

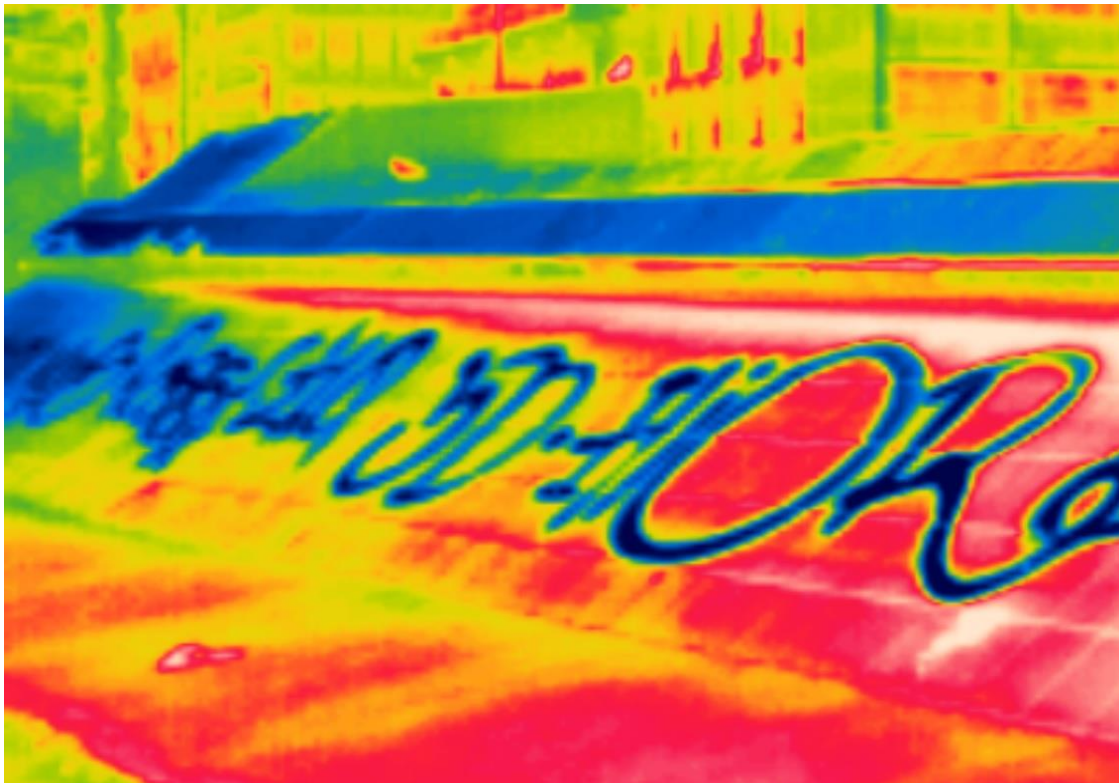


# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

## ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Θερμική ανάλυση και μοντελοποίηση αστικού  
περιβάλλοντος



ΕΚΠΟΝΗΣΗ :  
ΕΠΙΒΛΕΨΗ :

ΑΡΑΠΑΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΕΣ :

ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ  
ΜΙΧΑΛΗΣ ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ

ΧΑΝΙΑ, ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2016

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.

Ευρετήριο εικόνων.	σελ.	3
Ευρετήριο πινάκων.	σελ.	6
<b>Εισαγωγή.</b>	σελ.	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ.</b>	σελ.	8
1.1. Γενικά στοιχεία	σελ.	8
1.2. Φαινόμενο θερμικής νησίδας	σελ.	10
1.3. Το μικρόκλιμα	σελ.	12
1.3.1. Στοιχεία του μικροκλίματος	σελ.	12
1.3.2 Γεωμετρική δομή της πόλης – Αστικές οδικές χαράδρες	σελ.	12
1.4 Πεδίο ακτινοβολίας	σελ.	14
1.5. Επιφανειακές θερμοκρασίες και βαθμός ανακλαστικότητας (albedo)	σελ.	15
1.5.1 Υλικά και βαθμός ανακλαστικότητας (albedo)	σελ.	15
1.5.2 Ψυχρά υλικά	σελ.	18
1.5.3 Παραδείγματα χρήσης ψυχρών υλικών	σελ.	22
1.6 Πεδίο ανέμου	σελ.	22
1.7 Θερμική άνεση	σελ.	23
1.7.1 Γενικά	σελ.	23
1.7.2 Δείκτες θερμικής άνεσης	σελ.	25
1.8 Βελτίωση αστικού μικροκλίματος	σελ.	27
1.8.1. Σκίαση	σελ.	27
1.8.2 Βλάστηση	σελ.	29
1.8.3 Νερό	σελ.	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ENVI-met.</b>	σελ.	33
2.1. Γενικά στοιχεία	σελ.	33
2.2. Γραφική απεικόνιση και δομή του μοντέλου ENVI-met	σελ.	35
2.3. Καινοτομίες της έκδοσης ENVI-met 4	σελ.	36
2.3.1. Απόλυτη τρισδιάστατη σχεδίαση	σελ.	36
2.3.2. Μοντέλο βλάστησης	σελ.	37
2.3.3. Προσομοίωση του εδάφους	σελ.	38
2.4. Ροή δεδομένων στο ENVI-met	σελ.	39
2.4.1. Δημιουργία αρχείου “area input file”	σελ.	39
2.4.2. Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης “Simulation file”	σελ.	42
2.4.3. Εξαγωγή αποτελεσμάτων	σελ.	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΟΜΟΝΟΙΑΣ.</b>	σελ.	44
3.1. Ιστορικά στοιχεία	σελ.	44
3.2. Γεωγραφικά στοιχεία	σελ.	46
3.3. Μετεωρολογικά στοιχεία	σελ.	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.</b>	σελ.	49
4.1. Όργανο μέτρησης	σελ.	49
4.2. Διαδικασία μετρήσεων	σελ.	50
4.2.1. Προεργασία μετρήσεων	σελ.	50
4.2.2. Λήψη θερμικών φωτογραφιών.	σελ.	51
4.3. Επεξεργασία φωτογραφιών	σελ.	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ENVI-MET.</b>	σελ.	81
5.1. Δημιουργία εικόνας-υποβάθρου και ορισμός διαστάσεων κελιών κανάβου	σελ.	81
5.2. Δημιουργία αρχείου εισαγωγής δεδομένων (input file)	σελ.	82
5.3. Δημιουργία ENVI-met simulation file	σελ.	85
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.</b>	σελ.	87
6.1. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τα προγράμματα Leonardo και Microsoft Excel	σελ.	87
6.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	σελ.	92
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.</b>	σελ.	113
Βιβλιογραφία	σελ.	116

## Ευρετήριο εικόνων.

- **Εικόνα 1.1 :** Διαφορετική χρήση χώρου στο πάρκο Zuccotti για (αριστερά) μέρα και δεξιά (νύχτα) [Πηγή : Wikipedia]. **σελ. 9**
- **Εικόνα 1.2 :** Διακυμάνσεις θερμοκρασιών ανάλογα με τις διάφορες χρήσεις γης. [Πηγή : [www.zeroenergybuildings.org](http://www.zeroenergybuildings.org)]. **σελ. 10**
- **Εικόνα 1.3 :** Fish-eye φωτογραφία από αστική οδική χαράδρα που απεικονίζει τη τιμή του δείκτη SVF. [Πηγή : <http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/akta07/017-026.pdf>]. **σελ. 12**
- **Εικόνα 1.4 :** Κύριες συνιστώσες ακτινοβολίας στο αστικό περιβάλλον. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να είναι είτε άμεση (κατευθείαν από τον ηλιακό δίσκο), είτε διάχυτη (κατόπιν σκέδασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα), είτε ανακλώμενη (κατόπιν ανάκλασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από τα διάφορα στοιχεία της αστικής επιφάνειας). Η θερμική ακτινοβολία που δέχεται το ανθρώπινο σώμα, είναι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται τόσο από τα στοιχεία της αστικής επιφάνειας όσο και από την ατμόσφαιρα. **σελ. 14**
- **Εικόνα 1.5 :** (αριστερά) Δαπεδόστρωση υψηλής ανακλαστικότητας, (δεξιά) δαπεδόστρωση χαμηλής ανακλαστικότητας. [Πηγή : <http://www.gatewaygreen.org/green-alley-project-of-chicago>]. **σελ. 15**
- **Εικόνα 1.6 :** Τρόποι θέρμανσης του αέρα από την επιφάνεια του εδάφους. **σελ. 16**
- **Εικόνα 1.7 :** Εναλλαγή ενδεδειγμένων επιφανειών. [Πηγή : <http://www.arquitecturayempresa.es/noticia/passeig-de-sant-joan-lola-domenech>]. **σελ. 17**
- **Εικόνα 1.8 :** Πράσινη στέγη στο Σιάτλ. Πηγή : <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/activitiescompendium.pdf>. **σελ. 18**
- **Εικόνα 1.9 :** Επίδραση ψυχρών δαπεδοστρώσεων στη θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους [Πηγή : <http://www.pwri.go.jp/eng/about/pr/webmag/wm005/kenkyu.html>]. **σελ. 19**
- **Εικόνα 1.10 :** Ψυχρή άσφαλτος σε λεωφόρο στην περιοχή Ginza του Τόκιο [Πηγή : <http://www.pwri.go.jp/eng/about/pr/webmag/wm005/kenkyu.html>]. **σελ. 20**
- **Εικόνα 1.11 :** Θερμοκρασιακές διαφορές θερμοχρωμικών, ψυχρών και κοινών επικαλύψεων καφέ χρώματος: φωτογραφίες στο ορατό (κάτω) και στο υπέρυθρο (πάνω). [Πηγή : <http://buildinggreen.gr/thermoxromika-ylika-ston-astiko-isto-gia-exoikonomisi-energeias/>]. **σελ. 21**
- **Εικόνα 1.12 :** Κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου για τρεις διαφορετικές περιοχές. Η τραχύτητα (α) της επιφάνειας είναι μεγαλύτερη σε πυκνοδομημένη πόλη με ψηλά κτήρια. **σελ. 23**
- **Εικόνα 1.13 :** Οροφή με σκίαστρα νότιου προσανατολισμού τοποθετημένα σε κανονικές αποστάσεις ώστε να επιτρέπουν την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα μεταξύ τους εμποδίζοντας έτσι την υπερθέρμανση. Η κλίση τους επιτρέπει τη δίοδο της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα ενώ παρέχει πλήρη σκίαση το καλοκαίρι. **σελ. 28**
- **Εικόνα 1.14 :** Πολικό ηλιακό διάγραμμα για περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 52°. **σελ. 29**
- **Εικόνα 1.15 :** Χαρακτηριστικές λειτουργίες των δένδρων. **σελ. 30**
- **Εικόνα 1.16 :** Κατεύθυνση του αέρα προς το κτίριο μέσω συστάδων από φυλλοβόλα δέντρα. **σελ. 31**
- **Εικόνα 1.17 :** Στοιχείο νερού στον αστικό ιστό. Προσφέρει φυσικό δροσισμό, καλύπτει τοπικά την ηχορύπανση και συμβάλει στη βελτίωση της αισθητικής χαλαρώνοντας τους πολίτες. [Πηγή : <http://landarchs.com/how-uptown-normal-started-an-economic-boom/>]. **σελ. 32**
- **Εικόνα 2.1 :** Χάρτης επιφανειακών θερμοκρασιών [Πηγή Leonardo] **σελ. 33**
- **Εικόνα 2.2 :** Το μοντέλο ENVI-met [Πηγή ENVI-met]. **σελ. 35**
- **Εικόνα 2.3 :** Περιβάλλον εργασίας του νέου editor [Πηγή ENVI-met]. **σελ. 37**
- **Εικόνα 2.4 :** Editor βλάστησης (albero) [Πηγή ENVI-met]. **σελ. 38**
- **Εικόνα 2.5 :** Προσομοίωση εδάφους στο πλαίσιο του «Hamburg HafenCity Project». **σελ. 39**
- **Εικόνα 2.6 :** Area input file editor [Πηγή ENVI-met]. **σελ. 40**
- **Εικόνα 2.7 :** Τελική τρισδιάστατη άποψη του υπό σχεδιασμού χώρου με τα μοντέλα της βλάστησης και επιφανειών [Πηγή : Προσωπική εργασία]. **σελ. 41**
- **Εικόνα 2.8 :** Παράθυρο για τη δημιουργία νέου ή τροποποίηση υπάρχοντος αρχείου εισαγωγής περιοχής [Πηγή : ENVI-met]. **σελ. 41**
- **Εικόνα 2.9 :** Τρισδιάστατη απεικόνιση της θερμοκρασίας του αέρα (με χρώματα) και της κίνησης του ανέμου (κουκίδες) [Πηγή : Προσωπική εργασία]. **σελ. 43**
- **Εικόνα 3.1 :** Η πλατεία Ομόνοιας το 1930. **σελ. 44**
- **Εικόνα 3.2 :** Η πλατεία Ομόνοιας όπως την ξέρουμε σήμερα. **σελ. 45**

- **Εικόνα 3.3 :** Η πρόταση των OKRA η οποία κέρδισε το διαγωνισμό του rethink athens. [Πηγή : Rethink Athens]. **σελ. 46**
- **Εικόνα 3.4 :** Ηλιακό διάγραμμα για το γεωγραφικό πλάτος της Αττικής προσαρμοσμένο πάνω στο χάρτη της πλατείας. Ο χώρος υπό μελέτη θεωρείται το κέντρο του χάρτη. Για τον προσανατολισμό των σκιάσεων ενώνουμε τη θέση του ηλίου με το κέντρο και η σκιά πέφτει πάνω σε αυτή τη διεύθυνση στο άλλο ημικύκλιο. Στη συνέχεια μεταφέρουμε σε επίπεδο πόλης [Πηγή : Προσωπική εργασία, ηλιακό διάγραμμα]. **σελ. 47**
- **Εικόνα 4.1 :** η θερμοκάμερα FLIR Therma Cam B2 [Πηγή : Google images]. **σελ. 49**
- **Εικόνα 4.2 :** Η περιοχή μελέτης [Πηγή : Google Earth]. **σελ. 51**
- **Εικόνα 4.3 :** Κάτοψη της πλατείας. Με μαύρα βελάκια φαίνεται η πορεία που ακολουθήθηκε. Τα σημεία S και F είναι η αρχή και το τέλος της. Με κόκκινες κουκίδες απεικονίζεται το σημείο φωτογράφισης των οδικών χαραδρών και σε μπλε πλαίσια και αριθμημένες με τη σειρά που φωτογραφήθηκαν είναι οι αστικές οδικές χαράδρες της περιοχής μελέτης. **σελ. 52**
- **Εικόνα 4.4 :** Άποψη της οδού Σταδίου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 53**
- **Εικόνα 4.5 :** Άποψη της οδού Αθηνάς στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 54**
- **Εικόνα 4.6 :** Άποψη της οδού Πειραιώς στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 55**
- **Εικόνα 4.7 :** Άποψη της οδού Αγ. Κωνσταντίνου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 56**
- **Εικόνα 4.8 :** Άποψη της οδού 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 57**
- **Εικόνα 4.9 :** Άποψη της οδού Πανεπιστημίου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 58**
- **Εικόνα 4.10 :** Άποψη της οδού Πατησίων στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 59**
- **Εικόνα 4.11 :** Άποψη της οδού Αιόλου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 60**
- **Εικόνα 4.12 :** Άποψη της οδού Σωκράτους 1 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 61**
- **Εικόνα 4.13 :** Άποψη της οδού Σωκράτους 2 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 61**
- **Εικόνα 4.14 :** Άποψη της οδού Σατωβριάνδου 1 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 62**
- **Εικόνα 4.15 :** Άποψη του στενού 1 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 63**
- **Εικόνα 4.16 :** Άποψη της οδού Σατωβριάνδου 2 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 64**
- **Εικόνα 4.17 :** Άποψη του στενού 2 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 65**
- **Εικόνα 4.18 :** Άποψη της οδού Σατωβριάνδου 3 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό **σελ. 66**
- **Εικόνα 4.19 α :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 67**
- **Εικόνα 4.19 β :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 68**
- **Εικόνα 4.19 γ :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 69**
- **Εικόνα 4.19 δ :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 69**
- **Εικόνα 4.20 :** Αποτύπωση μέρους της πλατείας στις 12.00 μ.μ. **σελ. 70**
- **Εικόνα 4.21 :** Αποτύπωση δρόμου , πεζοδρομίου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 71**
- **Εικόνα 4.22 :** Κτήριο της πλατείας (δεξιά) στο ορατό και (αριστερά) στο υπέρυθρο. **σελ. 72**
- **Εικόνα 4.23 :** Προσόψεις των απέναντι κτιρίων πεζοδρόμου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 73**
- **Εικόνα 4.24 :** Αποτύπωση οδού 3ης Σεπτεμβρίου στις 4.00 μ.μ. **σελ. 74**
- **Εικόνα 4.25 :** Αποτύπωση οδού Πατησίων στις 12.00 μ.μ. **σελ. 75**
- **Εικόνα 4.26 :** Αποτύπωση οδού Αθηνάς. **σελ. 76**
- **Εικόνα 4.27 :** Αποτύπωση οδού Αθηνάς. **σελ. 77**
- **Εικόνα 4.28 :** Αποτύπωση οδού Αθηνάς. **σελ. 77**
- **Εικόνα 4.29 :** Αποτύπωση οδού Αθηνάς. **σελ. 78**
- **Εικόνα 4.30 :** Αποτύπωση της οδού Αγ Κωνσταντίνου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 78**
- **Εικόνα 4.31 :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 8.00 μ.μ. **σελ. 79**
- **Εικόνα 4.32 :** Αεραγωγός επί της πλατείας. **σελ. 79**



- **Εικόνα 4.33** : Αποτύπωση οδού Αιόλου στις 8.00 π.μ. **σελ. 80**
- **Εικόνα 5.1** : Εικόνα-υπόβαθρο της πλατείας Ομόνοιας [Πηγή προσωπική εργασία]. **σελ. 81**
- **Εικόνα 5.2** : Παράθυρο Model Inspector το οποίο ελέγχει την εγκυρότητα του αρχείου εισαγωγής δεδομένων [Πηγή : Προσωπική εργασία , ENVI-met]. **σελ. 82**
- **Εικόνα 5.3** : Τα είδη των δέντρων που απαντώνται στην υπό μελέτη περιοχή. [Πηγή : Google Earth]. **σελ. 84**
- **Εικόνα 5.4** : Εικόνα του υπό μελέτη χώρου σε 3 διαστάσεις που εμπεριέχει το σύνολο των κτιρίων και της βλάστησης [Πηγή ENVI-met , προσωπική εργασία]. **σελ. 85**
- **Εικόνα 6.1** : Φάκελοι δεδομένων που εμπεριέχουν τα αρχεία EDX για κάθε ώρα. **σελ. 87**
- **Εικόνα 6.2** : Επιλογή δεδομένων. **σελ. 88**
- **Εικόνα 6.3** : Χάρτης δύο διαστάσεων που απεικονίζει της θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους [Πηγή Leonardo , προσωπική εργασία]. **σελ. 89**
- **Εικόνα 6.4** : Αριθμητικές τιμές θερμοκρασιών για κάθε κελί της κανάβου [Πηγή Leonardo , προσωπική εργασία]. **σελ. 90**
- **Εικόνα 6.5** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σταδίου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 92**
- **Εικόνα 6.6** : Αριθμητική απεικόνιση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αθηνάς στις 4.00 μ.μ. **σελ. 93**
- **Εικόνα 6.7** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Πειραιώς στις 8.00 μ.μ. **σελ. 94**
- **Εικόνα 6.8** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αγ. Κωνσταντίνου στις 12.00 μ.μ. **σελ. 95**
- **Εικόνα 6.9** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό 3ης Σεπτεμβρίου στις 8.00 π.μ. **σελ. 96**
- **Εικόνα 6.10** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Πανεπιστημίου στις 4.00 μ.μ. **σελ. 97**
- **Εικόνα 6.11** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Πατησίων στις 12.00 μ.μ. **σελ. 98**
- **Εικόνα 6.12** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αιόλου στις 4.00 μ.μ. **σελ. 99**
- **Εικόνα 6.13** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σωκράτους (κάτω μέρος) στις 8.00 π.μ. **σελ.100**
- **Εικόνα 6.14** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σωκράτους 2 στις 8.00 μ.μ. **σελ.101**
- **Εικόνα 6.15** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σατωβριάνδου 1 στις 4.00 μ.μ. **σελ.102**
- **Εικόνα 6.16** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για τον πεζόδρομο 1 Σατωβριάνδου στις 4.00 .μ.μ. **σελ.103**
- **Εικόνα 6.17** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για τον πεζόδρομο 2 Σατωβριάνδου στις 4.00 μ.μ. **σελ.104**
- **Εικόνα 6.18** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για το στενό 1 12.00 μ.μ. **σελ.105**
- **Εικόνα 6.19** : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για το στενό 2 στις 12.00 μ.μ. **σελ.106**
- **Εικόνα 6.20** : Χάρτης 2 διαστάσεων που απεικονίζει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μίας ώρας [Πηγή Leonardo , προσωπική εργασία]. **σελ.107**
- **Εικόνα 6.21** : Διαφορετικού τύπου οδικές χαράδρες. **σελ.109**
- **Εικόνα 6.22** : Επιφανειακές θερμοκρασίες στις 3.00μμ. **σελ.110**
- **Εικόνα 6.23** : Οι περιοχές υπό σκιά. (πάνω αριστερά 12.00 μ.μ. , πάνω δεξιά 1.00 μ.μ. , κάτω αριστερά 2.00 μ.μ. , κάτω δεξιά 3.00 μ.μ.) **σελ.111**

## Ευρετήριο πινάκων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 : Συγκέντρωση όζοντος στο επίπεδο του εδάφους ανάλογα με την επιφανειακή θερμοκρασία.	σελ.	11
Πίνακας 1.2: Κατάταξη υλικών επίστρωσης επιφανειών σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την ανακλαστικότητα τους.	σελ.	17
Πίνακας 1.3 : Εύρος των θερμικών δεικτών μέσης προβλεπόμενης ψήφου (PMV) και φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για διαφορετικούς βαθμούς θερμικής αντίληψης και φυσιολογικής έντασης αντίστοιχα, με σταθερό μεταβολισμό 80 W, και αντίσταση ένδυσης 0,9 clo. [Πηγή: Matzarakis, A., H. Mayer και M.G. Izionon. 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature]).	σελ.	27
Πίνακας 3.1 : Κλιματικά δεδομένα για την Αθήνα σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών [Πηγή <a href="http://www.meteo.gr">www.meteo.gr</a> (2012)].	σελ.	48
Πίνακας 3.2 : Διαφορά θερμοκρασίας με τα προηγούμενα χρόνια [Πηγή <a href="http://www.meteo.gr">www.meteo.gr</a> ].	σελ.	48
Πίνακας 6.1 : Αριθμητική απεικόνιση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αθηνάς [Πηγή Microsoft Excel , προσωπική εργασία].	σελ.	91
Πίνακας 6.2 : Θερμοκρασίες της οδού Σταδίου.	σελ.	92
Πίνακας 6.3 : Θερμοκρασίες της οδού Αθηνάς.	σελ.	93
Πίνακας 6.4 : Θερμοκρασίες της οδού Πειραιώς.	σελ.	94
Πίνακας 6.5 : Θερμοκρασίες της οδού Αγ. Κωνσταντίνου.	σελ.	95
Πίνακας 6.6 : Θερμοκρασίες της οδού 3ης Σεπτεμβρίου.	σελ.	96
Πίνακας 6.7 : Θερμοκρασίες της οδού Πανεπιστημίου.	σελ.	97
Πίνακας 6.8 : Θερμοκρασίες της οδού Πατησίων.	σελ.	98
Πίνακας 6.9 : Θερμοκρασίες της οδού Αιόλου.	σελ.	99
Πίνακας 6.10 : Θερμοκρασίες της οδού Σωκράτους.	σελ.	100
Πίνακας 6.11 : Θερμοκρασίες της οδού Σωκράτους (άνω τμήμα).	σελ.	101
Πίνακας 6.12 : Θερμοκρασίες της οδού Σατωβριάνδου.	σελ.	102
Πίνακας 6.13 : Θερμοκρασίες της οδού Σατωβριάνδου 2 (πεζόδρομος).	σελ.	103
Πίνακας 6.14 : Θερμοκρασίες της οδού Σατωβριάνδου 3 (πεζόδρομος).	σελ.	104
Πίνακας 6.15 : Θερμοκρασίες του στενού 1.	σελ.	105
Πίνακας 6.16 : Θερμοκρασίες του στενού βορειοδυτικά της πλατείας.	σελ.	106
Πίνακας 6.17 : Διαφορές θερμοκρασιών για τις 4 ώρες των μετρήσεων.	σελ.	107
Πίνακας 6.18 : Διάγραμμα επιφανειακών θερμοκρασιών για 3 σημεία διαφορετικού βαθμού ανακλαστικότητας.	σελ.	112

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και η έντονη αστικοποίηση έχουν επηρεάσει αρνητικά το κλίμα στις μεγαλουπόλεις. Η ανάγκη βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσης μέσα από τη διαμόρφωση βιώσιμων εξωτερικών χώρων συνέβαλε στην ανάπτυξη του κλάδου της βιοκλιματικής μελέτης και αρχιτεκτονικής. Κύρια έκφρασή της αποτελούν τα έργα ανάπλασης τα οποία εστιάζουν συχνά σε αστικά φορτισμένα σημεία της πόλης, όπως είναι οι πλατείες και οι κεντρικοί εμπορικοί πεζόδρομοι, όπου μεγάλο πλήθος ανθρώπων συγκεντρώνεται η διέρχεται σε καθημερινή βάση.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη του βιοκλιματικού σχεδιασμού, εστιάζοντας στις επιφανειακές θερμοκρασίες των δομικών υλικών (δρόμοι – πεζοδρόμια – επιφάνειες κτηρίων) και τον τρόπο που επιδρούν στη διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος και στη θερμική άνεση, καθώς και η προσομοίωση των μικροκλιματικών συνθηκών σε ένα ελεύθερο και διαδεδομένο πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, το ENVI-met.

Ως χώρος εφαρμογής επιλέχθηκε η πλατεία Ομόνοιας στο κέντρο της Αθήνας και η μελέτη επικεντρώνεται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων (προσομοίωσης της περιοχής) επιφανειακής θερμοκρασίας του προγράμματος, με τις πραγματικές θερμοκρασίες των επιφανειών στους δρόμους και στα πεζοδρόμια, οι οποίες καταγράφηκαν με θερμοκάμερα, συγκεκριμένες μέρες και ώρες των θερινών μηνών. Παράλληλα κατασκευάστηκε το μοντέλο της πλατείας στο Envi-met και επιλύθηκε για την ημέρα των μετρήσεων που αντιπροσώπευε μία μέση καλοκαιρινή ημέρα στο κέντρο της Αθήνας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης οπτικοποιήθηκαν επίσης, μέσω του προγράμματος Leonardo το οποίο συμπεριλαμβάνεται στο Envi-met.

Στόχος της εργασίας είναι ο έλεγχος της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων αυτών του ENVI-met και η αναλυτική παρουσίαση των τιμών της επιφανειακής θερμοκρασίας της περιοχής για μία τυπική καλοκαιρινή μέρα καθώς και των παραγόντων που την καθορίζουν.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ.

## 1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η αστικοποίηση είναι ένα φαινόμενο που καθρεφτίζει τη σύγχρονη ανθρωπότητα. Πάνω από το 50% του πληθυσμού σήμερα είναι συγκεντρωμένος στα αστικά κέντρα, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά μέσα στα επόμενα χρόνια. Ταυτόχρονα η ανάπτυξη της βιομηχανίας έχει μεταφερθεί γύρω από το αστικό περιβάλλον για την εξυπηρέτηση των αναγκών του πληθυσμού.

