015)
- 24.** Solar UVB-ALBEDO of various surfaces, M. Blumthaler, W. Ambach, (1988)
- 25.** Breakdown of the night time urban heat island energy budget, P.J.C. Schrijvers, H.J.J. Jonker, S. Kenjereš, S.R. de Roode, (2015)
- 26.** A wind chart to characterize potential offshore wind energy sites, F.delJesus, M.Menéndez, R.Guanche, J.Losada (2014)
- 27.** Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece, Marina Stathopoulou, Constantinos Cartalis (2007)
- 28.** <http://www.envi-met.com>
- 29.** Εθνική μετεωρολογική υπηρεσία (EMY),
<http://www.hnms.gr/hnms/greek/index.html>
- 30.** Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Αστικού Χώρου, Προσομοίωση Μικροκλίματος Πλατείας Ομόνοιας, Καζάκου Αφροδίτη (2010)
- 31.** http://www.meteo.gr/meteoplus/cf.cfm?city_id=21



32. <http://www.chania.eu/nax/old.nax.gr/index.html>
33. Πρόγραμμα Google Earth
34. Κτηματολόγιο Α.Ε <http://www.ktimatologio.gr/Pages/Default.aspx>
35. Τεχνική υπηρεσία Πολυτεχνείου Κρήτης