Η διόγκωση αυτή των αστικών περιοχών, που μεταφράζεται σε αύξηση των κτηρίων και των καλυμμένων από δομικά υλικά εκτάσεων, λάμβανε χώρα με ραγδαίους ρυθμούς δίχως την παράλληλη μελέτη διαχείρισης της υποβάθμισης της περιβαλλοντικής ποιότητας που συνεπάγεται. Μια πρώτη συνέπεια της αστικοποίησης αυτής αποτελεί η σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις και τα προάστιά τους, φαινόμενο που αναφέρεται ως Αστική θερμική νησίδα και οφείλεται κυρίως στην παρουσία δομικού υλικού και την απουσία χώρων πρασίνου. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί σε μία πολύ υψηλή αύξηση της δαπάνης σε ενέργεια.

Μία πρόσφατη ανάλυση έδειξε πως μία αύξηση κατά 1% στο κεφαλήν Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ) οδηγεί σε μία σχεδόν αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, όπως έχει καταγραφεί, μία αύξηση του αστικού πληθυσμού κατά 1%, αυξάνει τη δαπάνη ενέργειας κατά 2,2%, δηλαδή ο βαθμός μεταβολής της κατανάλωσης ενέργειας είναι διπλάσιος της τιμής αύξησης της του πληθυσμού. [1].

Οι ρυθμοί επιδείνωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος οδήγησαν σε μία στροφή προς μια αειφόρα πόλη όπου ο σχεδιασμός κτιρίων και οικιστικών συνόλων εντάσσεται στην στρατηγική της βιωσιμότητας, μιας ήπιας, συμβιωτικής διαχείρισης του περιβάλλοντος, φυσικού και δομημένου. Ουσιαστικά η βιοκλιματική αντίληψη διατυπώνει μια εμπλουτισμένη άποψη για τον σχεδιασμό του δομημένου χώρου, η οποία εμπεριέχει την περιβαλλοντική διάσταση και την αντίστοιχη ευαισθησία. Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική φιλική προς το περιβάλλον και τους χρήστες, για μια εναλλακτική θεώρηση της δόμησης του χώρου, η οποία οφείλει να επιφέρει τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση στο φυσικό χώρο, με το μικρότερο δυνατό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα. [23].

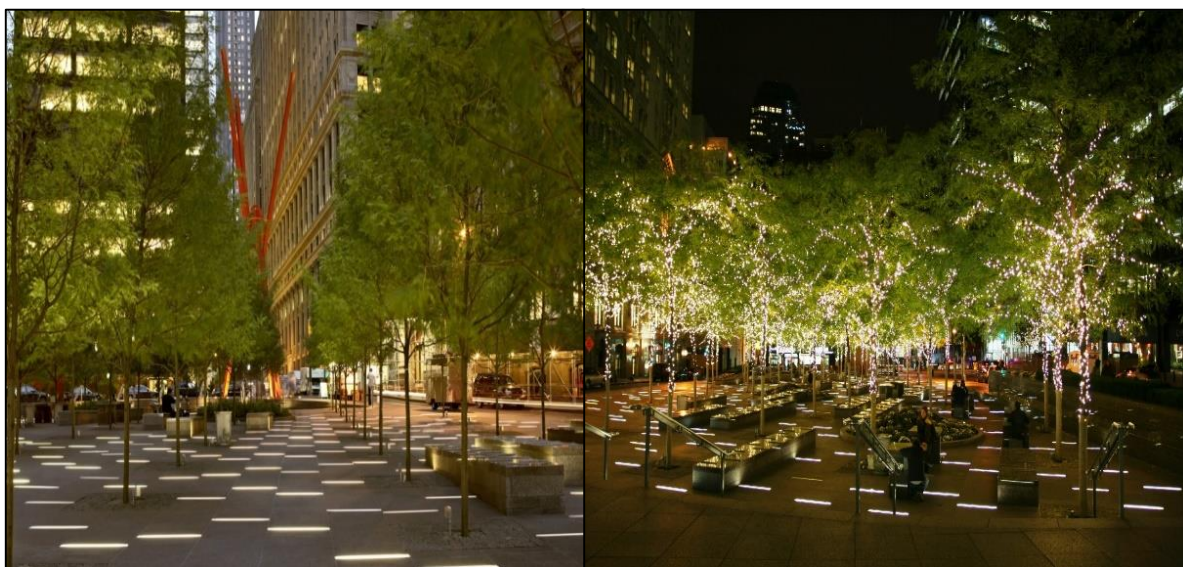
Η υιοθέτηση του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτηρίων εξυπηρετεί τέσσερις βασικούς στόχους:

- Την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της υποκατάστασής τους από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), άρα την εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας.
- Την εξοικονόμηση χρήματος. Η χρησιμοποίηση της αδάπανης ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση των κτηρίων ή/και των δροσερών ανέμων για τον δροσισμό τους αποτελούν πρόκληση οικονομική, μια και η εξοικονόμηση χρημάτων που προκύπτει είναι της τάξης του 50%, ενδεχομένως και μεγαλύτερη.

- Την προστασία του περιβάλλοντος, λόγω του περιορισμού στη χρήση συμβατικών καυσίμων και ηλεκτρισμού και συνεπώς τη μείωση των εκλυόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Τη βελτίωση του έσω-κλίματος των κτηρίων με τη διασφάλιση συνθηκών βιολογικής άνεσης θερμικής και οπτικής, ποιότητας αέρα και τη δημιουργία υγιεινών συνθηκών διαβίωσης.

Σε γενικές γραμμές, ο Βιοκλιματικός σχεδιασμός στους αστικούς χώρους θα πρέπει να ακολουθεί κάποιες συγκεκριμένες αρχές.

Οποιαδήποτε παρέμβαση οφείλει να συμβαδίζει με την ταυτότητα του χώρου και τη χρήση για την οποία προορίζεται (Εικόνα 1.1), διατηρώντας παράλληλα διακριτά τα όρια μεταξύ δημοσίων και ιδιωτικών χώρων και να μην διαταράσσει την ομαλή κυκλοφορία πεζών και οχημάτων. Στην ουσία η εκτενής μελέτη του χώρου και ο εντοπισμός των υποβαθμισμένων κλιματολογικά σημείων (hot spots)



**Εικόνα 1.1 :** Διαφορετική χρήση χώρου στο πάρκο Zuccotti για (αριστερά) μέρα και δεξιά (νύχτα).  
[Πηγή : Wikipedia]

υποδεικνύουν τους περιορισμούς και τις έγκυρες τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν κατά τον σχεδιασμό.[2]

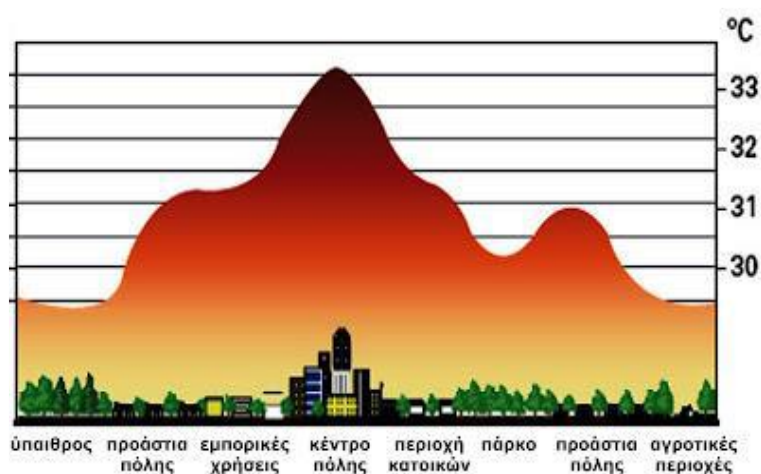
Τα τελευταία χρόνια πολύτιμο εργαλείο μελέτης και ανάπλασης αποτελούν τα ηλεκτρονικά προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής που προσφέρουν τη δυνατότητα προσομοίωσης της περιοχής. Έτσι ο χρήστης μπορεί να μελετήσει τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία, την ένταση και κατεύθυνση του ανέμου σε κάθε σημείο του μοντελοποιημένου χώρου για οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αλλά και πολλούς άλλους δείκτες όπως η επιφανειακή θερμοκρασία των υλικών που θα μας απασχολήσει.

Με την ευκολία που προσφέρουν οι Η/Υ στην ανάγνωση του μεγάλου αριθμού δεδομένων μπορεί πλέον να μελετηθεί η επίδραση της μορφολογίας της περιοχής στο μικρόκlima και να εντοπιστούν τα διάφορα "hot spots". Ακόμα η προσομοίωση σχεδίων ανάπλασης αποτελεί πολύτιμη βοήθεια στην αξιολόγησή τους.

## 1.2. Φαινόμενο αστικής θερμικής νησίδας.

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας αποτελεί την πλέον κλιματική ένδειξη της αστικοποίησης. Αναφέρεται στην αυξημένη θερμοκρασία στις κατοικημένες περιοχές σε σχέση με εκείνη στις γύρω υπαίθριες περιοχές. Αίτια του φαινομένου αυτού είναι η συσσώρευση θερμότητας από την απουσία πρασίνου, η μεγάλη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας από τα υλικά δόμησης αλλά και οι διαδοχικές ανακλάσεις λόγω της σύνθετης αστικής γεωμετρίας και φυσικά το σύνολο των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (θερμικές μηχανές κτ).

Μελετώντας το φαινόμενο της αστικής νησίδας ουσιαστικά αναζητείται το εύρος των θερμοκρασιακών διαφορών με το περιβάλλον γύρω από την πόλη. Για να γίνει αντιληπτή η έκτασή του, στην Αθήνα, σύμφωνα με πρόσφατες κλιματολογικές μετρήσεις σε 30 αστικούς και προαστιακούς σταθμούς η διαφορά θερμοκρασίας υπολογίστηκε ότι μπορεί και να ξεπερνάει τους 10 βαθμούς όταν το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο. [3].



**Εικόνα 1.2 :** Διακυμάνσεις θερμοκρασιών ανάλογα με τις διάφορες χρήσεις γης.  
[Πηγή : [www.zeroenergybuildings.org](http://www.zeroenergybuildings.org)].

Κατά τη δύση του ηλίου το φαινόμενο εντείνεται, λόγω της εκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος η οποία έχει συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια της ημέρας στα κελύφη των κτηρίων και τις εδαφικές επιφάνειες που αποτελούνται κυρίως από σκυρόδεμα, πέτρα, ασφαλτο και γυαλί, υλικά με μεγάλο δείκτη θερμοχωρητικότητας. [3]

Σε χώρες όπου οι ζεστοί μήνες αποτελούν την πλειοψηφία του έτους, όπως είναι η Ελλάδα η επίπτωση της θερμικής νησίδας στην κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Μελέτες έχουν δείξει πως η κατανάλωση ενέργειας για την μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να διπλασιαστεί εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας στις περιοχές που επηρεάζονται [1]. Την ίδια στιγμή, η ποιότητα του περιβάλλοντος στις ζώνες που υπερθερμαίνονται επιδεινώνεται καθώς τα επίπεδα μόλυνσης αυξάνονται [1] και η αρνητική επιρροή της πόλης στο περιβάλλον (οικολογικό αποτύπωμα) αυξάνεται σημαντικά. [1].

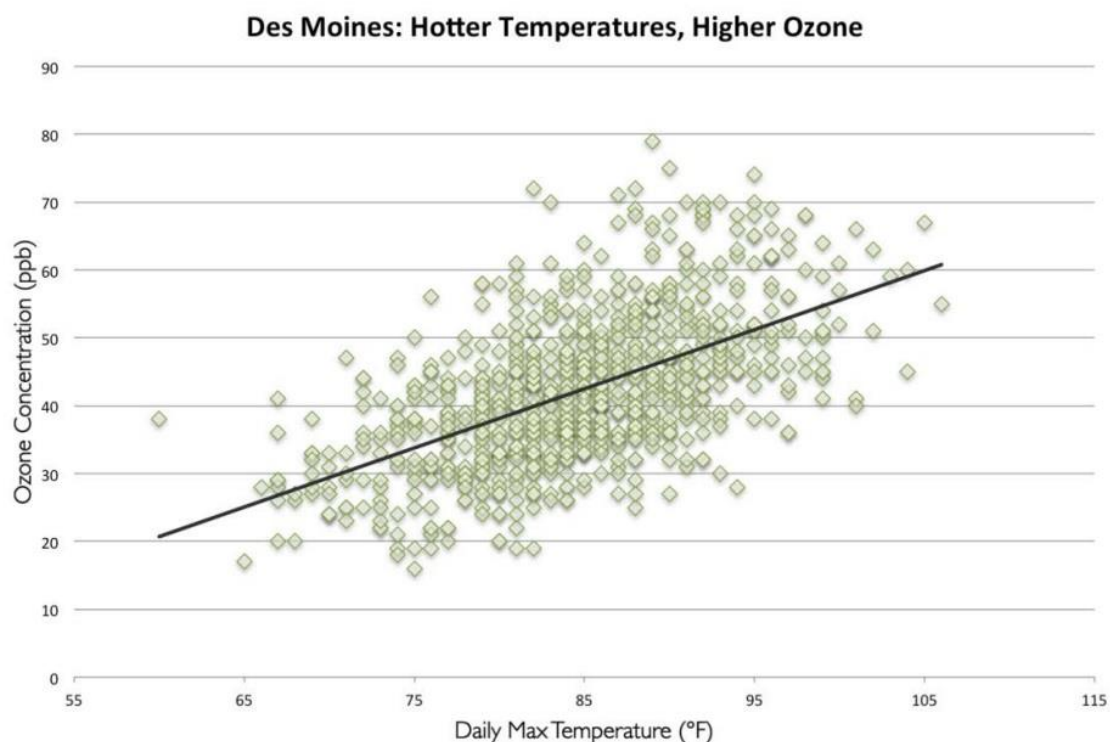
Όπως έχει καταγραφεί, για τις πόλεις την Ηνωμένων Πολιτειών με πληθυσμό άνω των 100.000, το μέγιστο του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται 1.5 με 2 τις εκατό για κάθε 1°F αύξηση της θερμοκρασίας. [1].

Ακόμα η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών φαίνεται να είναι η αιτία για την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων σε ορισμένους ρύπους, που σε συνδυασμό με τα συγκεντρωτικά προς κάποιο σημείο ρεύματα ανέμου μπορούν να δημιουργήσουν αφόρητες καταστάσεις.



Το κύριο πρόβλημα είναι πως οι υψηλές θερμοκρασίες στις μεγάλες πόλεις οδηγούν σε άμεση αύξηση του σχηματισμού του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους, το οποίο παράγεται όταν το NO<sub>x</sub> έρχεται σε επαφή με τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) υπό την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας και υπό θερμές συνθήκες. [4].

Ο πίνακας 1.1 αντιστοιχεί σε γραφική παράσταση της συγκέντρωσης του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους σε σχέση με τη θερμοκρασία στην πόλη Des Moines. Είναι ξεκάθαρο πως με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται η συγκέντρωση του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους. Παράλληλα αυξάνονται και τα επίπεδα άλλων ρύπων λόγω της επιπλέον ανάγκης σε ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάται, μέσω του κλιματισμού, ώστε να μειώσει την αισθητή θερμοκρασία στα αστικά κέντρα. Η αυξημένη δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερων ορυκτών καυσίμων και ως εκ τούτου την εκπομπή πρωτογενών ρύπων όπως το διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, υδράργυρο κ.α. . Όλοι αυτοί οι ρύποι επηρεάζουν τοπικά την ποιότητα του αέρα επιδεινώνοντας το πρόβλημα της συγκέντρωσης του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους. [4].



**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 :** Συγκέντρωση όζοντος στο επίπεδο του εδάφους ανάλογα με την επιφανειακή θερμοκρασία [4].

### 1.3. Το ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ.

#### 1.3.1. Στοιχεία του μικροκλίματος.

Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν εντός του αστικού ιστού, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, διαφέρουν από τις αντίστοιχες στα όρια του και εκτός αυτού. Διαφορετικές συνθήκες, όμως επικρατούν και εντός του ίδιου του αστικού ιστού σε διαφορετικά σημεία του, τα οποία μάλιστα, μπορεί να απέχουν μόλις μερικές δεκάδες μέτρα μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα μία οδός με έντονη κυκλοφορία οχημάτων και ένα διπλανό αστικό πάρκο, με το τελευταίο να αποτελεί μία όαση, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς θερμούς μήνες, σε πόλεις με μεσογειακό κλίμα όπως η Αθήνα. [5].

Η διαφοροποίηση αυτή των κλιματικών συνθηκών εντός των πόλεων αλλά και ανάμεσα σε διαφορετικά σημεία τους, συνιστά την ύπαρξη ενός διαφορετικού μικροκλίματος που επικρατεί σε καθένα από αυτά. Τα κύρια στοιχεία που συνθέτουν το μικρόκλιμα μιας περιοχής είναι η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειών, η υγρασία και οι συνθήκες ροής του ανέμου.

#### 1.3.2. Γεωμετρική δομή της πόλης – Αστικές οδικές χαράδρες.

Οι εξωτερικοί χώροι στις πόλεις ποικίλουν ως προς τη μορφολογία τους και τα εδαφικά χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 1.3 : Fish-eye φωτογραφία από αστική οδική χαράδρα που απεικονίζει τη τιμή του δείκτη SVF

[Πηγή : <http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/akta07/017-026.pdf>]

του μικροκλίματος αφού καθορίζει τις επιφανειακές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται καθώς και τη θερμοκρασία του αέρα πάνω από τις επιφάνειες. [6].

Το μικρόκλιμα όπως είναι φυσικό επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διάταξη των κτηρίων τα οποία είναι ευθυγραμμισμένα με βασικό γνώμονα την άμεση επικοινωνία τους με το οδικό δίκτυο. Αυτή η διάταξη που συναντάται ως επί το πλείστο σε όλες τις πόλεις χαρακτηρίζεται ως "Αστική οδική χαράδρα" και περιλαμβάνει τις όψεις των εκατέρωθεν κτηρίων και τον κενό εξωτερικό χώρο ανάμεσά τους για ένα σημαντικό μη αμελητέο μήκος.

Το υλικό επίστρωσης της ενδιάμεσης επιφάνειας ενδέχεται να είναι άσφαλτος, υλικό πεζοδρόμησης η και συνδυασμός των δύο.

Η γεωμετρία των δρόμων παίζει κυρίαρχο ρόλο στη θερμοκρασία

Η αστική γεωμετρία συχνά εκφράζεται είτε ως η αναλογία ύψους και πλάτους (the Height/Width ratio (H/W) ), είτε μέσω του παράγοντα SVF (the Sky View Factor) (Εικόνα 1.3).

Ο πρώτος δείκτης είναι η αναλογία του βασικού/μέσου ύψους των κτηρίων και του ενδιάμεσου μέσου πλάτους του δρόμου. Ο παράγοντας SVF εκφράζεται ως η αναλογία ανάμεσα στις ακτινοβολίες που δέχεται μία επίπεδη επιφάνεια προς τη συνολική ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Η δεύτερη αυτή αναλογία χρησιμοποιείται κυρίως στα δάση, στους δρόμους και στο πεδίο της αστικής κλιματολογίας προκειμένου να περιγράψει της ιδιότητες της ακτινοβολίας. Πρόκειται για μία τιμή που κυμαίνεται ανάμεσα στο 0 και το 1.

Όταν υπάρχουν εμπόδια που κρύβουν τον ουράνιο θόλο η τιμή αυτή τείνει προς το μηδέν. Αντίθετα όταν ολόκληρο το ημισφαίριο είναι ορατό, ο δείκτης είναι ίσος με ένα. [7]

Σε ξηρά κλίματα μία συμπαγής κτηριακή δομή με κατάλληλο προσανατολισμό δημιουργεί συνθήκες δροσιάς, λόγω της εσωτερικής σκίασης , ενώ το χειμώνα παρέχει ζεστές συνθήκες εξαιτίας της προστασίας από δυνατούς ανέμους κατά τη διάρκεια της νύχτας [7]

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το καλοκαίρι, μία βαθιά αστική χαράδρα παρουσιάζεται αρκετά πιο δροσερή σε σχέση με ρηχή, με τις καλοκαιρινές θερμοκρασιακές διαφορές να φτάνουν τους 6 °C ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η ρηχή χαράδρα είναι θερμικά πιο άνετη λόγω της πρόσβασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε όλο το βάθος [7].

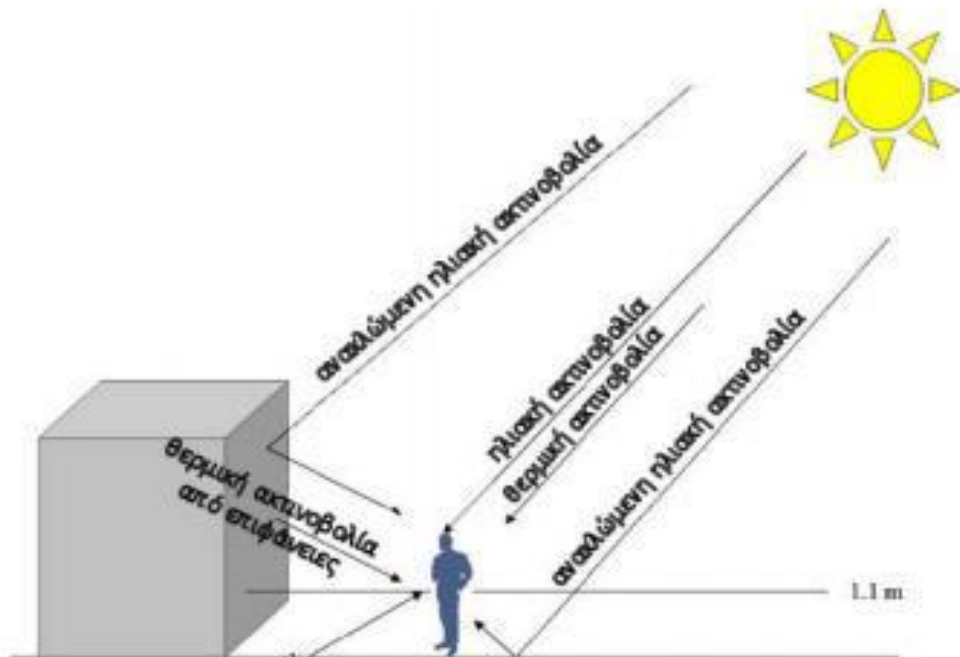
Στον ουρανό σημειώνονται συνήθως χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την επιφάνεια της γης, γεγονός το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο της ενέργειας.

Κατά τη διαδικασία της απώλειας της θερμικής ενέργειας της γης και συνεπώς της μείωσης της θερμοκρασίας, ο ουρανός αποτελεί ένα στοιχείο που δέχεται το μεγάλο μήκος κύμα ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης. Επομένως η απώλεια αστικής ακτινοβολίας συνδέεται άμεσα με την απόκρυψη του ουράνιου θόλου. Όσο μικρότερη οπτική επαφή έχει μια επιφάνεια με τον ουρανό, τόσο μειώνεται η δυνατότητα μείωσης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας και της αύξησης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επομένως, είναι σαφές πως ο παράγοντας SVF παίζει σημαντικό ρόλο στη θερμική άνεση και στο αστικό κλίμα. [7].

#### 1.4. Πεδίο Ακτινοβολίας.

Το πεδίο ακτινοβολίας σε μία αστική περιοχή περιλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μπορεί να είναι άμεση, διάχυτη ή να προέρχεται από ανάκλαση στις διάφορες επιφάνειες, καθώς και τη θερμική ακτινοβολία ή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, που εκπέμπεται από το έδαφος, τις επιφάνειες (π.χ. κτίρια) και την ατμόσφαιρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη βασική και πρακτικά τη μοναδική πηγή μεταφοράς θερμότητας στην επιφάνεια της γης.



*Εικόνα 1.4 : Κύριες συνιστώσες ακτινοβολίας στο αστικό περιβάλλον. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να είναι είτε άμεση (κατευθείαν από τον ηλιακό δίσκο), είτε διάχυτη (κατόπιν σκέδασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα), είτε ανακλώμενη (κατόπιν ανάκλασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από τα διάφορα στοιχεία της αστικής επιφάνειας). Η θερμική ακτινοβολία που δέχεται το ανθρώπινο σώμα, είναι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται τόσο από τα στοιχεία της αστικής επιφάνειας όσο και από την ατμόσφαιρα. [25].*

Η ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται στην περιοχή από 0.2 μέχρι 2.5  $\mu\text{m}$ , όπου κυριαρχεί το ηλιακό φάσμα. Αποτελείται από την υπεριώδη ακτινοβολία (0.2-0.4 $\mu\text{m}$ ), την ορατή ακτινοβολία (0.4-0.7 $\mu\text{m}$ ) και την ακτινοβολία εγγύς υπέρυθρου (0.7-2.5 $\mu\text{m}$ ), με συνεισφορές περίπου 5%, 55% και 40% αντίστοιχα, στο σύνολο της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος.

Για μήκη κύματος μεγαλύτερα από 5.0  $\mu\text{m}$ , η ακτινοβολία ονομάζεται θερμική και αναφέρεται πλέον στην περιοχή του φάσματος όπου αντί για την ηλιακή, κυριαρχεί η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης ή των υλικών, και η οποία εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Οι μονάδες μέτρησης της ροής της ακτινοβολίας είναι  $\text{W/m}^2$ . [25]

Όλα τα σώματα με θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο 0 εκπέμπουν θερμική ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη υλικού μέσου για τη μεταφορά. Η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μπορεί επίσης να περιλαμβάνει απορρόφηση ακτινοβολίας από τον περιβάλλοντα χώρο, με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας.

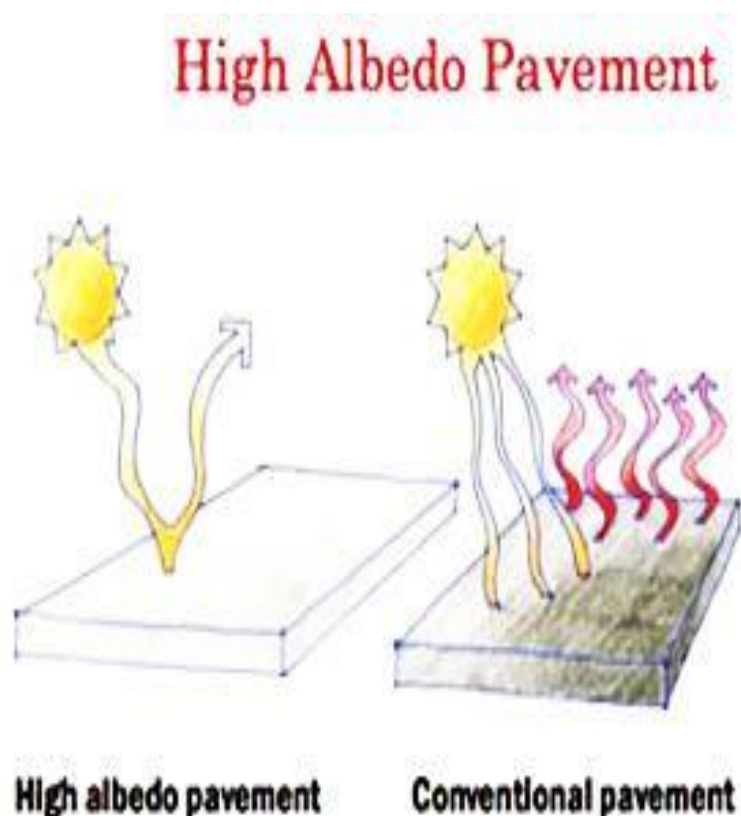
Στις μελέτες που αφορούν βιοκλιματικές παραμέτρους αστικών περιοχών, το πεδίο ακτινοβολίας είναι εξαιρετικής σημασίας και εκφράζεται συνήθως μέσω της έννοιας της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature -  $T_{mrt}$ ). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία μιας υποθετικής σφαιρικής επιφάνειας που περιβάλλει έναν άνθρωπο και η οποία προκαλεί την ίδια ανταλλαγή ενέργειας με το υποκείμενο, όπως το πραγματικό πεδίο ακτινοβολίας στον περιβάλλοντα χώρο του. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει τον πλέον καθοριστικό ρόλο μεταξύ των παραμέτρων που καθορίζουν το ισοζύγιο ενέργειας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον γύρω του. Επίσης, έχει την ισχυρότερη επίδραση στα επίπεδα της θερμικής άνεσης. [25].

## 1.5. Επιφανειακές θερμοκρασίες υλικών.

### 1.5.1 Επιφανειακές θερμοκρασίες και βαθμός ανακλαστικότητας (albedo).

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με τις θερμοκρασίες που αναπτύσσουν τα υλικά επίστρωσης (δρόμοι-πεζοδρόμια-όψεις κτιρίων). Καταρχήν απαραίτητη προϋπόθεση είναι να γίνουν κατανοητές οι ιδιότητες των υλικών εκείνες που σχετίζονται άμεσα με την απορρόφηση ακτινοβολίας. [8].

Αυτές είναι:



**Εικόνα 1.5 :** (αριστερά) Δαπεδόστρωση υψηλής ανακλαστικότητας, (δεξιά) δαπεδόστρωση χαμηλής ανακλαστικότητας  
[Πηγή : <http://www.gatewaygreen.org/green-alley-project-of-chicago/>]

A) Η **ανακλαστικότητα** (albedo) (Εικόνα 1.5) και η απορροφητικότητα προς την ηλιακή ακτινοβολία. Ως ανακλαστικότητα ορίζεται ο λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια ενός σώματος. Το κλάσμα αυτό συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό από 0% έως 100%,

B) Ο **συντελεστής θερμικής εκπομπής**. Ένα ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που έχει απορροφηθεί από μία εξωτερική επιφάνεια εκπέμπεται προς το περιβάλλον με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας. Η ικανότητα εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας διαφοροποιείται ανάλογα με το υλικό και τη διαμόρφωση της τελικής του επιφάνειας.

Γ) Η **θερμοχωρητικότητα** είναι η ποσότητα της θερμότητας που

αποβάλλεται ή απορροφάται από κάποιο σώμα όταν η θερμοκρασία του μεταβληθεί κατά ένα βαθμό Κελσίου.

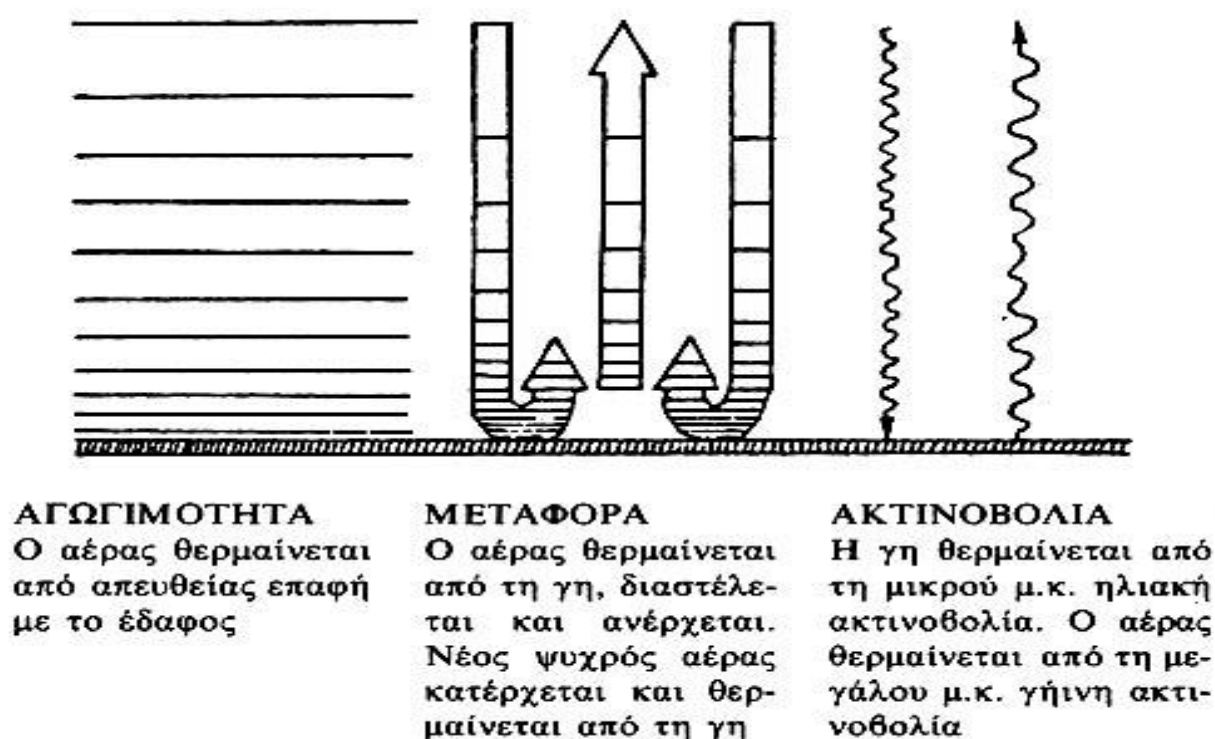
Δ) Η **θερμική αντίσταση** είναι η αντίσταση των στοιχείων στην ροή θερμότητας διαμέσου

ομοιογενούς υλικού.

Η επιφανειακή θερμοκρασία αποτελεί τον κύριο παράγοντα θέρμανσης των χαμηλότερων αερίων στρωμάτων.

Η θέρμανση αυτή από την επιφάνεια του εδάφους γίνεται: [24]

1. Μέσω της ακτινοβολίας (γήινη ακτινοβολία)
2. Μέσω της μοριακής αγωγιμότητας
3. Μέσω των αναταρακτικών κινήσεων
4. Μέσω της μεταφοράς λανθάνουσας θερμότητας από τους υδρατμούς.



Εικόνα 1.6 : Τρόποι θέρμανσης του αέρα από την επιφάνεια του εδάφους [24]

Σε αστικό περιβάλλον και ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ ισχυρή ορισμένα υλικά επίστρωσης αποκτούν αρκετά μεγάλες θερμοκρασίες. Συνεπώς αποτελεί μεγάλη προτεραιότητα κατά τον βιοκλιματικό σχεδιασμό η διατήρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τη σκίαση των επιφανειών δηλαδή την παρεμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας, είτε με τη χρήση υλικών με υψηλότερο δείκτη ανακλαστικότητας (albedo) τα οποία απορροφούν μικρότερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, είτε με την χρήση του υπεδάφους για τον δροσισμό εξωτερικών χώρων.

Η τελευταία μέθοδος βασίζεται στην απαγωγή της θερμότητας από τις κατασκευές σε κοινόχρηστους χώρους προς το έδαφος, επειδή το καλοκαίρι το υπέδαφος έχει μικρότερη θερμοκρασία από εκείνη του περιβάλλοντος και λειτουργεί ως φυσική δεξαμενή θερμότητας (καταβόθρα). Ο δροσισμός από το υπέδαφος εξασφαλίζεται με τις υπόσκαφες (ή ημιυπόσκαφες) κατασκευές και τους εναλλάκτες θερμότητας αέρα εδάφους. [25].



Πίνακας 1.2: Κατάταξη υλικών επίστρωσης επιφανειών σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την ανακλαστικότητά τους [25].

	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 κτηρίων και των δρόμων, καθώς και αυξημένη θερμοχωρητικότητα.

Για την αντιστροφή του φαινομένου αυτού και την αύξηση της ανακλαστικότητας θα πρέπει να επιλέγονται υλικά με δείκτη ανακλαστικότητας μεγαλύτερο ή ίσο του 50, ανοιχτόχρωμης επίστρωσης, ειδικά σε περιοχές με υψηλές τιμές του λόγου ύψους/πλάτους, καθώς, πέρα από τη μειωμένη απορρόφηση ακτινοβολίας, ευνοούν και το φυσικό φωτισμό.

Επίσης, θα πρέπει γενικά να επιλέγονται υλικά μειωμένης απορροφητικότητας για την επίστρωση των δρόμων και των ελεύθερων επιφανειών, όπως χύμα, γρασίδι, πλάκες σχιστόλιθου και κυβόλιθοι με τραχιά επιφάνεια σε βάση από χλοοτάπητα. [25]



Εικόνα 1.7 : Εναλλαγή ενδεδειγμένων επιφανειών [Πηγή: <http://www.arquitecturayempresa.es/noticia/passeig-de-sant-joan-lola-domenech>].

Τα υλικά των επιφανειών, πέραν της επιρροής τους στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αποτελούν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει και την αισθητική.

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 κτηρίων. [25].

Η επικάλυψη των επιφανειών με βλάστηση αποτελεί τη βέλτιστη λύση αφού, όχι μόνο εμποδίζει τις ανακλάσεις, αλλά συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής. Ακόμη, οι επιφάνειες των κτηρίων μπορούν να βάφονται με ανοιχτά χρώματα ώστε να μην υπερθερμαίνονται, ή ακόμη και να καλυφθούν με κάθετα στοιχεία φύτευσης, όπως αναρριχητικά φυτά.



Εικόνα 1.8 : Πράσινη στέγη στο Σιάτλ [Πηγή : <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/activitiescompendium.pdf>]

### 1.5.2. Ψυχρά υλικά.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την επίστρωση ενός πεζοδρόμου είναι πολλά και ποικίλα, συνήθως όμως χρησιμοποιούνται πλάκες, σκυρόδεμα και λίθοι. Οι πλάκες είναι διαφόρων μεγεθών και προτιμώνται αρκετές φορές λόγω της ποικιλίας των χρωμάτων και των σχημάτων που έχουν. Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό ιδιαίτερα ανθεκτικό, τόσο που "αντέχει" ακόμα και την διέλευση οχημάτων, ενώ μπορεί να λάβει διάφορα σχήματα, όπως για παράδειγμα σχήμα τούβλου, ανάλογα με το τι επιδιώκουμε σε κάθε περίπτωση. Τέλος, ένα υλικό που συναντάται συχνότατα είναι οι πέτρες και ιδιαίτερα ο γρανίτης. Η επίστρωση πεζοδρόμων με γρανίτη είναι ιδιαίτερα δημοφιλής κυρίως στις αστικές περιοχές. [9].

Για τον περιορισμό της έκτασης του φαινομένου της θερμικής νησίδας τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε η μελέτη ανάπτυξη και χρήση μη συμβατικών υλικών γνωστά ως ψυχρά υλικά.

Οι βασικοί τύποι των ψυχρών υλικών είναι οι μεμβράνες, τα αντιδιαβρωτικά και οι επιστρώσεις στεγάνωσης, τα προϊόντα τσιμέντου και χάλυβα και τα κονιάματα. Τα προϊόντα αυτά, σε σχέση με άλλα συμβατικά υλικά παρόμοιων χρωμάτων, παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές ανακλαστικότητας και ικανότητας εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. [1].

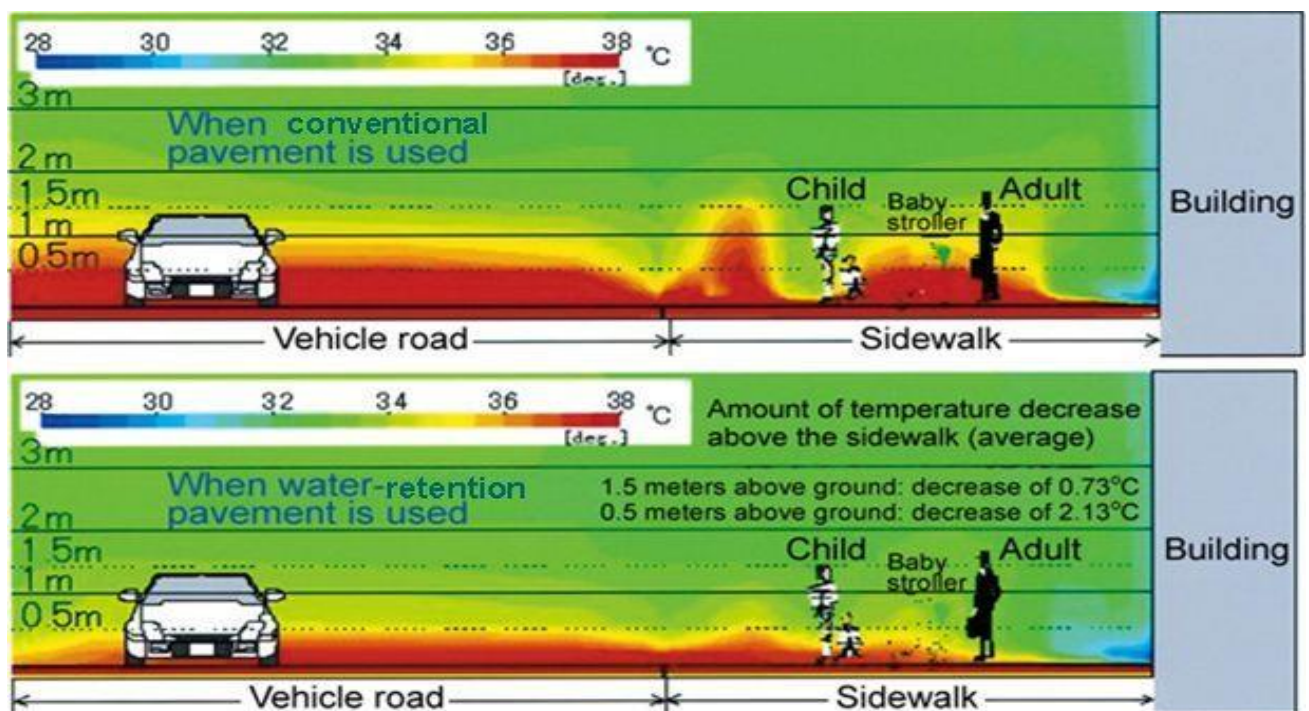


Οι δυο αυτές ιδιότητες οδηγούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες της εξωτερικής επιφάνειας, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τη ζέστη που διεισδύει στο εσωτερικό των κτηρίων και τη θερμοκρασία του αέρα της ατμόσφαιρας. Τα ψυχρά υλικά στα κελύφη των κτηρίων και στις επιφάνειες των αστικών δομών αναπτύσσουν έως και 30°C χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με κοινά υλικά με αποτέλεσμα τα κτίρια να καταναλώνουν 10-40% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια. [10].

Επιπλέον στα πλεονεκτήματα περιλαμβάνονται η βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης, τον περιορισμό του φαινομένου της θερμικής νησίδας και των εκπομπών ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα. Ακόμη τα υλικά αυτά παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα λόγω των αρκετά χαμηλότερων θερμοκρασιών που αναπτύσσουν. [10].

Δεδομένου του αυξημένου κόστους των ψυχρών υλικών σε σχέση με τα συμβατικά, η κατάλληλη χωροθέτησή τους σε ενδεδειγμένες θέσεις είναι ιδιαίτερα σημαντική. Διευκρινίζεται ότι τα ψυχρά υλικά ενδείκνυται να τοποθετούνται σε χώρους που είναι εκτεθειμένοι στην ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στη βελτίωση του μικροκλίματος. [25].

Ο όρος ψυχρές δαπεδοστρώσεις αναφέρεται σε ένα εύρος καθιερωμένων και υπό ανάπτυξη υλικών, τα οποία τείνουν να αποθηκεύουν λιγότερη θερμότητα και έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας, σε σχέση με συμβατικά υλικά.



Εικόνα 1.9 : Επίδραση ψυχρών δαπεδοστρώσεων στη θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους [Πηγή : <http://www.pwri.go.jp/eng/about/pr/webmag/wm005/kenkyu.html>]

Οι συμβατικές δαπεδοστρώσεις παρουσιάζουν τιμές ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας από 4% έως και 45% .[10].

Η μέγιστες θερμοκρασίες των επιφανειών αυτών κυμαίνονται από 48° C έως 67° C. Αντίθετα, όταν η ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας αυξάνεται, αυτή παραμένει πιο ψυχρή κάτω από τον ήλιο. Δεδομένα μετρήσεων [10], αποδεικνύουν καθαρά πως μία αύξηση της ηλιακής ανακλαστικότητας κατά 0,25 μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού έως και 10° C.

Πέρα από το χρωματισμό των υλικών δαπεδόστρωσης με πιο φωτεινά χρώματα, ερευνητές προτείνουν υλικά τα οποία συνδυάζουν την υψηλή ανακλαστικότητα με τη χαμηλή φωτεινότητα, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα πιθανής θάμβωσης και μείωσης της ορατότητας.

Τελευταία έχουν δημιουργηθεί βαφές/χρώματα [10], που παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία, σε οποιοδήποτε επιθυμητό χρώμα και διατηρώντας τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες με συμβατικές βαφές. Συγκριτικές μετρήσεις έναντι συμβατικών δαπεδοστρώσεων ίδιου χρώματος, παρουσιάζουν έως και 10° C χαμηλότερη θερμοκρασία. [10].

Οι ψυχροί κυβόλιθοι είναι ήδη διαθέσιμοι ως βιομηχανικό προϊόν. Οι επιλεγμένοι κυβόλιθοι παρουσιάζουν ανακλαστικότητα κοντά στο 0.68 και ικανότητα εκπομπής κοντά στο 0.9.

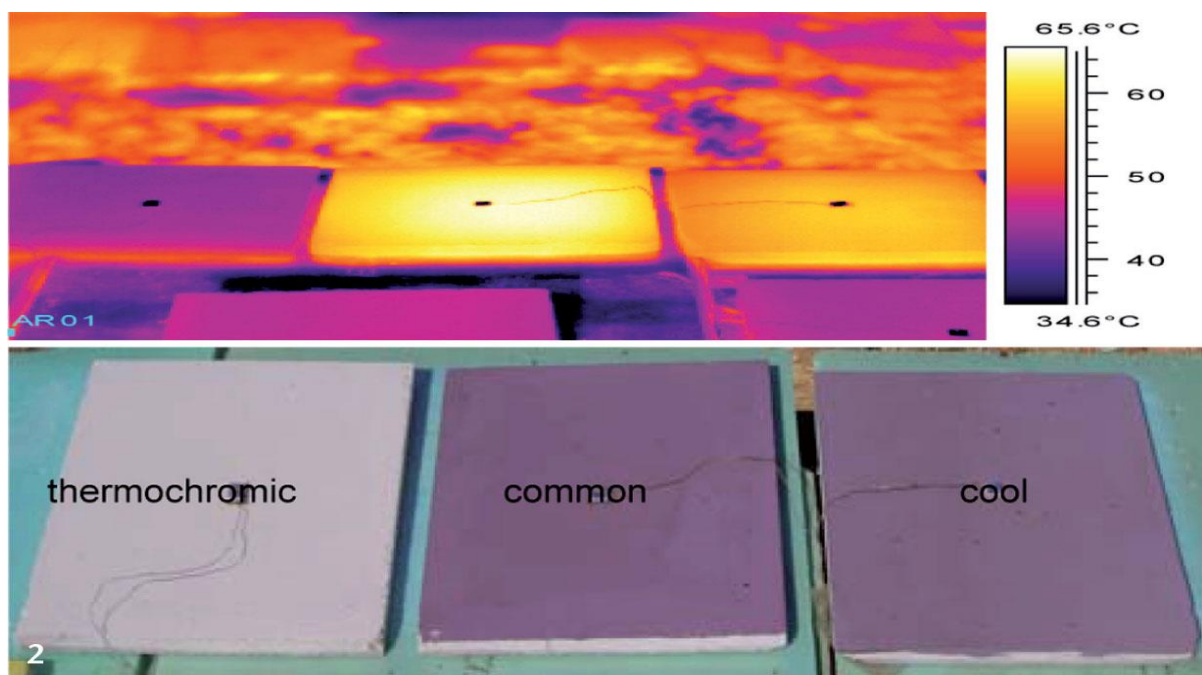
Ο όρος ψυχρή ασφαλτος αναφέρεται σε χρωματισμένη με ανοιχτές βαφές δαπεδόστρωση, η οποία παρουσιάζει πολύ υψηλότερη διάχυτη ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Παρά το γεγονός ότι τα συμβατικά προϊόντα μαύρης ασφάλτου διαθέτουν ανακλαστικότητα κοντά στο 5%, η αντίστοιχη τιμή για τα προϊόντα ψυχρής ασφάλτου ξεπερνά το 50%. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία της επιφάνειάς τους είναι σχεδόν 10° C χαμηλότερη σε σχέση με αυτή της κοινής μαύρης ασφάλτου.[10].



**Εικόνα 1.10 :** Ψυχρή ασφαλτος σε λεωφόρο στην περιοχή Ginza του Τόκιο [Πηγή : <http://www.pwri.go.jp/eng/about/pr/webmag/wm005/kenkyu.html>]

Φωτοκαταλυτικά υλικά, τα οποία περιέχουν  $\text{TiO}_2$ , προστίθενται στην επιφάνεια των δαπεδοστρώσεων για τη μείωση της ρύπανσης του αέρα η οποία προκύπτει κυρίως από την αυξημένη κίνηση των οχημάτων. Όταν το  $\text{TiO}_2$  ενεργοποιείται από το ηλιακό φως, μετατρέπει τους ρύπους σε περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα, τα οποία μπορούν να ξεπλυθούν/απομακρυνθούν από το νερό της βροχής. Επιπλέον τα υλικά αυτά ενσωματώνουν ιδιότητες αυτό-καθαρισμού/αποβολής των ακαθαρσιών που διατηρούν της επιφάνειες του αστικού περιβάλλοντος καθαρές. [10].

Μια άλλη κατηγορία ψυχρών υλικών είναι τα θερμοχρωμικά υλικά τα οποία αλλάζουν χρώμα ανάλογα με τη θερμοκρασία. Έτσι το χειμώνα είναι έγχρωμα ενώ το καλοκαίρι λευκά, παρουσιάζοντας, αντίστοιχα, μεγάλη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία τον χειμώνα και μεγάλη ανακλαστικότητα το καλοκαίρι.



**Εικόνα 1.11 :** Θερμοκρασιακές διαφορές θερμοχρωμικών, ψυχρών και κοινών επικαλύψεων καφέ χρώματος: φωτογραφίες στο ορατό (κάτω) και στο υπέρυθρο (πάνω).

[Πηγή : <http://buildinggreen.gr/thermochromika-ylika-ston-astiko-isto-gia-exoikonomisi-energeias/>]

Τέλος τα ψυχρά υλικά συσχετίζονται συχνά με τις "ψυχρές οροφές". Τα προϊόντα που εφαρμόζονται σε αυτές παρασκευάζονται από υλικά με υψηλή ανακλαστικότητα και ικανότητα εκπομπής, τα οποία διατηρούν περίπου 28 με 33°C χαμηλότερη θερμοκρασία, σε σχέση με συμβατικά υλικά, κατά την περίοδο αιχμής του καλοκαιριού.

Παρατηρήσεις σε βάθος χρόνου αποδεικνύουν πως η κατασκευή τέτοιων κτηρίων υψηλής ανακλαστικότητας, στην Αλμερία της Ισπανίας, οδήγησε στη μείωση της θερμοκρασίας κατά 0.3 K ανά δεκαετία. [10].

Μετρήσεις κατά τις τυπικές μέρες του καλοκαιριού, αποδεικνύουν πως οι ψυχρές στέγες συμβάλουν σε μείωση της ενεργειακής ανάγκης για κλιματισμό κατά 10–30% [11].

### 1.5.3 Παραδείγματα χρήσης ψυχρών υλικών.

Το ενδιαφέρον για μείωση της θερμοκρασίας αέρα και την δημιουργία θερμικής άνεσης για τον άνθρωπο στα αστικά κέντρα υπήρχε ανέκαθεν. Οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί αφορούν στην βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών με επέμβαση στον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο.

Σχεδόν 4500 τετραγωνικά μέτρα ψυχρών δαπεδοστρώσεων χρησιμοποιήθηκαν κατά την αποκατάσταση ενός μεγάλου αστικού πάρκου στην Αθήνα. Οι συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής προσομοιώθηκαν με τη χρήση προγραμμάτων υπολογιστικής ρευστομηχανικής, πριν και μετά την εγκατάσταση των νέων δαπεδοστρώσεων. Μετά την επικύρωση, μέσα από δύο σειρές συλλεγόμενων πειραματικών δεδομένων, πραγματοποιήθηκαν συγκριτικοί υπολογισμοί με και χωρίς τη χρήση ψυχρών δαπεδοστρώσεων. Αποδείχθηκε πως η εκτεταμένη εφαρμογή ανακλαστικών δαπεδοστρώσεων, κάτω από συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες, μία τυπική καλοκαιρινή ημέρα, μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα/της ατμόσφαιρας έως και 1.9° C, ενώ παρουσιάζουν χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας κατά περίπου 12° C. [10]

Επιπρόσθετα ο Rosenfeld et al. (1995) υπέθεσε μία αύξηση στη μέση ανακλαστικότητα, κατά 0.13-0.26 για μία περιοχή έκτασης 100,000 τετραγωνικών χιλιομέτρων στο Los Angeles. Υπολογίστηκε πως η μέγιστη επίδραση της μεταβολής της ανακλαστικότητας λαμβάνει χώρα νωρίς το απόγευμα, με δυνατότητα ψύξης που υπερβαίνει τους 3 βαθμούς K, στις 3:00 μμ. Εργασίες προσομοιώσεων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν υπό διαφορετικές οριακές συνθήκες, υπέδειξαν πως η αναμενόμενη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας, κατά τους θερινούς μήνες, κυμαίνεται από 2 έως 4K. [10].

### 1.6. Πεδίο Ανέμου.

Οι συνθήκες ανέμου 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.

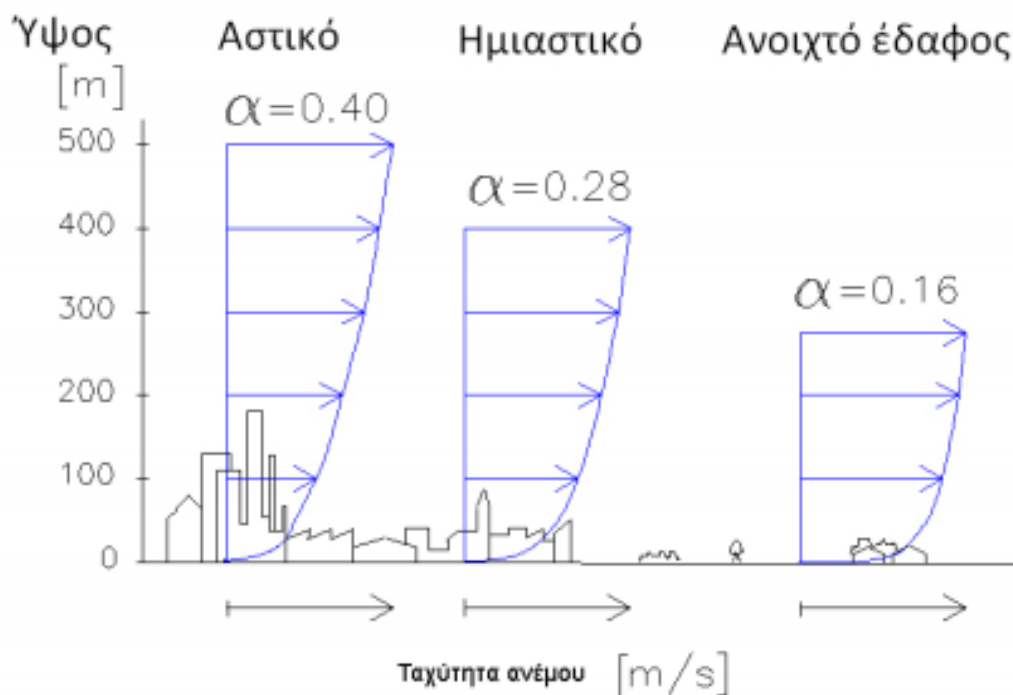
Ο άνεμος ποικίλει σημαντικά ως προς τη διεύθυνση και την ένταση και οι διαφοροποιήσεις μπορεί να είναι εποχιακές ή ετήσιες. Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, που προκαλείται από τα παγκόσμια καιρικά συστήματα, επηρεάζονται από την τοπολογία σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. [12].

Τα παραπάνω στοιχεία προσδιορίζονται με τη βοήθεια των μετεωρολογικών δεδομένων.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα μπορεί να είναι μετρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς, διορθωμένες για τις επιδράσεις του περιβάλλοντος χώρου, όπως δρόμοι, δάση και γειτονικά χωριά. Οι τιμές από τον εκάστοτε μετεωρολογικό σταθμό θα πρέπει να μεταφέρονται στο επίπεδο πόλης. [25].

Για την εκτίμηση του ανέμου σε επίπεδο μικροκλίματος είναι απαραίτητος ο συνδυασμός μετεωρολογικών δεδομένων με πληροφορία για την αστική μορφολογία και τον τύπο κάλυψης της επιφάνειας. (Εικόνα 1.12).





**Εικόνα 1.12 :** Κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου για τρεις διαφορετικές περιοχές. Η τραχύτητα ( $\alpha$ ) της επιφάνειας είναι μεγαλύτερη σε πυκνοδομημένη πόλη με ψηλά κτήρια [25].

Σε επίπεδο πόλης μία ορισμένη στάθμη ανέμου μπορεί να χαρακτηριστεί ως επιθυμητή η ανεπιθύμητη ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή.

Η περίπλοκη γεωμετρία των πόλεων και κυρίως τα ψηλά κτήρια και οι συνεχείς γραμμικές αστικές δομές δημιουργεί μεγάλες διακυμάνσεις στην κατεύθυνση του ανέμου καθώς και έντονα ρεύματα και στροβιλισμούς. Τέτοια φαινόμενα πρέπει να αποφεύγονται καθώς εντείνουν την μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής από τις θερμές επιφάνειες προς τον αέρα, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας. [25].

Σε επίπεδο βιοκλιματικού σχεδιασμού ενός συγκεκριμένου υπαίθριου χώρου οι επιθυμητές συνθήκες του ανέμου προσδιορίζονται από τη χρήση για την οποία προορίζεται, τη συγκέντρωση της ανθρώπινης δραστηριότητας και το χρόνο παραμονής του κόσμου σε αυτόν καθώς και από την εποχή κατά την οποία χρησιμοποιείται περισσότερο. [13].

## 1.7. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ.

### 1.7.1. Γενικά.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που ορίζει την κλιματική ποιότητα στους εξωτερικούς χώρους είναι η θερμική άνεση. Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση και όπως καθορίζεται από τα πρότυπα ISO 7730 και ASHRAE 55-92, θερμική άνεση για ένα άτομο ορίζεται «η κατάσταση του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον».

Εκτός από την αντίληψη του κρύου ή της ζέστης μέσω των θερμικών αισθητήρων του δέρματος, παράγοντες που συμβάλλουν στην θερμική αντίληψη του περιβάλλοντος είναι η ψυχολογική κατάσταση του ανθρώπου μέσα στον περιβάλλοντα χώρο( μια χαρακτηριστική μεταβλητή είναι η

ποιότητα του ήχου η οποία μπορεί να επηρεάσει θετικά και αρνητικά) καθώς και η φυσική δραστηριότητα του ατόμου.

Πιο συγκεκριμένα, οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση είναι:

- Περιβαλλοντικοί, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των επιφανειών, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του αέρα και η υγρασία.
- Οργανικοί, όπως το φύλο, η ηλικία και τα φυλετικά χαρακτηριστικά των ατόμων.
- Προσωπικοί, όπως το επίπεδο δραστηριότητας (σε σχέση με το μεταβολισμό), το είδος και ο βαθμός ένδυσης.

Όσον αφορά τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, η ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα ροής του. Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας εξαρτάται από τη μέση θερμοκρασία των γύρω επιφανειών η αλλιώς τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία και κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία που είναι η κύρια πηγή πρόσληψης θερμότητας μέσω ακτινοβολίας. Η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία σχετίζεται άμεσα με τον άνθρωπο, τη θέση και τον προσανατολισμό του στο χώρο, αλλά και τη στάση του σώματός του. Έτσι, η  $T_{MRT}$  μπορεί να διαφέρει ανάμεσα σε ένα άνθρωπο που στέκεται όρθιος, και σε κάποιον άλλο που κάθεται σε ένα δεδομένο σημείο του χώρου.

Για τον προσδιορισμό της χρησιμοποιούνται η θερμοκρασία μαύρης σφαίρας,  $T_g$  (°C), η θερμοκρασία αέρα,  $T_{air}$  (°C) και η ταχύτητα του αέρα,  $V_{air}$  (m/s). Η εξίσωση για τον υπολογισμό της είναι:

$$T_{MRT} = \left( (T_g + 273.15)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 V_{air}^{0.6}}{\varepsilon \times D^{0.4}} \times (T_g - T_{air}) \right)^{0.25} - 273.15$$

όπου:

D η διάμετρος της σφαίρας (mm) και

$\varepsilon$  η εκπεμπτικότητα της σφαίρας.

Γενικά, για να αισθάνεται κάποιος θερμικά άνετα σε ένα χώρο, θα πρέπει η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του αέρα και των περιβαλλουσών επιφανειών να μην ξεπερνά τους 3-4 °C, ανάλογα με τη θέση και το μέγεθος των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο αυτό, καθώς και την ικανότητα εκπομπής θερμότητας. [14].

Η υγρασία καθορίζει την ικανότητα αποθήκευσης υδατμών από τον αέρα.

Τα ανεκτά όρια υγρασίας κυμαίνονται στο 30 – 70 %. Η χαμηλή σχετική υγρασία του αέρα ενισχύει την αποβολή νερού από το ανθρώπινο σώμα (υπό τη μορφή ιδρώτα που εξατμίζεται), προκαλώντας έτσι μια αίσθηση δροσισμού. Παρατηρήθηκε πως υπήρξε μία έντονη μείωση στην ανοχή σε ψηλές θερμοκρασίες με προοδευτικά υγρές συνθήκες. Ωστόσο, η ανοχή σε υψηλές τιμές υγρασίας, κυμαινόμενης από 70-85%, έγινε αισθητή ακόμη και σε ήπιες συνθήκες, κοντά στη θερμοκρασία του δέρματος του ανθρώπινου σώματος.

Η σημαντική επίδραση της ροής του αέρα στην αξιολόγηση της άνεσης αποτέλεσε την επέκταση του ορίου της ανοχής της σχετικής υγρασίας, σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα, πάνω από 90%. Παρ' όλα αυτά, δεν υπήρξε αξιόλογη μεταβολή στην μέγιστη ανεκτή τιμή θερμοκρασίας σε σύγκριση με συνθήκες νημεμίας. [15].

Ακόμα έχει παρατηρηθεί πως με αυξανόμενη υγρασία η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του εδάφους και αυτής του αέρα μειώνεται σημαντικά, μαζί με μία αντίστοιχη ελάττωση της θερμικής άνεσης. Με άλλα λόγια σε ένα εύρος υψηλών τιμών υγρασίας, δηλαδή από 80 έως 95%, αυξάνεται αντίστοιχα η ευαισθησία στην αίσθηση της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας. [15].

Είναι αντιληπτό πως η θερμική άνεση είναι μία περίπλοκη παράμετρος ως προς τον υπολογισμό της αφού ποικίλει όσο τα άτομα μετακινούνται μέσα από σκιάσεις, απευθείας έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου, αλλά και ως προς το ίδιο το άτομο, τη διάρκεια παραμονής του στον εξωτερικό χώρο, το βαθμό συνήθειας του στις κλιματικές συνθήκες της περιοχής αλλά και το βαθμό ρουχισμού.

Είναι φυσικό λοιπόν οι τιμές της θερμοκρασίας θερμικής άνεσης να διαφέρουν από τόπο σε τόπο και εποχή σε εποχή. Παρ ' όλα αυτά οι περιβαλλοντικοί παράγοντες και ο συνδυασμός τους που ορίζουν τις περιοχές θερμικής άνεσης είναι ο ίδιος και η θερμοκρασία των επιφανειών του χώρου επηρεάζει από πολλές απόψεις. Σε πόλεις με ζεστά καλοκαίρια όπως είναι η Αθήνα είναι σημαντικό οι επιφανειακές θερμοκρασίες να παραμένουν χαμηλές ώστε να έχουμε περισσότερες περιοχές με ευνοϊκές για τον κόσμο συνθήκες.

Η βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη κάνει ένα δημόσιο χώρο περισσότερο ελκυστικό με αποτέλεσμα την αύξηση τόσο του αριθμού των επισκεπτών τους, όσο και τη διάρκεια παραμονής τους σε αυτόν. Το επίτευγμα αυτό έχει διπλό όφελος καθώς, ενισχύοντας την τοπική οικονομία, βελτιώνει την εικόνα και την ποιότητα ζωής της ευρύτερης περιοχής.

### **1.7.2. Δείκτες Θερμικής Άνεσης.**

Όπως έχουμε αναφέρει, 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.

Οι δείκτες αυτοί είναι: [14]

- Ο δείκτης Ισχύος Αποψύξεως (Cooling Power, CP) εκφράζει το ρυθμό της απώλειας θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος που διατηρείται στη θερμοκρασία των 36,5°C όταν η επιφάνεια αυτή εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα και είναι ένα μέτρο της ικανότητας του αέρα να αυξάνει την απώλεια θερμότητας από ένα ανθρώπινο σώμα.

- Ο δείκτης Αναμενόμενης Μέσης Αποδοχής (Predicted Mean Vote, PMV) είναι ένας δείκτης συσχέτισης μεταξύ της θερμικής άνεσης και του θερμικού αισθήματος. Ο δείκτης αυτός περιγράφεται με μια μαθηματική σχέση που συνδέει τα επίπεδα δραστηριότητας, ρουχισμού και περιβαλλοντικών παραμέτρων και ο προσδιορισμός του έγινε μετά από ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων.
- Ο δείκτης Φυσιολογικής Ισοδύναμης Θερμοκρασίας (Physiological Equivalent Temperature, PET) δίνει την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου του εξωτερικού περιβάλλοντος όταν το ισοζύγιο θερμότητας είναι πανομοιότυπο με αυτό ενός εσωτερικού χώρου. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, την θερμοκρασία αέρα, την ταχύτητα του ανέμου και την σχετική υγρασία.
- Ο δείκτης Κανονικής Ενεργού Θερμοκρασίας (Standard Effective Temperature, SET\*) συγκρίνει την φυσιολογική κατάσταση ενός ατόμου με ένα περιβάλλον αναφοράς.

Ο δείκτης Αναμενόμενης Μέσης Αποδοχής είναι ένας καλός δείκτης για την εκτίμηση της αίσθησης θερμικής άνεσης ενός ατόμου, όμως αγνοεί συγκεκριμένες συνθήκες που μπορεί να επιφέρουν δυσφορία, όπως πολύ υψηλές θερμοκρασίες εδάφους, σημαντική ασυμμετρία στην ακτινοβολία ή μεγάλες κατακόρυφες μεταβολές της θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με την ASRAE 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. Η μηδενική τιμή είναι αυτή στην οποία το άτομο αισθάνεται άνετα με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Ο δείκτης της Φυσιολογικής Ισοδύναμης Θερμοκρασίας ενδείκνυται για χρήση σε εξωτερικούς χώρους έναντι του δείκτη Κανονικής Ενεργού Θερμοκρασίας, αν και στηρίζεται στις ίδιες αρχές υπολογισμού.

Η σχέση του δείκτη PET με τον δείκτη PMV, την αντίληψη των θερμικών συνθηκών και τη φυσιολογική ένταση που προκαλείται από το θερμικό περιβάλλον σύμφωνα με τον Matzarakis (1999) παρουσιάζεται στον πίνακα 1.3 .

PMV	PET (°C)	Θερμική αντίληψη	βαθμός φυσιολογικής έντασης
-3.5	4	πολύ ψυχρή	ακραία ψυχρή ένταση
-2.5	8	ψυχρή	ισχυρή ψυχρή ένταση
-1.5	13	δροσερή	μέτρια ψυχρή ένταση
-0.5	18	ελαφρά δροσερή	ελαφριά ψυχρή ένταση
0.5	23	συνθήκες άνεσης	καμία θερμική ένταση
1.5	29	ελαφρά θερμή	ελαφριά θερμή ένταση
2.5	35	θερμή	μέτρια θερμή ένταση
3.5	41	ζεστή	ισχυρή θερμή ένταση
		πολύ ζεστή	ακραία θερμή ένταση

**Πίνακας 1.3 :** Εύρος των θερμικών δεικτών μέσης προβλεπόμενης ψήφου (PMV) και φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για διαφορετικούς βαθμούς θερμικής αντίληψης και φυσιολογικής έντασης αντίστοιχα, με σταθερό μεταβολισμό 80 W, και αντίσταση ένδυσης 0,9 clo. [Πηγή: Matzarakis, A., H. Mayer και M.G. Izionon. 1999. *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature*]

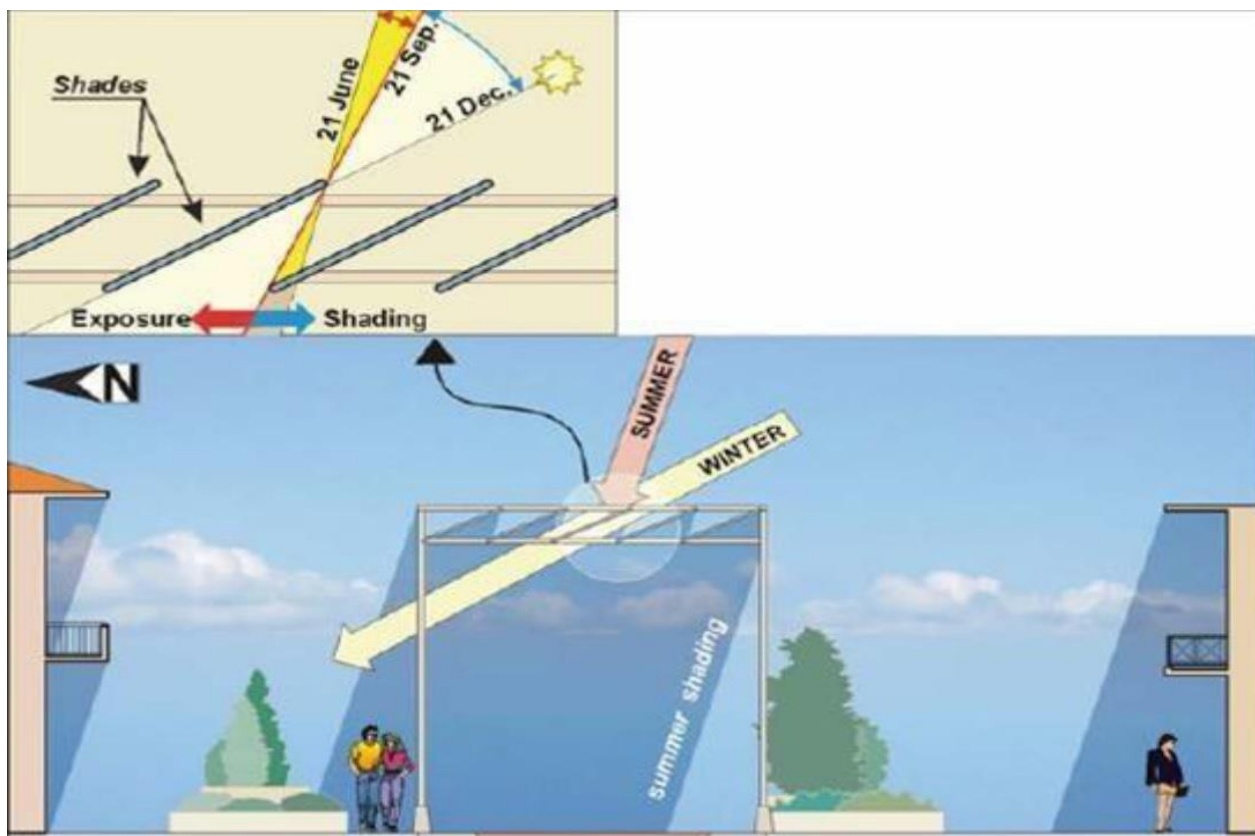
## 1.8. Βελτίωση Αστικού Μικροκλίματος.

### 1.8.1. Σκίαση.

Ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν αστικό χώρο είναι μια από τις κρίσιμότερες παραμέτρους ρύθμισης των μικροκλιματικών συνθηκών και αφορά, κατά κύριο λόγο, στην εξασφάλιση της απαιτούμενης σκίασης, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, συνδυαζόμενη με την εξασφάλιση ηλιασμού κατά τους χειμερινούς μήνες.

Η σκίαση επιτυγχάνεται με τη γεωμετρία των φυσικών και τεχνητών στοιχείων του χώρου, δηλαδή με:

- τη χρήση δέντρων,
- τη χρήση συστημάτων φύτευσης πάνω από το έδαφος (π.χ. πέργκολες),
- τη γεωμετρία των στοιχείων του αστικού ιστού (γύρω κτίρια κλπ.),
- αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις όπως στοές, στέγαστρα, τοιχία κλπ.,
- ειδικά συστήματα σκίασης συμπαγή ή περσιδωτά ή διάτρητα, σταθερά ή κινητά, τα οποία μπορεί να έχουν και άλλες χρήσεις (π.χ. φωτοβολταϊκά στέγαστρα ή στοιχεία αστικού εξοπλισμού, όπως στάσεις λεωφορείων, στεγασμένες θέσεις στάθμευσης).



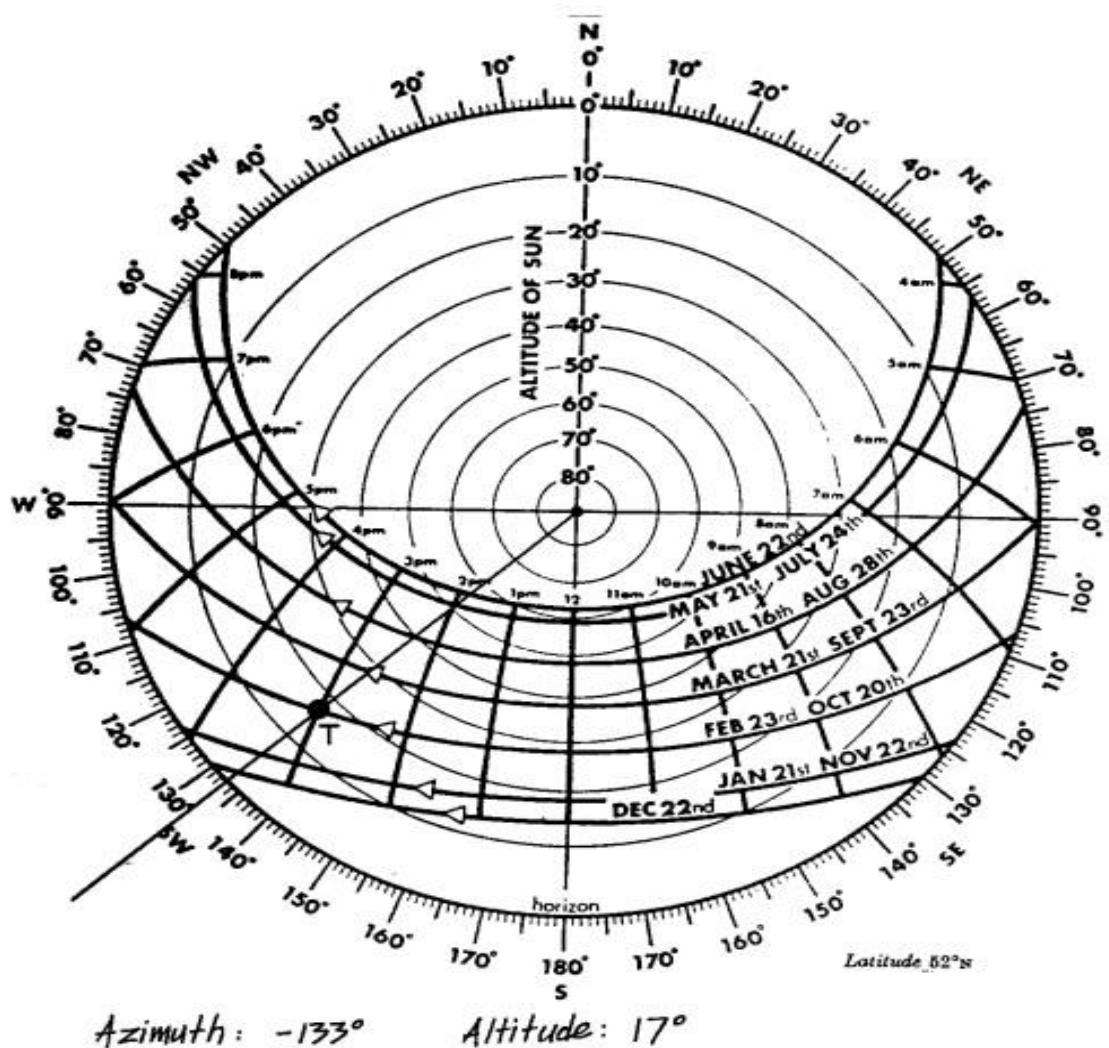
**Εικόνα 1.13 :** Οροφή με σκιάστρα νότιου προσανατολισμού τοποθετημένα σε κανονικές αποστάσεις ώστε να επιτρέπουν την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα μεταξύ τους εμποδίζοντας έτσι την υπερθέρμανση. Η κλίση τους επιτρέπει τη δίοδο της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα ενώ παρέχει πλήρη σκίαση το καλοκαίρι. [25].

Τα οφέλη της σκίασης είναι η μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας των σκιασμένων επιφανειών, με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας και την μείωση του ενεργειακού φορτίου των παρακείμενων κτιρίων και η σημαντική βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης ενός χώρου. [16].

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο ηλιασμός ενός χώρου προβαίνουμε στην παραδοχή των φαινόμενων τροχών του ηλίου, δηλαδή θεωρούμε ότι η γη παραμένει σταθερή ενώ ο ήλιος κινείται. Αυτή η παραδοχή διευκολύνει στη γεωμετρική απεικόνιση των φαινόμενων τροχών του ηλίου, οι οποίες ακολουθούν μία μεγάλη συνεχή σπείρα. Τα διαγράμματα αυτά ονομάζονται ηλιακοί χάρτες και η κάθε περιοχή ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της αντιστοιχεί σε έναν ηλιακό χάρτη. Η εκάστοτε θέση του ηλίου ορίζεται από τη γωνία αζιμούθιου και τη γωνία ύψους. [17].

Τα πολικά διαγράμματα (εικόνα 1.14) διευκολύνουν περισσότερο τη κατανόηση της κίνησης του Ήλιου σε σχέση π.χ. με τη κάτοψη ενός κτιρίου. Η ανάγνωση των διαγραμμάτων ξεκινά από τον εντοπισμό της επιθυμητής χρονικής στιγμής  $T$  στο πλέγμα των ημερήσιων & ωριαίων καμπυλών. Στα πολικά διαγράμματα, η ακτίνα που διέρχεται από το  $T$  δείχνει το αζιμούθιο στη περιμετρική κλίμακα. Η απόσταση του  $T$  από το κέντρο ορίζει το υψόμετρο με τη βοήθεια σχετικής κλίμακας πάνω σε μια ακτίνα. [18].





Εικόνα 1.14 : Πολικό ηλιακό διάγραμμα για περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 52° [18]

### 1.8.2. Βλάστηση.

Τα δέντρα και, εν γένει η βλάστηση, αποτελούν ίσως την καλύτερη μέθοδο σκιασμού καθώς, εκτός των άλλων περιβαλλοντικών οφελών που προσφέρουν, συνδυάζουν σκιασμό, εξάτμιση, διαπερατότητα του αέρα, θέα και, εν γένει, πολύ σημαντική συνεισφορά στη βελτίωση του μικροκλίματος.

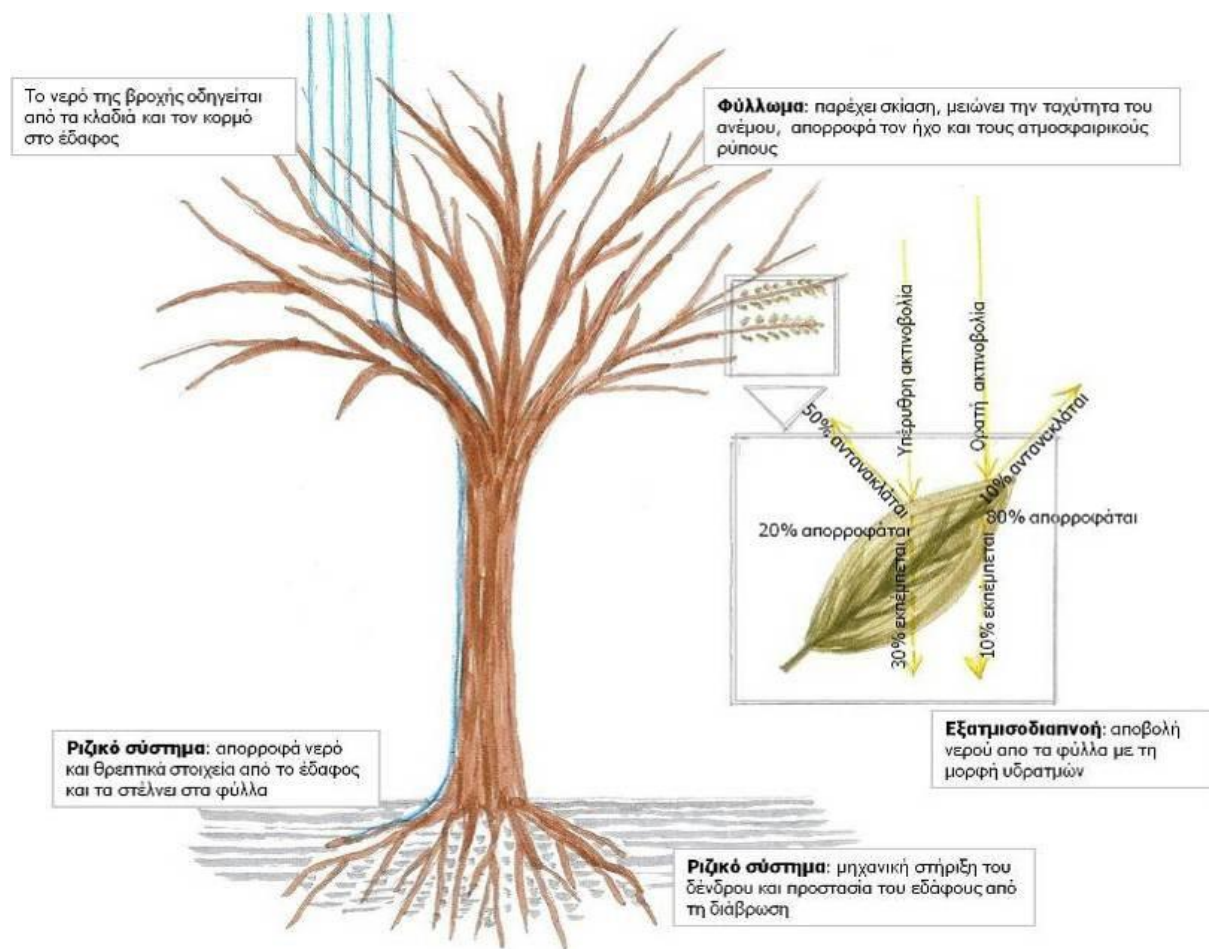
Τα φύλλα των δέντρων απορροφούν το 80% της εισερχόμενης ορατής ακτινοβολίας, αντανακλώντας συγχρόνως το 10% και εκπέμποντας το υπόλοιπο 10%.

Περίπου το 20% της υπέρυθρης ακτινοβολίας απορροφάται, ενώ το 50% αντανακλάται και το 30% εκπέμπεται. Συνολικά, το ποσοστό για την ορατή και την υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται είναι περίπου 50%, το ποσοστό που αντανακλάται 30% και μόνο το 20% εκπέμπεται. Συνεπώς όλα τα δέντρα μπορούν να φιλτράρουν περίπου το 80-90% της ακτινοβολίας, ανάλογα με το είδος και την πυκνότητα των φύλλων.

Επιπλέον, τα δένδρα, μέσω του μηχανισμού της εξατμισοδιαπνοής, αποβάλλουν από τα φύλλα νερό στο περιβάλλον, με τη μορφή υδρατμών, αυξάνοντας έτσι τη σχετική υγρασία κάτω από το φύλλωμά τους.

Η λανθάνουσα θερμότητα της εξατμισοδιαπνοής είναι πολύ μεγάλη (περίπου 2.324kJ/kg νερού). Η θερμότητα αυτή αντλείται από τον αέρα του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του. Σε ζεστά και ξηρά κλίματα η αύξηση της υγρασίας βελτιώνει την αίσθηση της θερμικής άνεσης το καλοκαίρι.

Τις θερμές καλοκαιρινές ημέρες, ένα δέντρο μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικό "air condition" παράγοντας μέχρι και 100 γαλόνια του νερού ημερησίως μειώνοντας έτσι την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. [25].

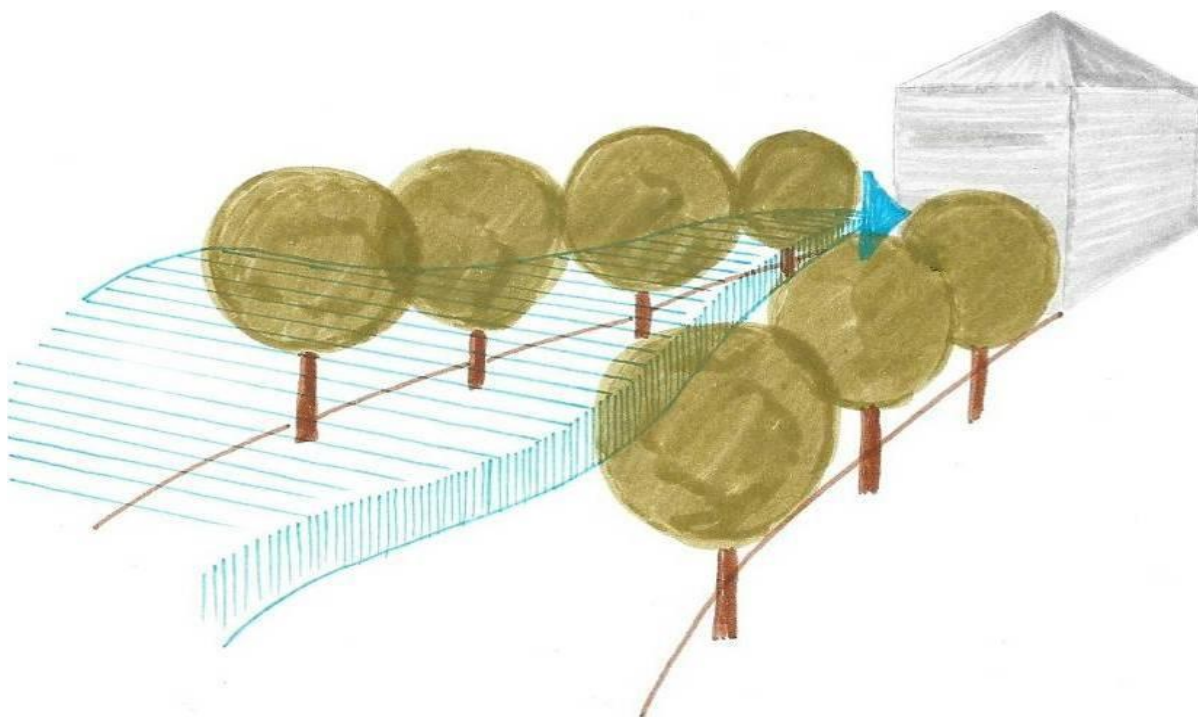


**Εικόνα 1.15 :** Χαρακτηριστικές λειτουργίες των δένδρων [25].

Ακόμη οι φυτεύσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των ροών του ανέμου. Οι φυτεύσεις μπορούν να ελέγξουν τον αέρα με την παρεμπόδιση, την διευθέτηση, την εκτροπή και τη διήθηση.

Συστάδες δέντρων μπορούν να κατευθύνουν τον αέρα προς ένα κτήριο. (Εικόνα 1.18).

Συνδυασμένη φύτευση δέντρων και θάμνων μπορεί να βελτιώσει την προστασία από τον χειμερινό αέρα ή να αυξήσει το δροσισμό από τον καλοκαιρινό αέρα.



**Εικόνα 1.16 :** Κατεύθυνση του αέρα προς το κτίριο μέσω συστάδων από φυλλοβόλα δέντρα [25].

Επιπλέον, η βλάστηση καθαρίζει τον αέρα με μηχανικό τρόπο, συγκρατώντας τη σκόνη από το φύλλωμα δέντρων και θάμνων. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να ελέγξει παθογόνους μικροοργανισμούς με την έκλυση βακτηριοκτόνων ουσιών από ορισμένα είδη φυτών (καρυδιά και διάφορα είδη κωνοφόρων).

Επίσης η βλάστηση μέσω του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης μπορεί να παράγει οξυγόνο που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η βλάστηση επίσης συμβάλλει στην πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών, και στη ρύθμιση της ροής των όμβριων.

Τέλος, η θέση, το ύψος, το πλάτος και η πυκνότητα της κόμης των φυτών είναι παράγοντες που μπορούν να ρυθμίσουν τον ήχο στο περιβάλλον. Η ικανότητά τους αυτή καθορίζεται και από την ένταση, τη συχνότητα και την κατεύθυνση του ήχου, μέσω των μηχανισμών της απορρόφησης, της ανάκλασης και της διάχυσης.

Συστάδες φυτών που συγκροτούνται από πολλά διαφορετικά είδη, προσφέρουν καλύτερη ηχοπροστασία, λόγω της διαφορετικής ικανότητας των διαφόρων ειδών στη μείωση χαμηλών, μέσων και υψηλών συχνοτήτων.

Συμπερασματικά, η προσεκτικά μελετημένη χωροθέτηση της φύτευσης και η επιλογή των καταλλήλων ειδών για τον αστικό χώρο είναι οι παράγοντες που θα καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο αυτά θα επηρεάσουν τις μικροκλιματικές συνθήκες του χώρου στον οποίο θα τοποθετηθούν.

Κατά το σχεδιασμό θα πρέπει η επιλογή των θέσεων φύτευσης να καθορίζεται σε σχέση με τα ύψη των γειτονικών κτηρίων, τα πλάτη των οδών, τα οπτικά χαρακτηριστικά των υλικών των εξωτερικών διαμορφώσεων και των όψεων των κτηρίων αλλά και σε σχέση με ήδη υπάρχουσες περιοχές πρασίνου, η συνέχιση-επέκταση των οποίων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση του μικροκλίματος μιας ευρείας αστικής περιοχής. [25].



### 1.8.3. Νερό

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 μίας πόλης. [9].

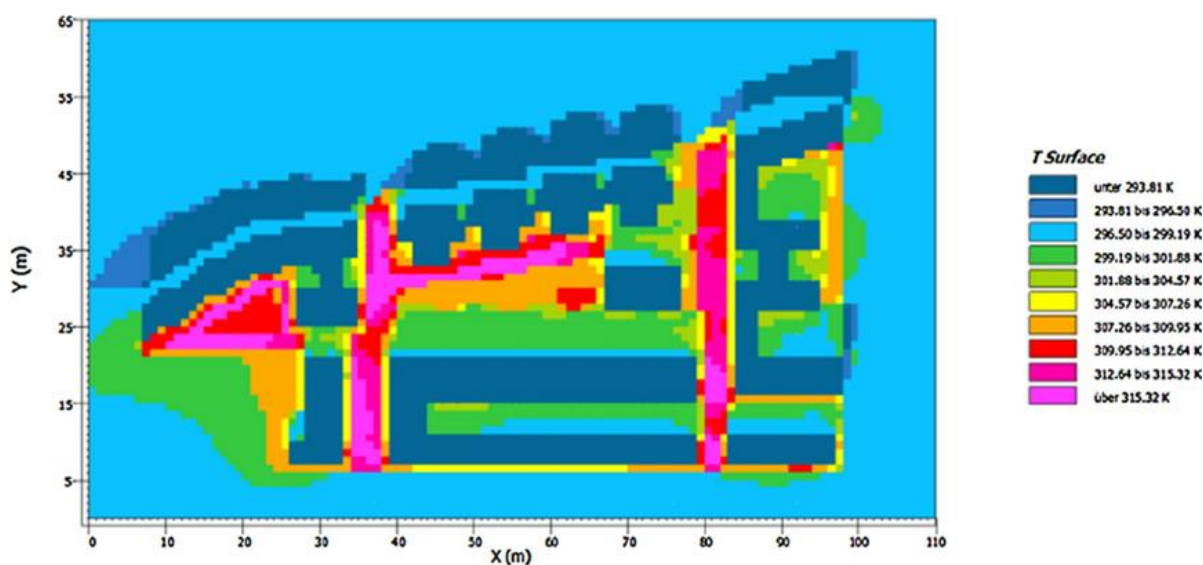
Μέσω της φυσικής διαδικασίας της εξάτμισης υδάτινες επιφάνειες, όπως αυτές σε λεπτά στρώματα τρεχούμενου νερού, καταρράκτες, λίμνες ή σιντριβάνια μπορούν να συνεισφέρουν στο δροσισμό του αέρα, ειδικά αν συνδυαστούν με τεχνικές αερισμού. Ακόμα ο ήχος του τρεχούμενου νερού σε δημόσιους ανοιχτούς χώρους όπως πάρκα και πλατείες, αποτελεί πόλο έλξης για τους χρήστες.



Εικόνα 1.17 : Στοιχείο νερού στον αστικό ιστό. Προσφέρει φυσικό δροσισμό, καλύπτει τοπικά την ηχορύπανση και συμβάλει στη βελτίωση της αισθητικής χαλαρώνοντας τους πολίτες.  
[Πηγή <http://landarchs.com/how-uptown-normal-started-an-economic-boom/>].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ENVI-met.

Η μελέτη της επίδρασης των περιβαλλοντικών δεικτών και των δομικών στοιχείων στο μικρόκλιμα της περιοχής κατά τη διάρκεια μίας μέρας μέσω μετρήσεων πεδίου απαιτεί τη χρήση πολλών διαφορετικών οργάνων και ανθρωπίνου δυναμικού. Π.χ. στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τραβήχτηκαν φωτογραφίες για 4 χαρακτηριστικές ώρες της ημέρας. Με τη χρήση του προγράμματος ENVI-met στοχεύουμε στη γρήγορη δημιουργία χαρτών που απεικονίζουν την επιφανειακή θερμοκρασία για κάθε ώρα της μέρας έτσι ώστε να μπορέσουμε να εξάγουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα της θερμοκρασιακής συμπεριφοράς των υλικών. Το μεγάλο πλεονέκτημα του ENVI-met έναντι άλλων προγραμμάτων που εξετάστηκαν για αυτή την εργασία είναι ότι παρέχει τιμές για κάθε ώρα σε κάθε κελί του κανάβου που σχεδιάστηκε, στοιχείο απαραίτητο μιας και οι τιμές των επιφανειακών θερμοκρασιών δεν ακολουθούν γραμμική ροή λόγω της απότομης μεταβολής στα δομικά υλικά. Ταυτόχρονα με τη βοήθεια του προγράμματος LEONARDO είναι δυνατή η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών ώστε να μπορούμε να προβούμε σε μία πιο άμεση σύγκριση με τις θερμικές φωτογραφίες αλλά και να έχουμε μια γρήγορα εικόνα του υπό μελέτη χώρου. (Εικόνα 2.1 ).



Εικόνα 2.1 : Χάρτης επιφανειακών θερμοκρασιών [Πηγή Leonardo]

### 2.1. Γενικά στοιχεία.

Το μοντέλο ENVI-met (environmental meteorology), προσομοιώνει μικρής κλίμακας αλληλεπιδράσεις μεταξύ ατμόσφαιρας, φυτοκάλυψης και αστικών δομών - επιφανειών.

Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο μη υδροστατικό αριθμητικό μοντέλο που μεταβάλλεται με το χρόνο, καθώς αναπαράγει τις φυσικές διαδικασίες της ατμόσφαιρας που επηρεάζουν το μικρόκλιμα (υγροδυναμική και θερμοδυναμική).

Έχει δυνατότητες πρόβλεψης της κίνησης των ανέμων και της μεταβλητότητας της ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

Το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη όλα τα αρχιτεκτονικά και δομικά στοιχεία μιας περιοχής, όπως κτίρια, φυσικά εμπόδια, ποσοστό φυτοκάλυψης, τύπος υλικών δόμησης και εδάφους, καθώς και τις μετεωρολογικές παραμέτρους.

Επίσης είναι δυνατή η προσομοίωση των αστικών δομών σε μεγάλη λεπτομέρεια, ενώ παράλληλα οι φυτικές μάζες αντιμετωπίζονται ολοκληρωτικά συμπεριλαμβάνοντας τα φαινόμενα της φωτοσύνθεσης και της διαπνοής.

Το μοντέλο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε μελέτες για την πρόβλεψη της θερμικής άνεσης κάτω από διαφορετικές προοπτικές σχεδιασμού των χώρων. Τα συνήθη πεδία εφαρμογής του είναι η αστική κλιματολογία, η αρχιτεκτονική των κτιρίων και ο περιβαλλοντικός αστικός-πολεοδομικός σχεδιασμός. [19].

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

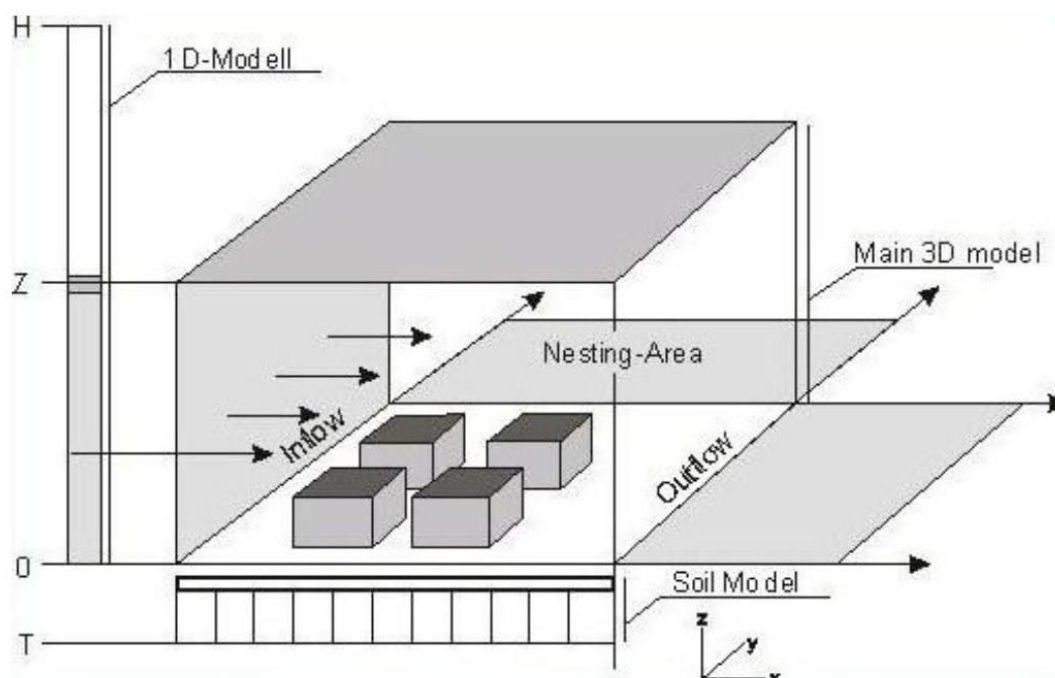
- Τη ροή ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους κύματος, λαμβάνοντας υπόψη και τη σκίαση.
- Την ανάκλαση ακτινοβολίας και την ακτινοβολία από τα κτίρια και τη βλάστηση.
- Τη διαπνοή, την εξάτμιση και την αισθητή ροή θερμότητας από τη βλάστηση στον αέρα, με πλήρη προσομοίωση όλων των φυσικών παραμέτρων των φυτών όπως, για παράδειγμα, ο ρυθμός φωτοσύνθεσης.
- Την επιφανειακή θερμοκρασία και αυτήν των τοίχων, για κάθε σημείο στον κάναβο και κάθε τοίχο.
- Την ανταλλαγή θερμότητας και νερού στην εδαφική μάζα.
- Βιομετεωρολογικές παραμέτρους, όπως η M.R.T. και ο δείκτης P.M.V.
- Τη διασπορά διαφόρων αερίων και σωματιδίων, καθώς και την απόθεση των τελευταίων στα φύλλα και στις επιφάνειες. [26].

Το ENVI-met βασίζεται σε υπολογισμούς ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics - C.F.D.), οι οποίοι χρησιμοποιούν αριθμητικές μεθόδους και αλγόριθμους για την επίλυση προβλημάτων ροής των ρευστών.

Έχει σχεδιαστεί για την ανάλυση του μικροκλίματος και της ποιότητας του τοπικού αέρα. Είναι σε θέση να επιλύει σύνθετες, τρισδιάστατες ροές (τυρβώδεις ροές κ.λπ.) υπολογίζοντας / παρέχοντας σύνθετες θερμοκρασιακές κατανομές, ποσοστά υγρασίας, ακτινοβολία μικρού και μεγάλου μήκους κύματος και συγκεντρώσεις αερίων και μικροσωματιδίων στον αέρα σε τοπική κλίμακα.

Επισημαίνεται ότι είναι σχεδιασμένο για προσομοιώσεις σε μικρή κλίμακα. Ως ένα C.F.D. μοντέλο, έχει υψηλές απαιτήσεις από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του υπολογιστή (Central Processing Unit - C.P.U.) και γι' αυτό οι προς προσομοίωση περιοχές και οι χρόνοι πρέπει να είναι περιορισμένοι. [19].

## 2.2 Γραφική απεικόνιση και δομή του μοντέλου ENVI-met.



Εικόνα 2.2 : Το μοντέλο ENVI-met [Πηγή ENVI-met].

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

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 χρησιμοποιώντας το αρχείο εισαγωγής περιοχής (Area Input File .IN).

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, το μικρό μέγεθος των κελιών 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.

Λόγω των περιορισμών που θέτουν οι επεξεργαστές και η διαθέσιμη μνήμη των κοινών H/Y, 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. Πιο συγκεκριμένα, ενώ για μια ακριβή προσομοίωση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο οριακό στρώμα είναι απαραίτητη η επέκταση του μοντέλου σε ύψος τουλάχιστον 2500 m, ένα μονοδιάστατο μοντέλο αναλαμβάνει τους υπολογισμούς από την κορυφή του τρισδιάστατου έως την κορυφή ολόκληρου του μοντέλου στα 2500 m. Εκτείνεται από το έδαφος έως τα 2500 m και παρέχει τιμές στην κορυφή του τρισδιάστατου μοντέλου. Επιπλέον, παρέχει το κατακόρυφο προφίλ όλων των



μεταβλητών για το όριο εισροής (Inflow Boundary) του τρισδιάστατου μοντέλου. Το τελευταίο ορίζεται ως το όριο στην προσήνεμη πλευρά του μοντέλου. [26].

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.

Τέλος, 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 2 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. Το εδαφικό μοντέλο είναι μονοδιάστατο εκτός από τη θέση (πρώτο κελί) ακριβώς κάτω από την εδαφική επιφάνεια, όπου η θερμοκρασία υπολογίζεται στις 3 διαστάσεις ώστε να αποφευχθούν μη ρεαλιστικές, με απότομη κλίση κατανομές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια. [26].

## **2.3 : Καινοτομίες του ENVI-met 4.**

### **2.3.1 Απόλυτη τρισδιάστατη σχεδίαση**

Η έκδοση 4.0 του Envi-met παρέχει τη δυνατότητα σχεδιασμού τρισδιάστατων μοντέλων.

Πλήρης τρισδιάστατη σχεδίαση σημαίνει πως οποιαδήποτε κατασκευή, όσο πολύπλοκη κι αν είναι, μπορεί να μοντελοποιηθεί στο Envi-met. Οι περιορισμοί από το παλαιό μοντέλο, όπως μόνο μία συνεταγμένη z κορυφής του μοντέλου και μία συνεταγμένη z βάσης του μοντέλου ανήκουν πλέον στο παρελθόν.

Ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει το 3D μοντέλο, όπως του αρέσει. Ωστόσο εξακολουθεί να υφίσταται η δέσμευση για τη χρήση μόνο ορθογωνικών συνεταγμένων, δηλαδή δεν μπορούν να δημιουργηθούν καμπύλα στοιχεία.



Εικόνα 2.3 : Περιβάλλον εργασίας του νέου editor [Πηγή ENVI-met].

Επιπλέον όπως φαίνεται στην εικόνα στην έκδοση ENVI-met 4 υπάρχει η δυνατότητα επιλογής διαφορετικών υλικών για τις προσόψεις των κτιρίων, στοιχείο που προσφέρει τη δυνατότητα για λεπτομερή απεικόνιση. [26].

### 2.3.2 Μοντέλο Βλάστησης (Albero).

Ένα βασικό πλεονέκτημα της νέας έκδοσης του προγράμματος έχει να κάνει με τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση του ρόλου των στοιχείων φύτευσης στην υπό μελέτη περιοχή.

Στην προηγούμενη έκδοχή του προγράμματος, η βλάστηση στο ENVI-met σχηματίζονταν από ένα σύνολο κελιών κανάβου με επιμέρους διαβαθμίσεις στην πυκνότητα τους, οι οποίες αναπαριστούσαν το φύλλωμά του. Αποτελούσαν γεωμετρικούς σχηματισμούς οι οποίοι δεν συνδέονταν με τις ιδιότητες του κάθε φυτού ως ζωντανού οργανισμού. Επιπλέον δεν υπήρχε η δυνατότητα ψηφιοποίησης της περιοχής που καταλαμβάνουν οι ρίζες ενός φυτού. Ως εκ τούτου ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί μία αντικειμενική ανάλυση της πρόσβασης του φυτού στον νερό και της ζωτικότητάς του.

Ενώ οι παραπάνω απλοποιήσεις ήταν επαρκώς ακριβείς για την προσομοίωση της επίδρασης της βλάστησης στο μικρόκλιμα, το πρόγραμμα δεν αντιμετώπιζε τα στοιχεία βλάστησης ως ζωντανούς οργανισμούς και δεν παρείχε πληροφορίες για τη ζωτικότητα και τις ανάγκες τους.

Για την αποφυγή του παραπάνω προβλήματος, υιοθετήθηκε ένα νέο μοντέλο, το οποίο επιτρέπει το άθροισμα και το συσχετισμό της κάθε διαδικασίας υπολογισμού από την κλίμακα του φύλλου μέχρι το σύνολο του μοντέλου. Επιπλέον εισάγεται η χρήση ενός τρισδιάστατου μοντέλου του ριζικού συστήματος, το οποίο επιτρέπει τον υπολογισμό των ακριβών αναγκών του κάθε φυτού σε νερό.

Με τη χρήση των παραπάνω εξελιγμένων εργαλείων καθίσταται δυνατή η αξιολόγηση των παραμέτρων της φύτευσης ως συνολικών συμπλεγμάτων μιας περιοχής φυλλώματος και μια περιοχής ριζών.

Για την αξιολόγηση του παραπάνω μοντέλου πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών προσομοιώσεις.

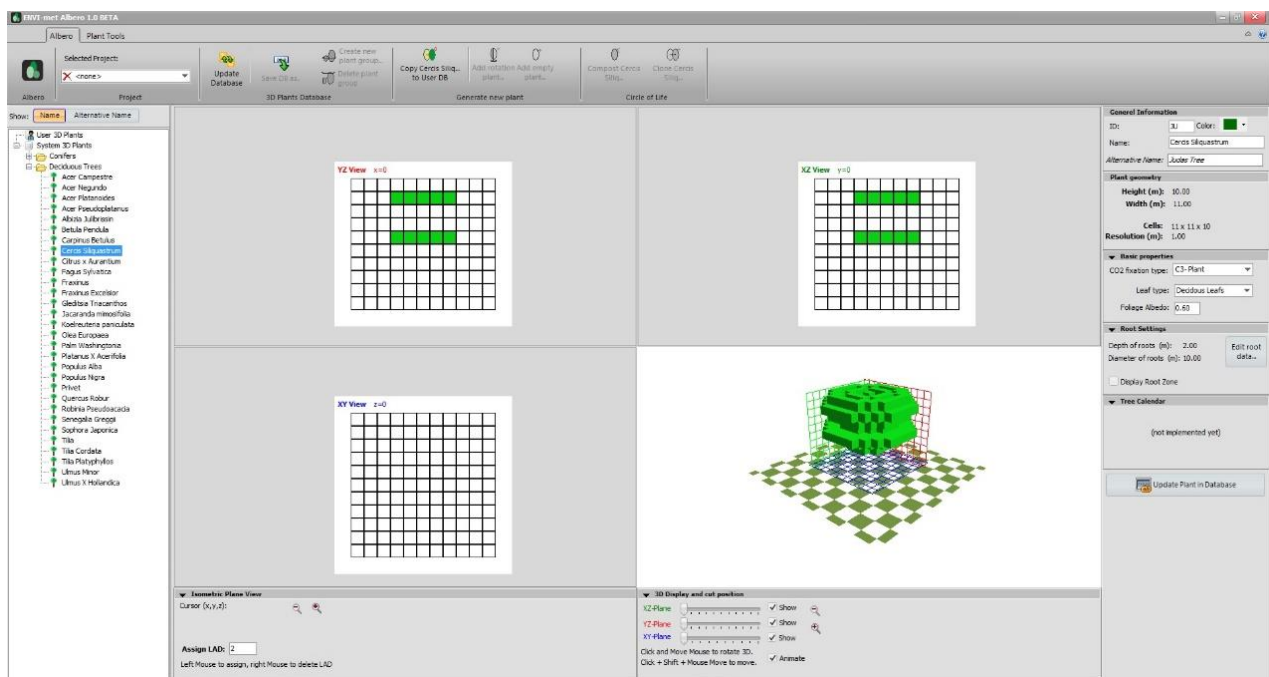
Η πρώτη ομάδα προσομοιώσεων εξέτασε την επιρροή των διαφορετικών γεωμετριών του φυλλώματος στο σύνολο των παραμέτρων που περιγράφουν το φυτό. Όπως ήταν αναμενόμενο αποδείχθηκε πως τα μεγαλύτερα δέντρα, με πλεονεκτική αναλογία εμβαδού και όγκου, είναι περισσότερο ανθεκτικά στις πιέσεις του περιβάλλοντος, σε σχέση με τις φυτεύσεις μικρής κλίμακας.

Η δεύτερη ομάδα προσομοιώσεων εξέτασε την επίδραση διαφορετικών μικροκλιμάτων στα φυτά, ως συμπλέγματα παραμέτρων.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων οδήγησαν στο συμπέρασμα πως τα συμπλέγματα φυτεύσεων βρίσκονται σε έντονη και διαρκή αλληλεπίδραση με το περιβάλλον στο οποίο εντάσσονται.

Επομένως, μέσα από τα πλεονεκτήματα του νέου μοντέλου, είναι πλέον εφικτός ο προσδιορισμός, όχι μόνο της επίδρασης των στοιχείων φύτευσης στο μικροκλίμα, αλλά και την επίδραση του μικροκλίματος στη ζωτικότητα του κάθε στοιχείου φύτευσης.

Είναι επομένως δυνατό να πραγματοποιήσουμε προσομοιώσεις της υγείας των φυτεύσεων και υπολογισμού του μέγιστου των πιέσεων του περιβάλλοντος που μπορούν να αντέξουν, στο μικροκλίμα μίας συγκεκριμένης περιοχής, χωρίς να χρειαστεί πραγματικά να φυτεύσουμε το δέντρο στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Επομένως είναι δυνατός ο προσδιορισμός του καλύτερου συνδυασμού ειδών φύτευσης και τοποθεσίας. [27].

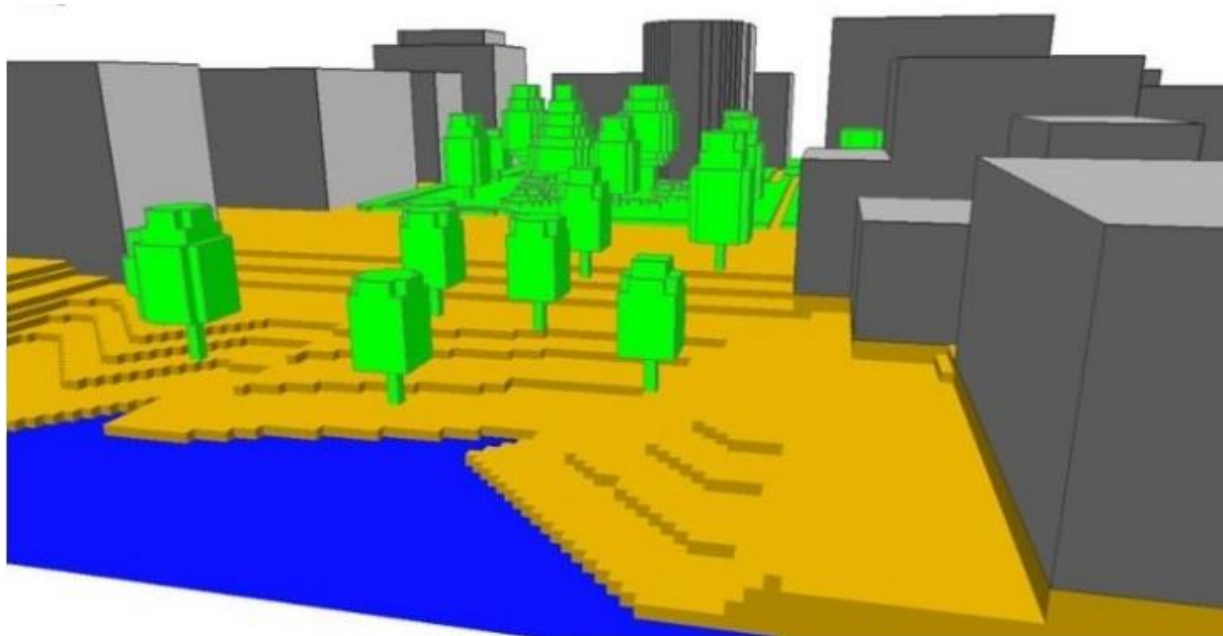


Εικόνα 2.4 : Editor βλάστησης (albero) [Πηγή ENVI-met].

### 2.3.3. Προσομοίωση του εδάφους.

Στις μέχρι τώρα εκδόσεις του Ενvi-met, οτιδήποτε υποτίθεται ότι εδραζόταν σε μια επίπεδη επιφάνεια.

Στην έκδοση 4.0 λαμβάνεται υπόψη και η τοπογραφία του εδάφους κατά την κατασκευή του μοντέλου. Η παρακάτω εικόνα δείχνει μια μοντελοποίηση του εδάφους στο Envi-met για την κατασκευή των αναβαθμίδων στο Αμβούργο στο πλαίσιο της ανάπλασης «Hamburg Hafen City Project». [20].



*Εικόνα 2.5 : Προσομοίωση εδάφους στο πλαίσιο του «Hamburg HafenCity Project» [19].*

## **2.4 : Ροή δεδομένων στο Envi-met.**

### **2.4.1. Δημιουργία αρχείου area input file.**

Το αρχείο εισόδου της περιοχής είναι ένα από τα βασικά αρχεία κατά την χρήση του ENVI-met.

Πιο συγκεκριμένα διευκρινίζεται η γεωμετρία του περιβάλλοντος του μοντέλου, όπως είναι τα φυτά, τα κτίρια και τα εδάφη.

Οι πληροφορίες που αποθηκεύονται στο αρχείο εισόδου της περιοχής είναι: [26].

- θέση και το ύψος των κτιρίων,
- θέση των φυτών,
- διανομή των υλικών επιφάνειας και οι τύποι εδάφους,
- θέση των πηγών.

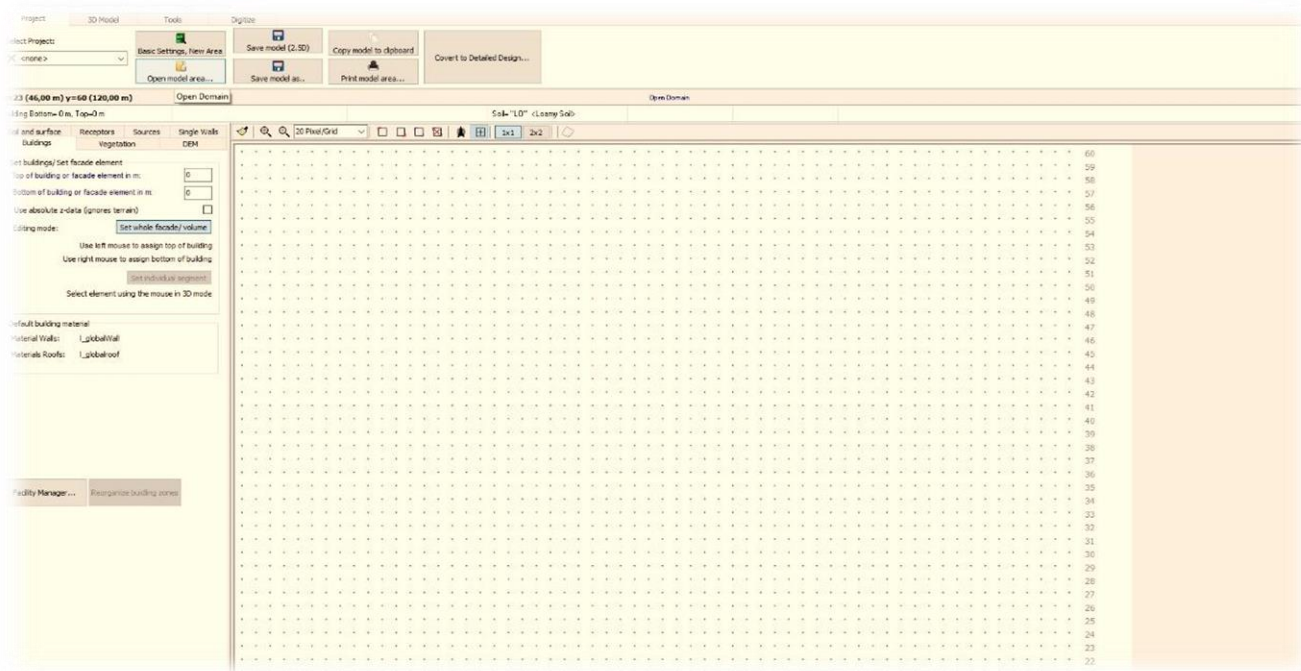
Το πρόγραμμα ENVI-met έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει την απελευθέρωση και τη διασπορά αερίων και σωματιδίων. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει να επιλεγούν οι πηγές (sources) στο αρχείο εισαγωγής περιοχής.

- θέση των υποδοχέων. Οι receptors (υποδοχείς) είναι επιλεγμένα σημεία στην περιοχή του μοντέλου, στα οποία οι διαδικασίες στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος παρακολουθούνται λεπτομερώς.

- συνδέσεις δεδομένων. Εδώ συμπεριλαμβάνονται σε βιβλιοθήκες-φακέλους κωδικοποιημένες οι πληροφορίες που αφορούν τα εδαφικά δεδομένα (Soils System Data) αλλά και τα δεδομένα βλάστησης (System 3D Plants).
- γεωγραφική θέση της τοποθεσίας στη γη.

Το μοντέλο περιλαμβάνει και τις τρεις διαστάσεις x, y και z.

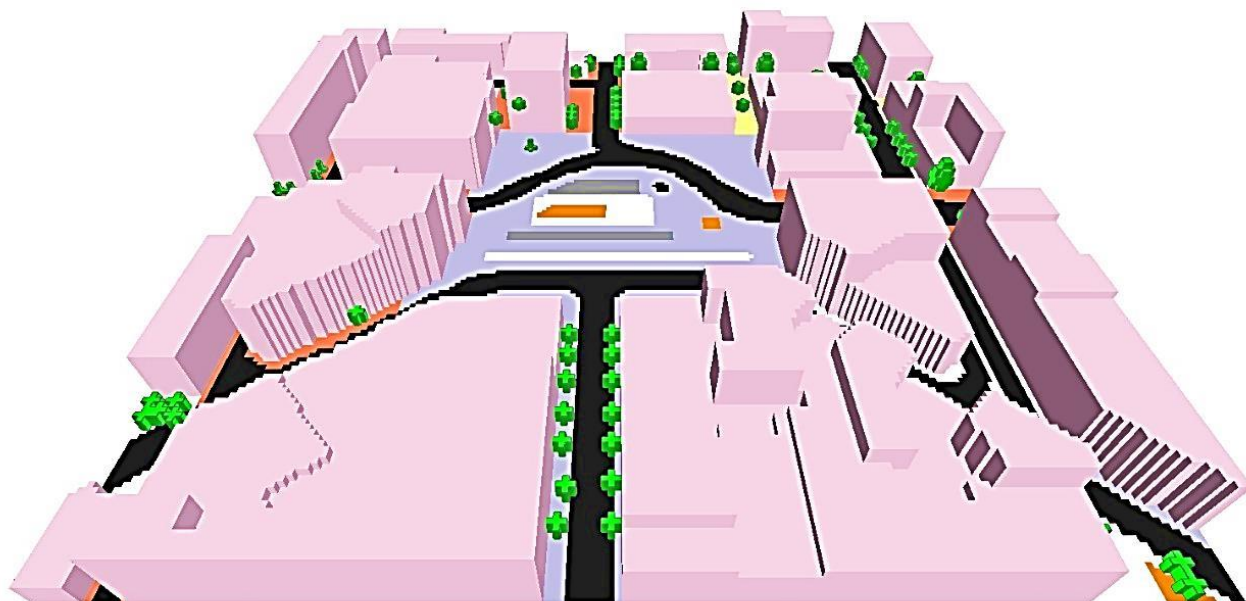
Ωστόσο, στο αρχείο εισόδου, που δουλεύουμε, φαίνονται μόνο οι δυο (x και y). Ο χώρος εργασίας του αρχείου εισόδου φαίνεται στην Εικόνα 2.5.



**Εικόνα 2.6 :** Area input file editor [Πηγή ENVI-met].

Η χωροθέτηση των κτιρίων, της βλάστησης και των υλικών επίστρωσης στις 3 διαστάσεις απεικονίζεται στην παρακάτω φωτογραφία.





**Εικόνα 2.7 :** Τελική τρισδιάστατη άποψη του υπό σχεδιασμού χώρου με τα μοντέλα της βλάστησης και επιφανειών [Πηγή : Προσωπική εργασία]

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ακόμα, ότι τα ποσά εισερχόμενης ακτινοβολίας καθορίζονται αυτόματα μέσω των γεωγραφικών συντεταγμένων της περιοχής μελέτης, οι οποίες ορίζονται κατά την δημιουργία των χαρακτηριστικών της κανάβου. (εικόνα 2.7) [26].

Change or create model Domain

Number of grids and nesting properties

**Model type: Detailed Design**

Main model area:

x-Grids: 200 y-Grids: 200 z-Grids: 20

Nesting grids around main area:

Nr of nesting grids: 20

Set soil profiles for nesting grids

Soil A: [00] Default Unseald Soil ("m do nc

Soil B: [00] Default Unseald Soil ("m do nc

Grid size and structure in main area

Size of grid cell in meter:

dx= 2.00 dy= 2.00 dz= 3.50 (base height)

Method of vertical grid generation:

☒ equidistant (all dz are equal except lowest grid box)

☐ telescoping (dz increases with height)

Telescoping factor (%): 0.00

Start telescoping after height (m): 0.00

Default Wall/ Roof Properties

Wall Material: [00] Concrete slab (hollow block, v

Roof Material: [00] Concrete slab (hollow block, v

Geographic Properties

**Model rotation out of grid north:** 10.20

**Location on earth**

Name of location: Athens/Greece v

Position on earth:

Latitude (deg. +N, -S): 37.59

Longitude (deg. -W, +E): 23.43

Reference time zone:

Name: GMT+2

Reference longitude: 30.00

**Georeference**

Co-ordinate of lower left grid

x-value: 0.00

y-value: 0.00

Reference system: <plane> v

Reference level above sea level for DEM=0: 60

Model area description: Omonoia 2015 Simulation

**Εικόνα 2.8 :** Παράθυρο για τη δημιουργία νέου η τροποποίηση υπάρχοντος αρχείου εισαγωγής περιοχής. [Πηγή : ENVI-met].

Πέραν της «κύριας» περιοχής του μοντέλου, η οποία ορίζεται στο input file, το ENVI-met δημιουργεί μια ζώνη δευτερευόντων κελιών γύρω από την πρώτη, ώστε να απομακρύνει τα όρια μακριά από την περιοχή ενδιαφέροντος και να ελαχιστοποιήσει την επιρροή τους στα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Κάθε αριθμητικό μοντέλο και ειδικά τρισδιάστατα μοντέλα όπως το ENVI-met, δε δουλεύουν αξιόπιστα στα όριά τους και στα κελιά κοντά σ' αυτά.

Έτσι, η καλύτερη λύση, στο πρόβλημα αυτό, είναι να απομακρυνθούν τα όρια όσο το δυνατόν περισσότερο από την περιοχή ενδιαφέροντος («πυρήνα» του μοντέλου). Όσο αυξάνεται το εύρος της ζώνης αυτής, τόσο μειώνεται η πιθανότητα να υπάρξουν αριθμητικά προβλήματα. Το ENVI-met θα ειδοποιεί το χρήστη μετά την πάροδο χρονικού διαστήματος 10 δευτερολέπτων σε περίπτωση που το πεδίο ροής είναι ασταθές, προτείνοντας την αύξηση του πλήθους των δευτερευόντων κελιών.

Σημειώνεται ότι είναι προκαθορισμένο τα δευτερεύοντα κελιά να μην συμπεριλαμβάνονται στα αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων (output files) και άρα δεν μπορούν να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα εκεί. [26].

Όσον αφορά στις πληροφορίες για το έδαφος στα δευτερεύοντα κελιά, καθώς αυτά δημιουργούνται αποκλειστικά στην εσωτερική μνήμη του προγράμματος, δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθούν εκεί κτίρια ή να τροποποιηθεί το εδαφικό προφίλ.

Για να καταστεί δυνατός ο καθορισμός ενός εδαφικού προφίλ στην δευτερεύουσα περιοχή (nesting area) το ENVI-met δημιουργεί ένα μοτίβο σκακιέρας (διάταξη ζατρικού) με δύο εδαφικά προφίλ, A και B. Αυτά μπορεί να αποτελούνται από το ίδιο είδος εδάφους ή από διαφορετικό. Για παράδειγμα, αν η περιοχή που περιβάλλει το μοντέλο αποτελείται από έναν συνδυασμό «φραγμένων» (δρόμοι) και ελεύθερων (π.χ. αργιλικών) επιφανειών, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια «φραγμένη» επιφάνεια για το εδαφικό προφίλ A και μια ελεύθερη επιφάνεια για το B.

Ένα άλλο θέμα που αφορά στην δευτερεύουσα περιοχή είναι αυτό της ακτινοβολίας. Καθώς δεν υπάρχουν κτίρια σε αυτήν, η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς καμία μείωση με αποτέλεσμα μια μη ρεαλιστική υπερεκτίμηση της επιφανειακής θερμοκρασίας, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μόνο «φραγμένες» επιφάνειες ως εδαφικό προφίλ.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος το ENVI-met μπορεί να χρησιμοποιήσει μέσες τιμές ακτινοβολίας από την περιοχή του «πυρήνα» του μοντέλου αντί των κανονικών ροών ακτινοβολίας στη δευτερεύουσα περιοχή. [26].

#### **2.4.2. Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης (Simulation File).**

Το αρχείο προσομοίωσης (Simulation File) καθορίζει τις ρυθμίσεις που χρειάζεται η προσομοίωση για να τρέξει, όπως για παράδειγμα, το όνομα του αρχείου εισαγωγής, το όνομα του αρχείου εξόδου ή τις μετεωρολογικές ρυθμίσεις.

Τα βασικά στοιχεία που περιέχει ένα αρχείο διαμόρφωσης είναι:

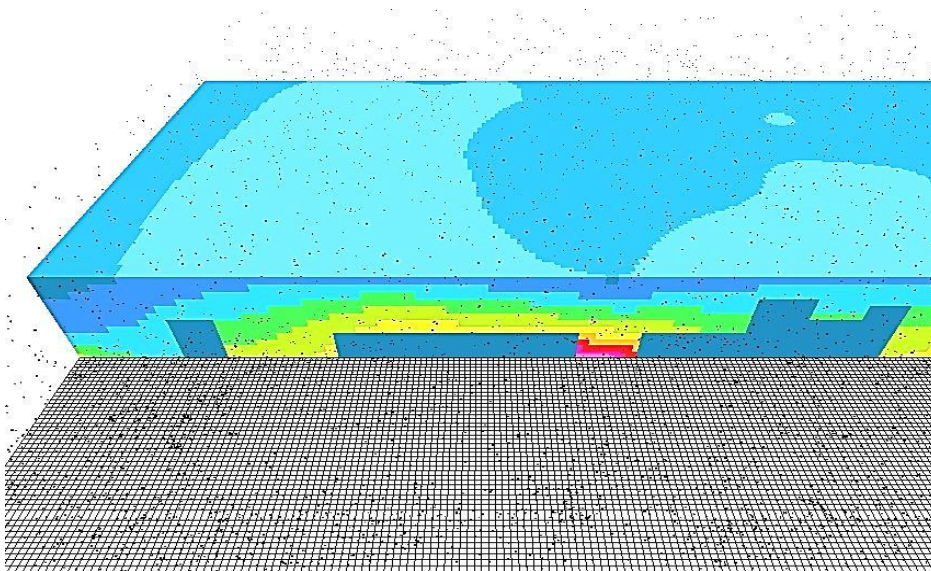
- Η ονομασία της προσομοίωσης,
- Το αρχείο εισαγωγής,
- Το όνομα του αρχείου που θα σταλούν τα αρχεία εξαγωγής και η ακριβής τοποθεσία του αρχείου,
- Η ημερομηνία έναρξης της προσομοίωσης,
- Ο συνολικός χρόνος που θα τρέξει η προσομοίωση,
- Το χρονικό Διάστημα που αποθηκεύει μετρήσεις το πρόγραμμα,

- Η ταχύτητα ανέμου 10m από το έδαφος,
- Η τραχύτητα,
- Η κατεύθυνση ανέμου,
- Η Αρχική θερμοκρασία της ατμόσφαιρας,
- Η ειδική υγρασία στα 2500m,
- Η σχετική υγρασία στα 2m,
- Η βάση δεδομένων των φυτών

### 2.4.3. Εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Το ENVI-met δημιουργεί σωρούς δεδομένων σε αρχεία τύπου EDX για κάθε προσομοίωση. Για να γίνει περιήγηση στα δεδομένα αυτά απαιτούνται ξεχωριστά προγράμματα.

Για την οπτικοποίηση λοιπόν των αποτελεσμάτων χρειάζεται ένα άλλο πρόγραμμα γραφικών. Ένα τέτοιο πρόγραμμα το οποίο οπτικοποιεί τα δεδομένα είναι το Leonardo το οποίο θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο



**Εικόνα 2.9 :** Τρισδιάστατη απεικόνιση της θερμοκρασίας του αέρα (με χρώματα) και της κίνησης του ανέμου (κουκίδες) [Πηγή : Προσωπική εργασία, Leonardo].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΟΜΟΝΟΙΑΣ.

### **3.1. Ιστορικά στοιχεία.**

Η πλατεία Ομόνοιας επιλέγεται ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εξέλιξης ενός αστικού δημόσιου χώρου. Πρόκειται για μία κεντρική πλατεία που επανασχεδιάζεται και αναδιαμορφώνεται διαρκώς, ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες που προκύπτουν, σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους. [21].

Τον 20ο αιώνα η πλατεία σηματοδοτεί το κέντρο της πρωτεύουσας, καθώς αποτελεί σημείο εκκίνησης των πρώτων μέσων μαζικής μεταφοράς, όπως είναι τα πρώτα ηλεκτροκίνητα τραμ. Μέσω του ηλεκτρικού σιδηρόδρομου η περιοχή συνδέεται με τον Πειραιά και τη Κηφισιά και με την τοποθέτηση του σταθμού (1930) μετατρέπεται σε συγκοινωνιακό κόμβο. Αποκτά έντονα αστικό χαρακτήρα και συνεπώς τα στοιχεία πρασίνου περιορίζονται σημαντικά. Στο κέντρο της κατασκευάζονται περίπτερα για τους ανθοπώλες και η είσοδος του ηλεκτρικού, ενώ περιμετρικά τοποθετούνται γλυπτά από σκυρόδεμα τα οποία λειτουργούν ως αεραγωγοί. (Εικόνα 3.1) [28].



**Εικόνα 3.1 :** Η πλατεία Ομόνοιας το 1930 [28]

Τη δεκαετία του 50, η αυξημένη χρήση του αυτοκινήτου ενισχύει ακόμη περισσότερο τα αστικά χαρακτηριστικά της πλατείας. Ο χώρος της περιβάλλεται από δρόμους με αποτέλεσμα τον περιορισμό του χώρου που προορίζεται για τους πεζούς.

Το 1960, η πλατεία διαμορφώνεται σε δύο επίπεδα. Στην επιφάνεια τοποθετείται τεχνητή λίμνη με σιντριβάνι, ενώ πιο χαμηλά, στη θέση του παλιού σταθμού, σχηματίζεται ένας μικρός υποβαθμισμένος χώρος.

Μέχρι το τέλος της χούντας, στα πλαίσια της αντιπαροχής και της ανοικοδόμησης, πολλά από τα νεοκλασικά αντικαθίστανται από κτίρια μοντέρνας αρχιτεκτονικής.

Τη δεκαετία του 90, η Ομόνοια αλλάζει και πάλι μορφή καθώς πραγματοποιούνται οικοδομικές εργασίες για τις ανάγκες του μετρό. Το υγρό στοιχείο (σιντριβάνι) αντικαθίσταται από στερεό υλικό.



Η τελευταία προσπάθεια ανάπλασης της Ομόνοιας πραγματοποιείται στα πλαίσια των έργων για τους Ολυμπιακούς αγώνες, όποτε κι η πλατεία παίρνει τη σημερινή της μορφή και μετατρέπεται ουσιαστικά σε οδικό κόμβο όπου το τσιμέντο πλέον κυριαρχεί. (Εικόνα 3.2).



**Εικόνα 3.2 :** Η πλατεία Ομόνοιας όπως την ξέρουμε σήμερα [28].

Η σημερινή μορφή και κατάσταση της πλατείας αποδεικνύουν την κρισιμότητα του ζητήματος διαχείρισης του δημοσίου χώρου.

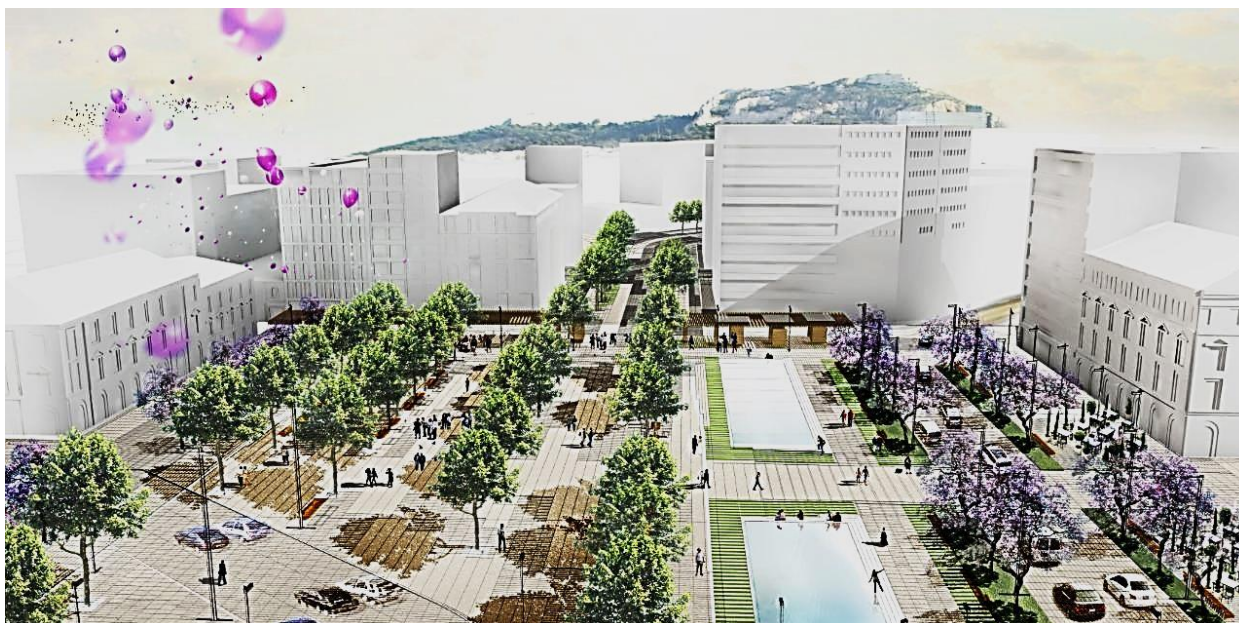
Στα πλαίσια διαλόγου για την αναβάθμιση του εμπορικού τριγώνου διεξήχθη ο αρχιτεκτονικός διαγωνισμός “rethink Athens”, που περιλαμβάνει την πλατεία Ομονοίας, εντάσσοντάς τη σε μια ευρύτερη αστική παρέμβαση με κεντρικό άξονα την οδό Πανεπιστημίου.

Η μελέτη που διακρίθηκε προβλέπει την τοποθέτηση φυτεύσεων και στοιχείων νερού στην πλατεία.[φωτογραφία].

Ως εκ τούτου, η υλοποίησή της θα μπορούσε να δημιουργήσει βιώσιμες συνθήκες στο χώρο της πλατείας. Ωστόσο δεν προβλέπεται να τεθεί σε εφαρμογή στο άμεσο μέλλον.

Η πλατεία Ομονοίας παραμένει σήμερα υποβαθμισμένη παρά το γεγονός ότι αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα σημεία αναφοράς της πόλης. [21], [28].



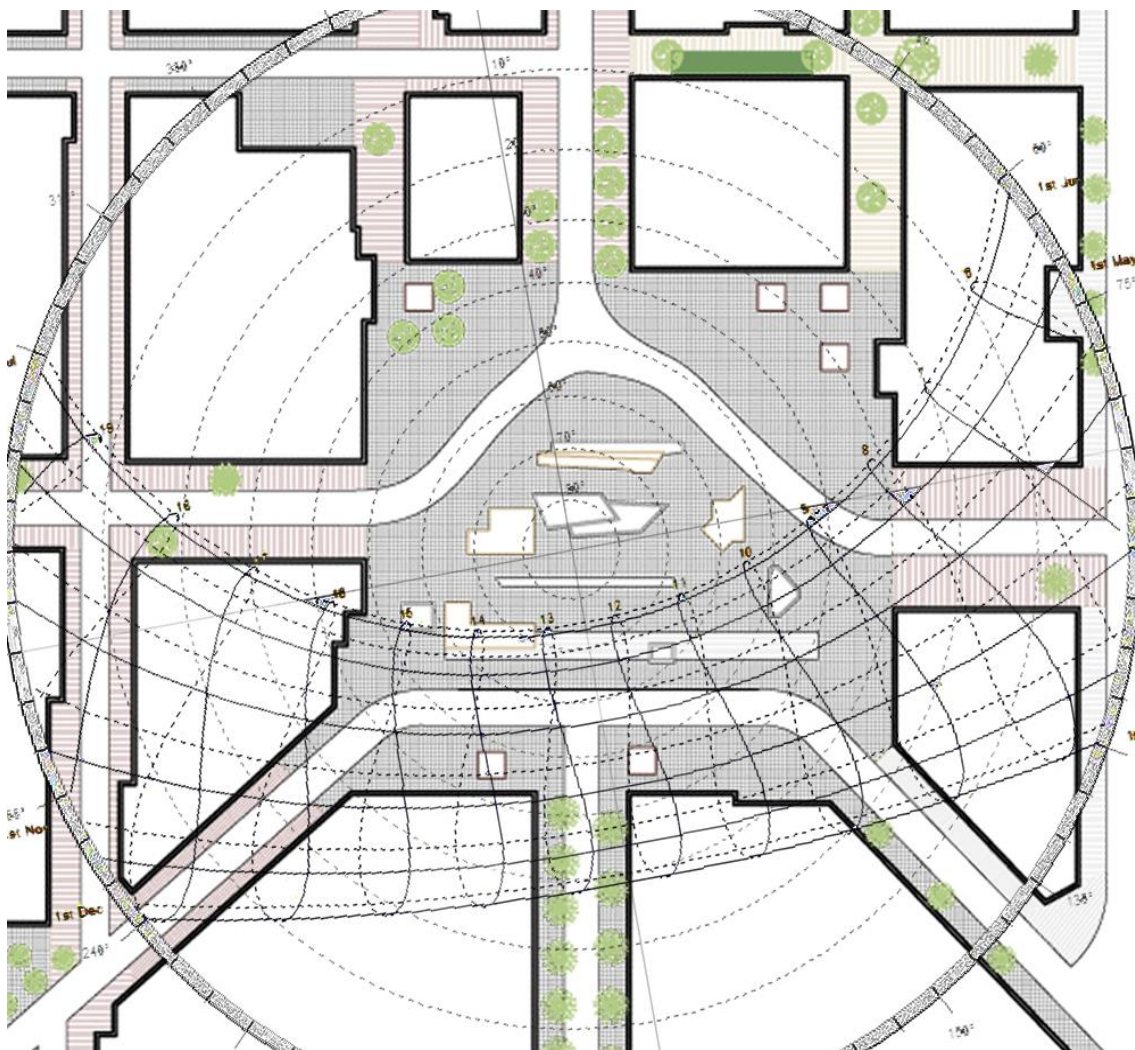


**Εικόνα 3.3 :** Η πρόταση των OKRA η οποία κέρδισε το διαγωνισμό του rethink athens. [Πηγή : Rethink Athens].

Η επιλογή της περιοχής της πλατείας ως χώρου μελέτης έγινε κυρίως για αυτό το λόγο. Πρόκειται για την κεντρική περιοχή που βρίσκεται μονίμως στο στόχαστρο αρνητικών συζητήσεων ως προς το μικρόκλίμά της και παράλληλα εντάσσεται συνεχώς σε σχέδια ανάπτυξης. Ακόμα παρουσιάζει μία μεγάλη ποικιλία αστικών οδικών χαραδρών καθώς ναι μεν αποτελεί κόμβο μερικών από τους κεντρικότερους δρόμους της Αθήνας, αλλά στη γύρω περιοχή συναντάμε στενούς δρόμους, αλλά και πεζόδρομους. Σίγουρο είναι ότι μελετώντας την πλατεία Ομόνοιας θα συναντήσουμε ένα μεγάλο εύρος επιφανειακών θερμοκρασιών.

### 3.2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.

Η πλατεία Ομόνοιας η οποία εντάσσεται στο Δήμο Αθηνών βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας σε υψόμετρο 60 μέτρων και σε γεωγραφικό πλάτος  $37^{\circ} 58' 42''$  N και γεωγραφικό μήκος  $23^{\circ} 42' 56''$  E. Η πλατεία απέχει περίπου 6,5 χιλιόμετρα από την κοντινότερη ακτή στα νότια και η περιοχή περιβάλλεται από τα όρη Αιγάλεω στα βορειοδυτικά Υμηττό στα νοτιοανατολικά και Πάρνηθα και Πεντέλη στα βόρεια. Η Γεωμορφολογία της Αθήνας θεωρείται ιδιαίτερη περίπτωση λόγω των Βουνών της που προκαλούν ένα φαινόμενο θερμοκρασιακής αναστροφής. Στον υπό εξέταση χώρο περιλαμβάνονται το κεντρικό μέρος της πλατείας Ομόνοιας και τα οικοδομικά τετράγωνα που οριοθετούνται από τις οδικές χαράδρες των οδών Αιόλου, Λυκούργου, Σωκράτους, Σατωβριάνδου και Πατησίων. Το σύστημα των δρόμων είναι ορθοκανονικό και ο άξονας της (3ης Σεπτεμβρίου – Αθηνάς) σχηματίζει γωνία  $10.20$  μοιρών με το Βορά. Μόνο οι οδοί Σταδίου και Πειραιώς σχηματίζουν οδικές χαράδρες υπό γωνία. Το ηλιακό διάγραμμα, με το οποίο προσδιορίζεται η θέση του ηλίου ανά πάσα στιγμή και ο προσανατολισμός των σκιάσεων δίνεται στην Εικόνα 3.3.



**Εικόνα 3.4 :** Ηλιακό διάγραμμα για το γεωγραφικό πλάνος της Αττικής προσαρμοσμένο πάνω στο χάρτη της πλατείας. Ο χώρος υπό μελέτη θεωρείται το κέντρο του χάρτη. Για τον προσανατολισμό των σκιάσεων ενώνουμε τη θέση του ηλίου με το κέντρο και η σκιά πέφτει πάνω σε αυτή τη διεύθυνση στο άλλο ημικύκλιο. Στη συνέχεια μεταφέρουμε σε επίπεδο πόλης [Πηγή : Προσωπική εργασία, Ηλιακό διάγραμμα]].

### 3.3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.

Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην Αττική μπορούν με καλή προσέγγιση να περιγράψουν το τοπικό κλίμα της περιοχής ενδιαφέροντος, δηλαδή του κέντρου της Αθήνας

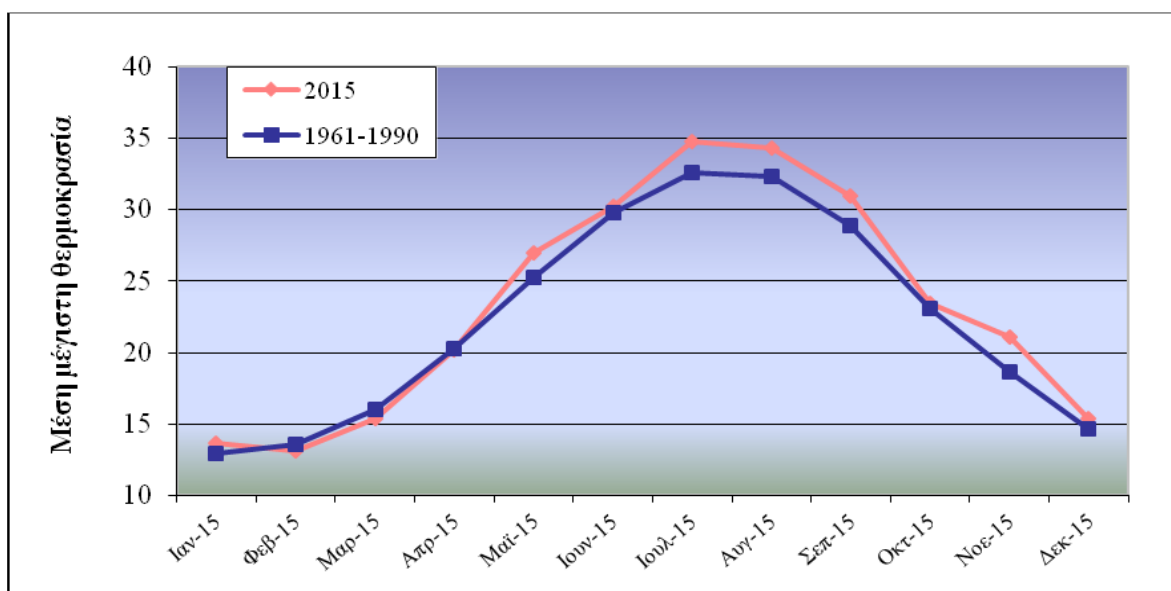
Όπως αναφέρθηκε το κλίμα εντάσσεται στο μεσογειακό τύπο και χαρακτηρίζεται από ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Οι νεφώσεις είναι σπάνιες και μικρής διάρκειας, ακόμα και κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ οι ηλιόλουστες μέρες αποτελούν πολύ συχνό φαινόμενο. Βροχές σημειώνονται συνήθως από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο, με το ετήσιο ύψος βροχής να είναι πολύ χαμηλό και να κυμαίνεται από 40mm έως 500mm. (πίνακας 3.1 ). Τους μήνες του καλοκαιριού οι θερμοκρασίες φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα και συχνά επικρατεί καύσωνας, με τιμές θερμοκρασίες που ξεπερνάνε τους 40 ° C.

Η ξηρότητα είναι ακόμα ένα στοιχείο που χαρακτηρίζει το κλίμα της Αττικής. Η μέση ετήσια υγρασία υπολογίζεται περίπου στο 62,3 %. Τέλος όσον αφορά τους ανέμους που πνέουν στην περιοχή της Αττικής, επικρατούν κυρίως οι βόρειοι-βορειοανατολικοί άνεμοι ενώ συχνοί είναι και οι νότιο - νοτιοδυτικοί.

Τα Μελέτμια, οι εποχιακοί βορειοανατολικοί άνεμοι που ασκούν ευεργετική επίδραση σε όλη την ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα και το Αιγαίο αποτελούν στοιχείο του κλίματος της Αττικής για την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου. [30].

Μήνας	Συνήθης Διακύμανση Θερμοκρασίας (°C)	Μέση Σχετική Υγρασία (%)	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Ημέρες με Βροχή	Μέση Ημερήσια Ηλιοφάνεια (Ωρες)
Ιανουάριος	6.5 - 12.9	72	44.6	13	4.5
Φεβρουάριος	6.9 - 13.6	71	48.3	13	5.1
Μάρτιος	8.4 - 16.0	68	42.6	11	6.0
Απρίλιος	11.6 - 20.3	62	28.2	10	8.0
Μάιος	15.4 - 25.3	58	17.2	7	9.8
Ιούνιος	20.1 - 29.8	52	9.7	5	11.4
Ιούλιος	22.5 - 32.6	48	4.2	2	12.1
Αύγουστος	22.3 - 32.3	49	4.6	2	11.5
Σεπτέμβριος	19.2 - 28.9	56	11.9	3	9.4
Οκτώβριος	14.9 - 23.1	66	47.7	9	7.0
Νοέμβριος	11.4 - 18.6	73	50.6	11	5.5
Δεκέμβριος	8.3 - 14.7	73	66.6	13	4.4

**Πίνακας 3.1 :** Κλιματικά δεδομένα για την Αθήνα σύμφωνα με το Εθνικό αστεροσκοπείο Αθηνών [Πηγή [www.meteo.gr](http://www.meteo.gr) (2012)].



**Πίνακας 3.2 :** Διαφορά θερμοκρασίας με τα προηγούμενα χρόνια [Πηγή [www.meteo.gr](http://www.meteo.gr) ].





Η συγκεκριμένη μας δίνει τη δυνατότητα καταγραφής του θερμοκρασιακού φάσματος επιφανειών απλώς τραβώντας «θερμικές φωτογραφίες» πάνω τους.

Οι φωτογραφίες αυτές παρουσιάζουν τις επιφάνειες λήψης με διάφορα χρώματα αναλόγως με την διακύμανση της θερμοκρασίας, ενώ στο δεξιό μέρος των φωτογραφιών παρατίθεται και η θερμική κλίμακα των χρωμάτων και η ημερομηνία και ώρα λήψης της φωτογραφίας.

Η χρήση της κάμερας είναι πολύ απλή (μοιάζει με απλή φωτογραφική μηχανή) ενώ παρέχει διάφορες δυνατότητες όπως π.χ. αυτόματη εστίαση στο θερμότερο ή ψυχρότερο σημείο της λήψης, χειροκίνητη εστίαση κλπ.

## **4.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.**

### **4.2.1. Προεργασία Μετρήσεων.**

Το πλάνο που ακολουθήθηκε για την καταγραφή των επιφανειακών θερμοκρασιών και την κατηγοριοποίησή τους ήταν το εξής.

Θερμικές μετρήσεις θα πραγματοποιούνται τις ώρες 8.00 π.μ. , 12.00 μ.μ. , 4.00 μ.μ. και 8.00 μ.μ. (7.30 μ.μ. ) για τις μέρες 9 – 10 – 11 - 12 Ιουλίου του έτους 2015. Οι ώρες αυτές θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές για την απεικόνιση της θερμοκρασιακής διακύμανσης των υλικών μέσα στη διάρκεια της μέρας και οι ημερομηνίες και οι κλιματικές συνθήκες ενδεικτικές μίας μέσης καλοκαιρινής ημέρας στο κέντρο της Αθήνας.

Με το πέρας των μετρήσεων θα λαμβάνονται από το [www.meteo.gr](http://www.meteo.gr) από τον μετεωρολογικό σταθμό του κέντρου της Αθήνας, ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή Γκάζι σε υψόμετρο 50 μέτρων, οι τιμές της θερμοκρασίας, της ταχύτητας και προσανατολισμού του ανέμου και της σχετικής υγρασίας για τις ώρες της ημέρας ώστε να έχουμε μια αρκετά καλή εικόνα του κλίματος.

Στη συνέχεια οι μετρήσεις αυτές θα αποτελέσουν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσουμε για τη δημιουργία του αρχείου προσομοίωσης στο ENVI-met.

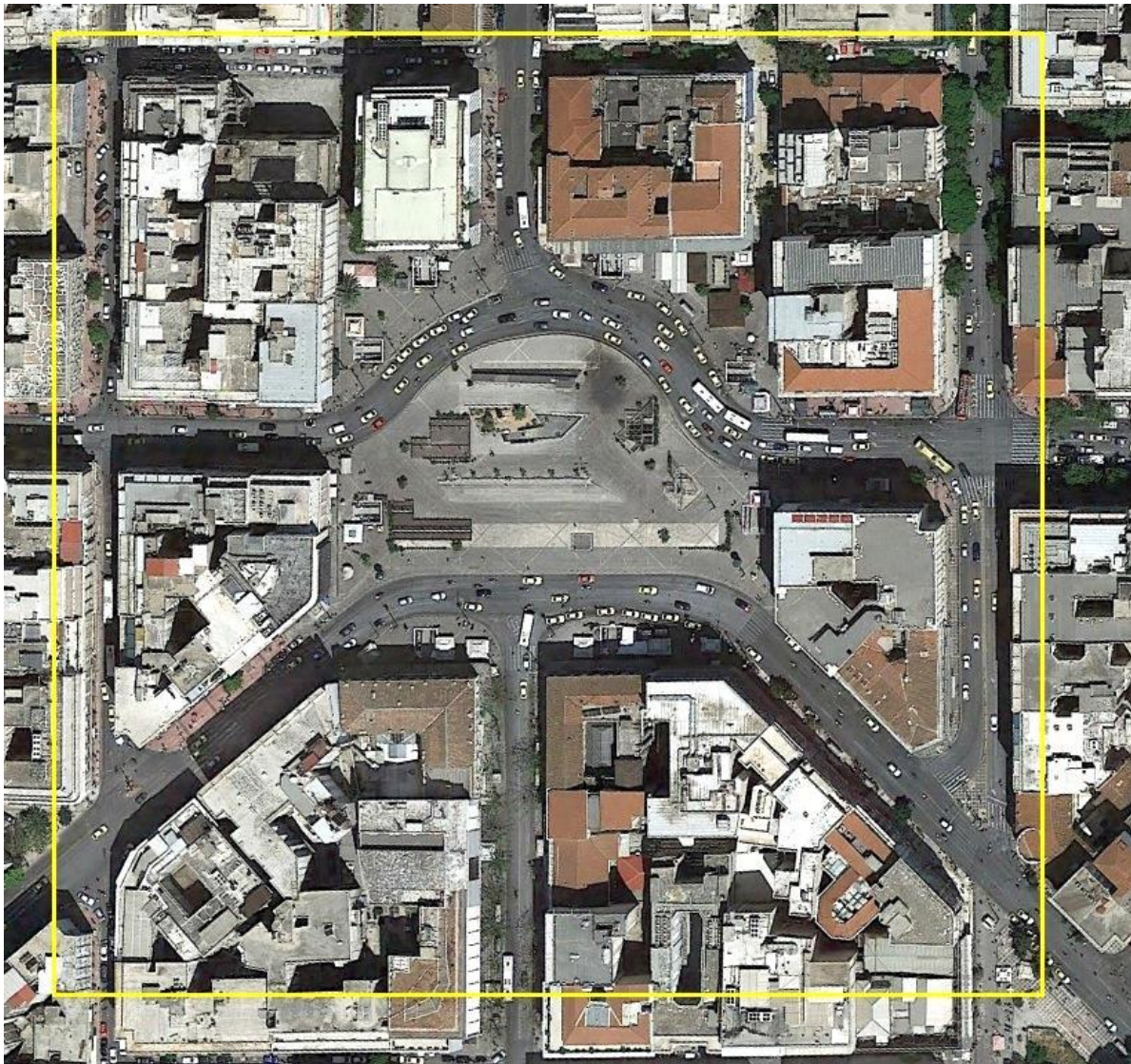
Κύριοι στόχοι της διαδικασίας των μετρήσεων ήταν:

- 1) Η σάρωση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης επιφάνειας των δρόμων, των πεζοδρομίων και των κτηρίων σε λιγότερες από 170 περίπου φωτογραφίες την κάθε ώρα που είναι το όριο μνήμης της κάμερας.
- 2) Η ταχεία λήψη των φωτογραφιών ώστε η απόκλιση από την ώρα μελέτης να είναι η ελάχιστη.
- 3) Το μονοπάτι που θα ακολουθηθεί να είναι ευδιάκριτο και συνεχές ώστε η αντιστοίχιση της θερμικής φωτογραφίας με την περιοχή της να είναι εφικτή.



#### 4.2.2. Λήψη θερμικών φωτογραφιών.

Στην εικόνα 4.2 παρουσιάζεται σε κίτρινο πλαίσιο η περιοχή μελέτης.



**Εικόνα 4.2 :** Η περιοχή μελέτης [Πηγή : Google Earth].

Η εκκίνηση της πορείας φωτογράφησης έγινε από τον χώρο της πλατείας.

Από εκεί φωτογραφήθηκαν οι οδικές χαράδρες των δρόμων που διέρχονται ή καταλήγουν στην πλατεία. Η πρώτη φωτογράφιση ήταν της οδού Σταδίου (Εικόνα 4.3, σημείο S) και έπειτα κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού φωτογραφήθηκαν οι Οδοί Αθηνάς, Πειραιώς, Αγ. Κωνσταντίνου, 3ης Σεπτεμβρίου και Πανεπιστημίου. Στη συνέχεια ακολουθήθηκε περιμετρική διαδρομή και φωτογραφήθηκαν με τη σειρά οι οδοί Πατησίων, Αιόλου, Σωκράτους, Σατωβριάνδου και των κάθετων σε αυτή πεζόδρομων. Η πορεία αυτή που φαίνεται με τα μαύρα βελάκια στην εικόνα 4.3 θεωρήθηκε και η ταχύτερη πορεία φωτογράφησης, καθώς φωτογραφήθηκε μεγάλο μέρος των συνολικών επιφανειών από τον χώρο της πλατείας όπου δεν χρειαζόταν να γίνεται συνεχής διάσχιση των δρόμων. Εκτός αυτού, προσέφερε και τις καλύτερες γωνίες λήψης.

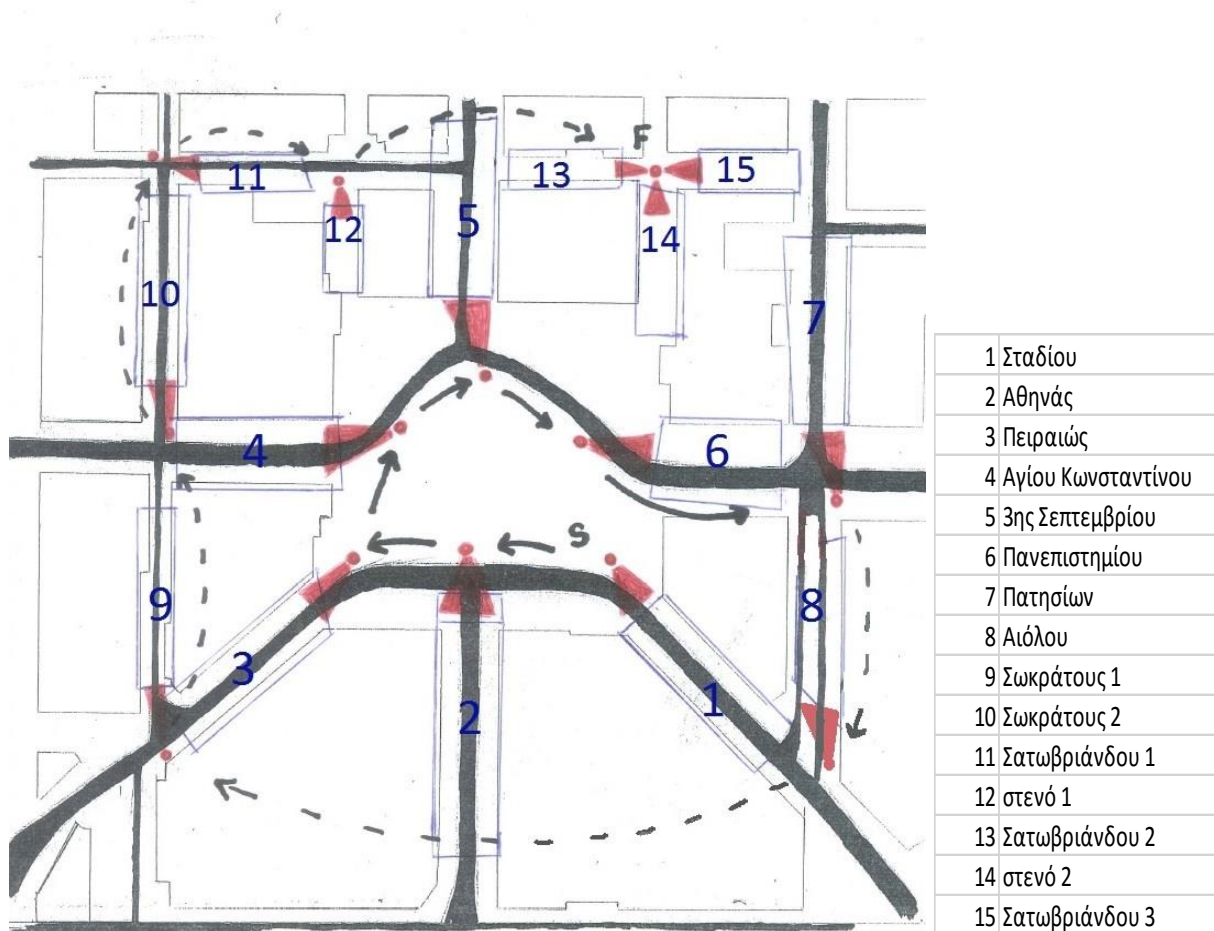
Οι οδικές χαράδρες που αποτελούν το κύριο αντικείμενο μελέτης αριθμήθηκαν με τη σειρά φωτογράφησής τους όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3 (μπλε χρώμα) και στο τέλος της ημέρας γινόταν διαχωρισμός των πιο αναλυτικών θερμικών φωτογραφιών τους και κατηγοριοποίηση των φωτογραφιών αυτών σε ξεχωριστό φάκελο για κάθε ημέρα λήψης.

Η κάθε θερμική φωτογραφία ονομάστηκε με τους αριθμούς της οδικής χαράδρας που απεικονίζει (Εικόνα 4.3) και της ώρας λήψης της, (5.20 π.χ. η φωτογραφία της οδού 3ης Σεπτεμβρίου, η οποία τραβήχτηκε στις 8.00 μ.μ.). Έτσι θα δημιουργηθεί μία ευδιάκριτη βιβλιοθήκη εικόνων ώστε να είναι απλός ο εντοπισμός τους για τη σύγκριση με τα δεδομένα του ENVI-met.

Στην παρακάτω εικόνα (4.3) φαίνονται σε μπλε πλαίσια και αριθμημένες κατά σειρά φωτογράφησης, οι αστικές οδικές χαράδρες που φωτογραφήθηκαν.

Η κόκκινη κουκίδα και ο κώνος απεικονίζουν το σημείο λήψης της κάθε φωτογραφίας.

Τα σημεία S και F είναι η εκκίνηση και ο τερματισμός της πορείας που ακολουθήθηκε η οποία φαίνεται με τα μαύρα βελάκια (συνεχή μέσα στον χώρο της πλατείας και διακεκομμένα έξω από αυτόν).



**Εικόνα 4.3 :** Κάτοψη της πλατείας. Με μαύρα βελάκια φαίνεται η πορεία που ακολουθήθηκε. Τα σημεία S και F είναι η αρχή και το τέλος της. Με κόκκινες κουκίδες απεικονίζεται το σημείο φωτογράφισης των οδικών χαρδών και σε μπλε πλαίσια και αριθμημένες με τη σειρά που φωτογραφήθηκαν είναι οι αστικές οδικές χαράδρες της περιοχής μελέτης.

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μία παρουσίαση των φωτογραφιών από τις οδικές χαράδρες που μας ενδιαφέρουν. Οι φωτογραφίες αυτές επιλέχθηκαν ως οι πιο αντιπροσωπευτικές και με την μεγαλύτερη



ευκρίνεια και είναι οι ίδιες που θα παρουσιαστούν και στη σύγκριση με τα δεδομένα του ENVI-met. Αριστερά βρίσκονται οι φωτογραφίες στο υπέρυθρο και δεξιά στο ορατό φάσμα.

Η οδός Σταδίου σχηματίζει οδική χαράδρα με βορειοδυτική κατεύθυνση και έχει λόγο ύψους/πλάτους 0,9. Αποτελεί αυτοκινητόδρομο με στενά πεζοδρόμια και λίγα χαμηλά δέντρα σε κάθε πλευρά της. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 12.00 μ.μ. και φαίνεται ότι η ασφαλτος αυτή την ώρα έχει υψηλή θερμοκρασία (κόκκινο χρώμα).



*Εικόνα 4.4 : Άποψη της οδού Σταδίου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*

Η οδός Αθηνάς σχηματίζει οδική χαράδρα με κατεύθυνση βορά-νότο και έχει λόγο ύψους/πλάτους 0,9. Αποτελεί αυτοκινητόδρομο με πυκνά δέντρα που σχηματίζουν θόλο πάνω από το δρόμο καθώς και προεκτάσεις-σκιάστρα. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 4.00 μ.μ. και φαίνεται με πράσινο-μπλε χρώμα ότι η ασφαλτος έχει χαμηλή θερμοκρασία.



*Εικόνα 4.5 : Άποψη της οδού Αθηνάς στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*

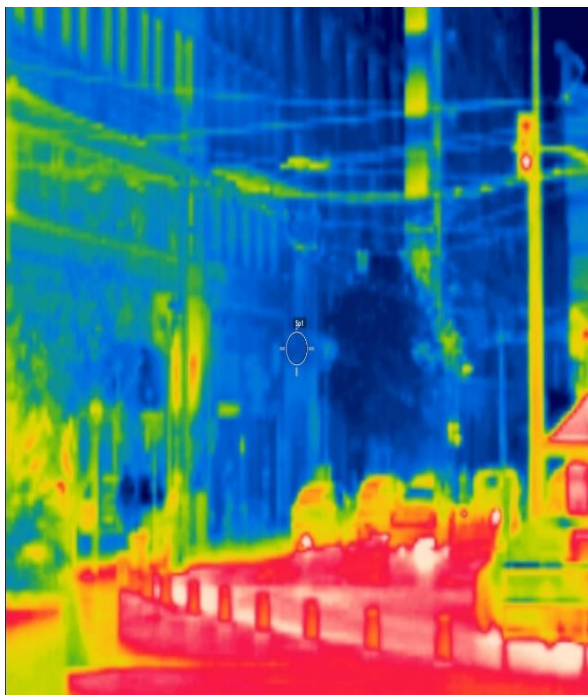
Η οδός Πειραιώς σχηματίζει οδική χαράδρα με βορειοανατολική κατεύθυνση και έχει λόγο ύψους/πλάτους 0,9. Αποτελεί αυτοκινητόδρομο με στενά πεζοδρόμια κόκκινου κυβόλιθου και απουσία πρασίνου. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 8.00 μ.μ.



*Εικόνα 4.6 : Αποψη της οδού Πειραιώς στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*

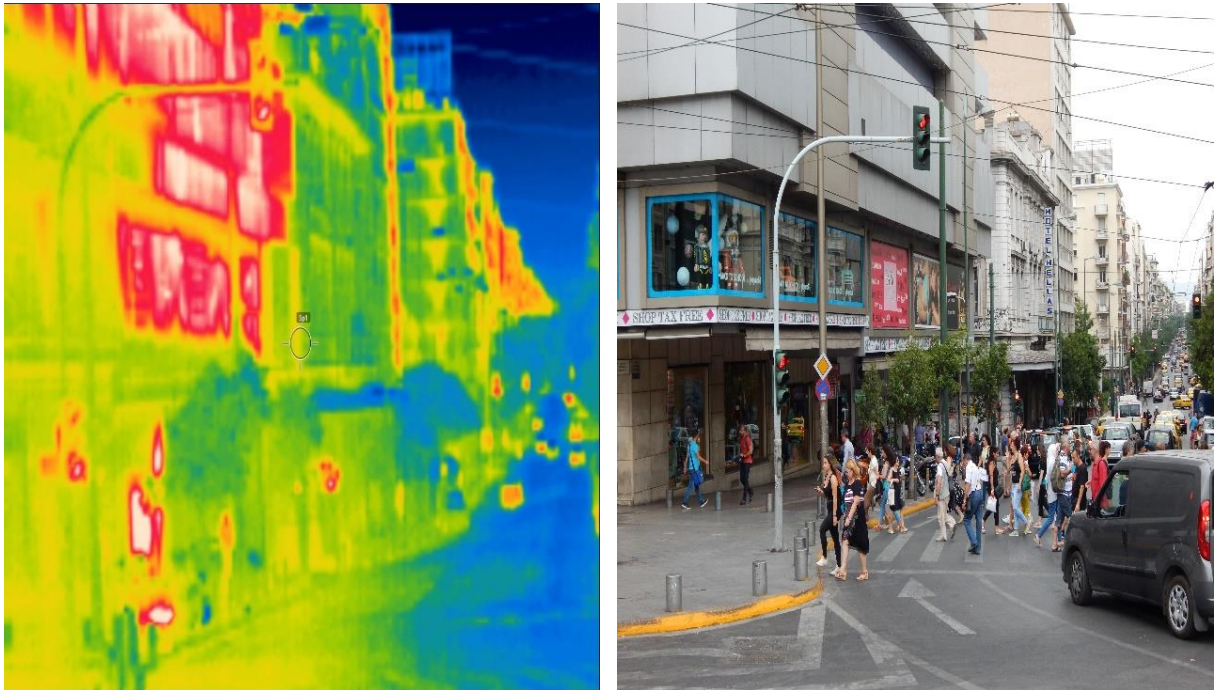


Η οδός Αγίου Κωνσταντίνου σχηματίζει οδική χαράδρα με κατεύθυνση ανατολή-δύση και έχει λόγο ύψους/πλάτους 1,1. Αποτελεί αυτοκινητόδρομο με πλατύ πεζοδρόμιο κόκκινου κυβόλιθου στη βορινή πλευρά και με ελάχιστα χαμηλά δέντρα. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 12.00 μ.μ. όπου η θερμοκρασία της ασφάλτου είναι πολύ υψηλή.



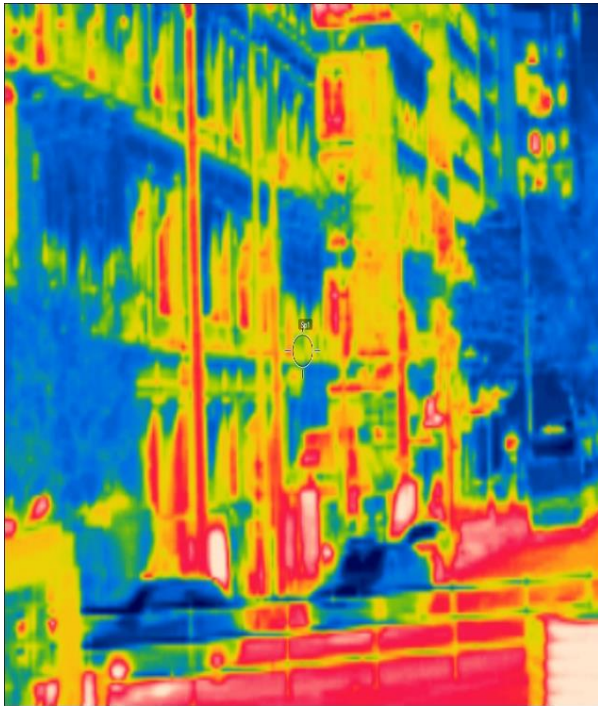
**Εικόνα 4.7 :** Άποψη της οδού Αγ. Κωνσταντίνου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό

Η οδός 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου σχηματίζει οδική χαράδρα με κατεύθυνση βορά-νότο με χαμηλό λόγο ύψους/πλάτους 0,7. Αποτελεί αυτοκινητόδρομο με πλατύ πεζοδρόμιο κόκκινου κυβόλιθου και μικρά δέντρα στην κάθε πλευρά. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 8.00 μ.μ. όπου η άσφαλτος ακόμα έχει χαμηλή θερμοκρασία.



**Εικόνα 4.8 :** Άποψη της οδού 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό

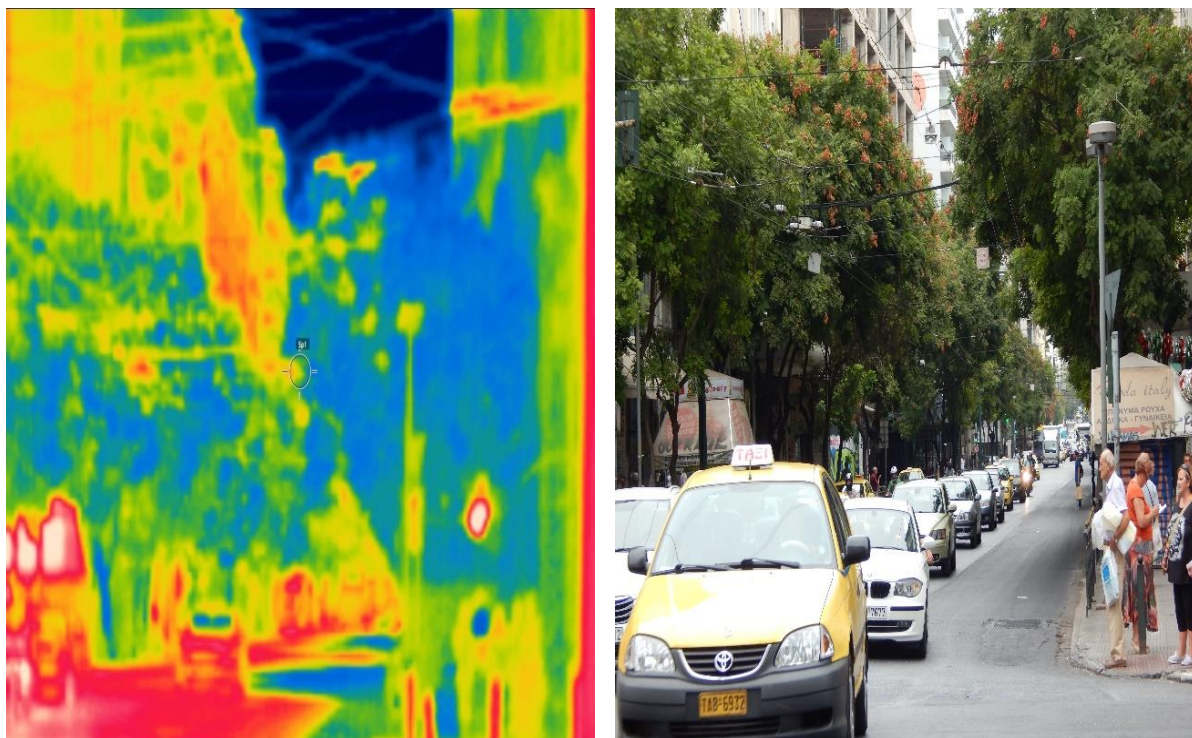
Η οδός Πανεπιστημίου σχηματίζει οδική χαράδρα με κατεύθυνση ανατολή-δύση με χαμηλό λόγο ύψους/πλάτους 0,6. Αποτελεί μεγάλο αυτοκινητόδρομο με πλατύ πεζοδρόμιο κόκκινου κυβόλιθου και έχει αραιά και ψηλά δέντρα που δεν δημιουργούν αρκετή σκίαση. Η θερμική φωτογραφία είναι τραβηγμένη στις 4.00 μ.μ. και η θερμοκρασία της ασφάλτου είναι πολύ υψηλή.



*Εικόνα 4.9 : Άποψη της οδού Πανεπιστημίου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*



Η οδός Πατησίων σχηματίζει οδική χαράδρα με κατεύθυνση βορά-νότο και έχει λόγο ύψους/πλάτους 0,7. Αποτελεί αυτοκινητόδρομο με πυκνά δέντρα και στα 2 πεζοδρόμια. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 12.00 μ.μ. και η διαφορά θερμοκρασίας της ασφάλτου λόγω σκίασης φαίνεται ξεκάθαρα με μπλε χρώμα.



*Εικόνα 4.10 : Άποψη της οδού Πατησίων στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*

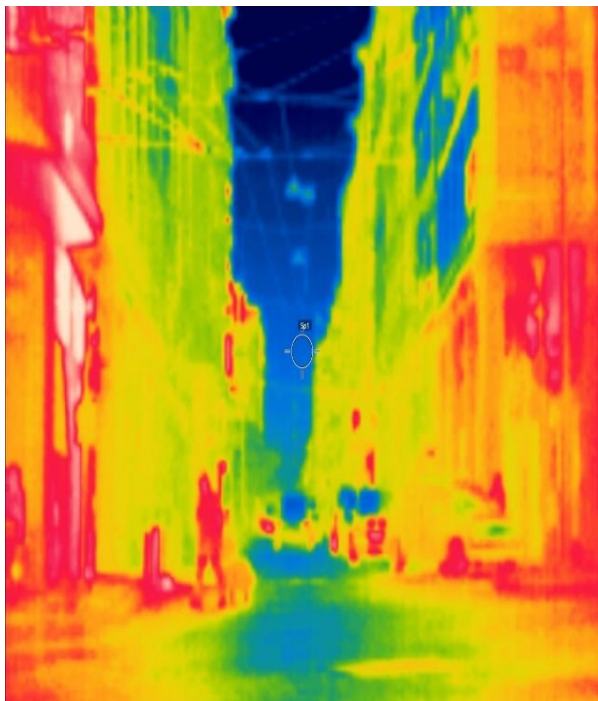
Η οδός Αιόλου σχηματίζει οδική χαράδρα με κατεύθυνση βορά-νότο και έχει λόγο ύψους/πλάτους 1,1. Αποτελεί αυτοκινητόδρομο με διαχωριστική λωρίδα και πλήρη απουσία πρασίνου. Η θερμική φωτογραφία είναι τραβηγμένη στις 4.00 μ.μ. και φαίνεται η επίδραση των σκιάσεων από τον κτηριακό όγκο στη θερμοκρασία της ασφάλτου.



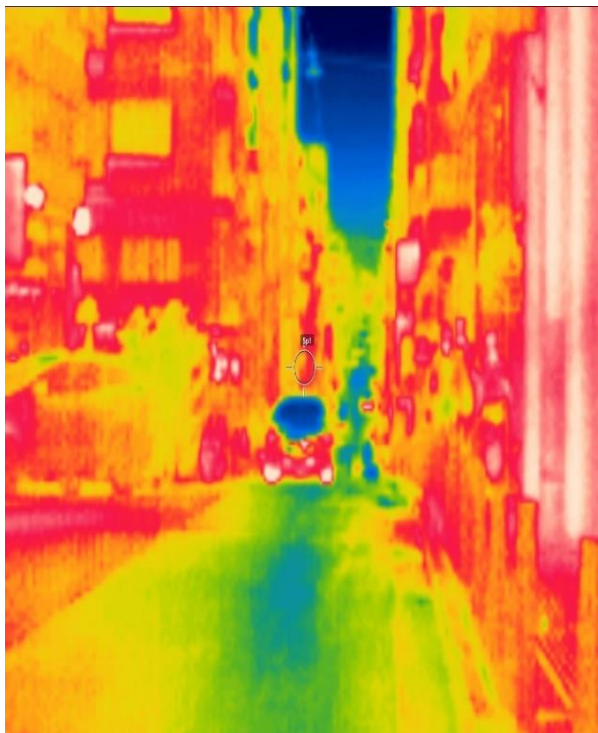
*Εικόνα 4.11 : Άποψη της οδού Αιόλου στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*



Η οδός Σωκράτους σχηματίζει ψηλή οδική χαράδρα με κατεύθυνση βορά-νότο με λόγο ύψους πλάτους 2,4 στο νότιο κομμάτι της και 1,7 στο βόρειο. Αποτελεί στενό αυτοκινητόδρομο με μικρά πεζοδρόμια κόκκινου κυβόλιθου και πλήρη απουσία πρασίνου. Οι θερμικές φωτογραφίες τραβήχτηκαν στις 8.00 π.μ. όπου υπήρχε πλήρης σκίαση της ασφάλτου.

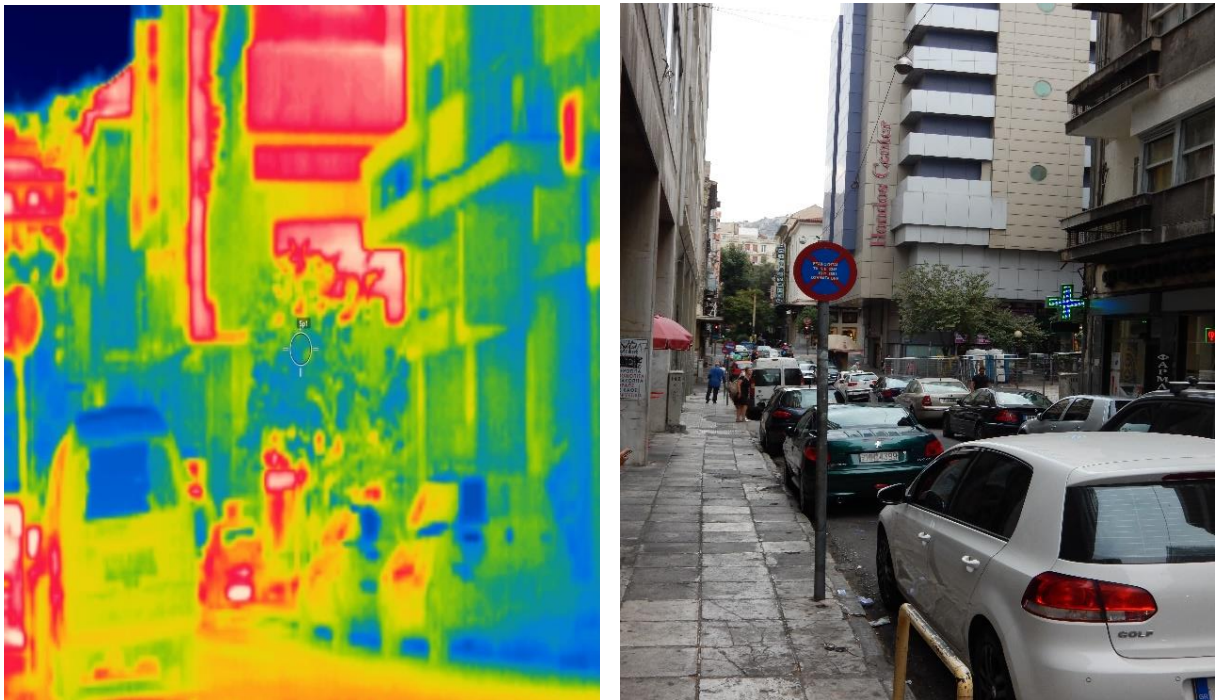


*Εικόνα 4.12 : Αποψη της οδού Σωκράτους 1 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*



*Εικόνα 4.13 : Αποψη της οδού Σωκράτους 2 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*

Το ασφάλτινο μέρος της οδού Σατωβριάνδου σχηματίζει οδική χαράδρα με κατεύθυνση ανατολή-δύση με λόγο ύψους/πλάτους 1,5 και ένα μεγάλο αδόμητο χώρο στο κέντρο της νότιας πλευράς. Αποτελεί στενό αυτοκινητόδρομο με τσιμεντένιο πεζοδρόμιο και κατηφορική κλίση προς τα ανατολικά. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 4.00 μ.μ.



*Εικόνα 4.14 : Άποψη της οδού Σατωβριάνδου 1 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*



Το πρώτο στενό έχει κατεύθυνση βορά-νότο και λόγο ύψους/πλάτους 2,6. Το υλικό επίστρωσης αποτελεί κόκκινος κυβόλιθος και έχει ανηφορική κλίση προς τα νότια. Τα ψηλά δέντρα κατά μήκος του πεζοδρόμου και οι προεκτάσεις των κτιρίων το διατηρούν υπό σκιά καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 12.00 μ.μ. και η επιφανειακές θερμοκρασίες είναι χαμηλές.



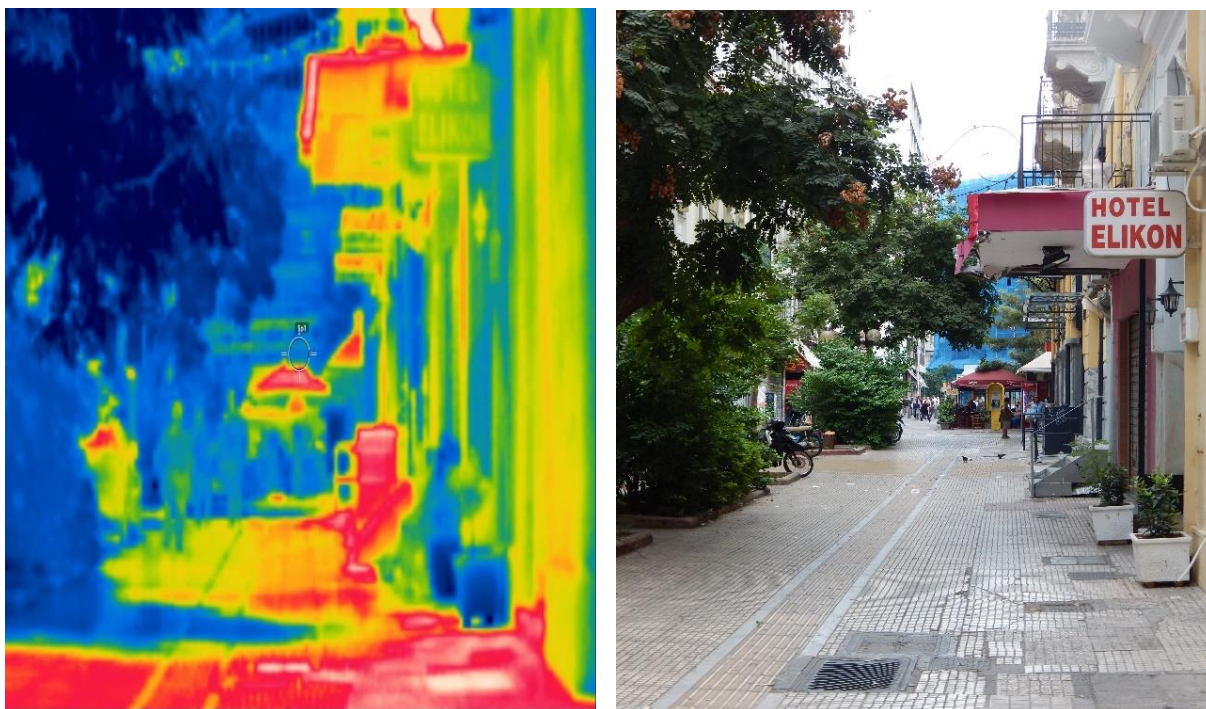
*Εικόνα 4.15 : Αποψη του στενού 1 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*

Το πεζοδρομημένο μέρος της οδού Σατωβριάνδου (Σατωβριάνδου 2 και Σατωβριάνδου 3) σχηματίζει οδική με κατεύθυνση ανατολή-δύση με λόγο ύψους/πλάτους 1,5 και έχει έντονη την παρουσία πρασίνου. Το υλικό επίστρωσης είναι κίτρινος κυβόλιθος. Οι θερμικές φωτογραφίες τραβήχτηκαν στις 4.00 μ.μ. και οι επιφανειακές θερμοκρασίες είναι χαμηλές.



**Εικόνα 4.16 :** Άποψη της οδού Σατωβριάνδου 2 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό

Το δεύτερο στενό έχει κατεύθυνση βορά-νότο και λόγο ύψους/πλάτους 0,75. Το υλικό επίστρωσης αποτελεί κίτρινος κυβόλιθος. Παρατηρούμε συστοιχία δέντρων κατά μήκος του πεζόδρομου. Η θερμική φωτογραφία τραβήχτηκε στις 12.00 μ.μ. και είναι ορατή η επιφανειακή θερμοκρασιακή διαφορά λόγω σκίασης.



*Εικόνα 4.17 : Άποψη του στενού 2 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*



Το ανατολικό μέρος του πεζόδρομου της οδού Σατωβριάνδου.



*Εικόνα 4.18 : Άποψη της οδού Σατωβριάνδου 3 στο (αριστερά) υπέρυθρο φάσμα και (δεξιά) στο ορατό*

Τα 2 κυριότερα προβλήματα κατά την σάρωση της πλατείας ήταν η συνεχής διέλευση αυτοκινήτων και ιδιαίτερα λεωφορείων και τρόλεϊ που “έκρυβαν” μεγάλο μέρος των επιφανειών και η απουσία υπερυψωμένων κεντρικών σημείων, η μπαλκονιών που θα έδιναν τη δυνατότητα για λήψη φωτογραφιών από καλύτερη οπτική γωνία. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις ήταν απαραίτητη η φωτογράφιση της κάθε περιοχής από περισσότερες από μια οπτικές γωνίες.

### 4.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.

Οι φωτογραφίες της θερμοκάμερας FLIR διαβάζονται στην πλήρη ανάλυσή τους και επεξεργάζονται μέσω του προγράμματος FLIR Tools.

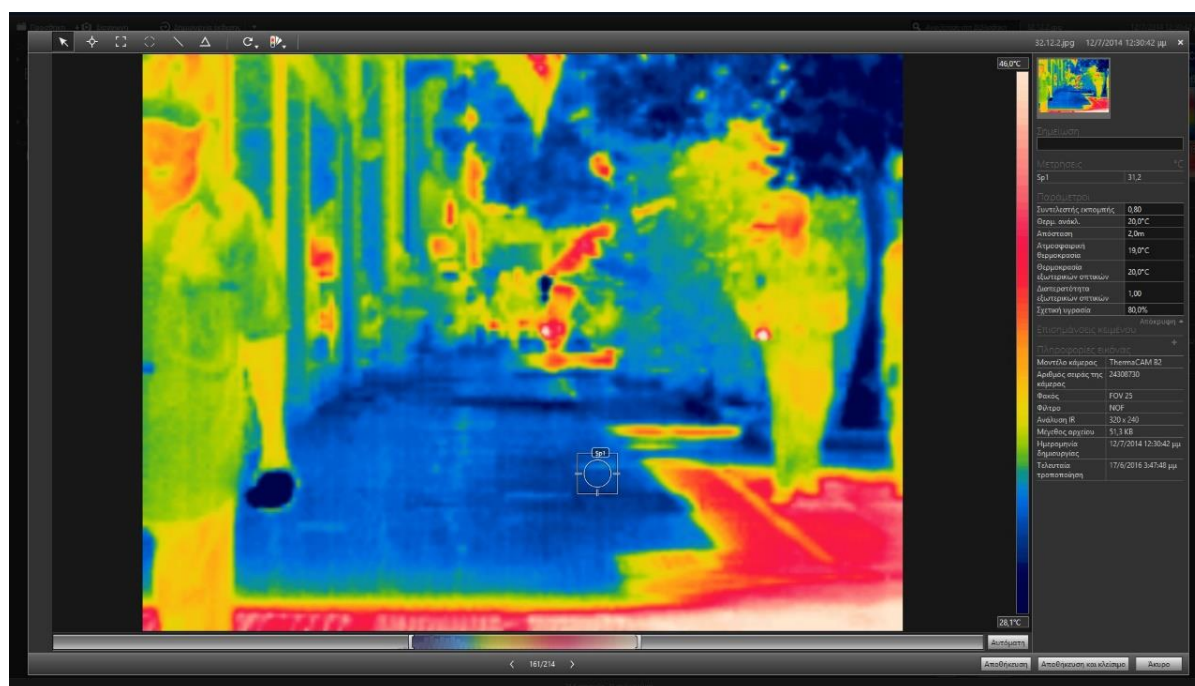
Η απεικόνιση των θερμοκρασιών γίνεται με τη βοήθεια μιας παλέτας χρωμάτων όπου κάθε απόχρωση αντιστοιχεί σε κάποια θερμοκρασία.

Στην πρότυπη παλέτα οι χαμηλότερες θερμοκρασίες αντιστοιχούν στο μπλε χρώμα και οι υψηλές στο λευκό-κόκκινο.

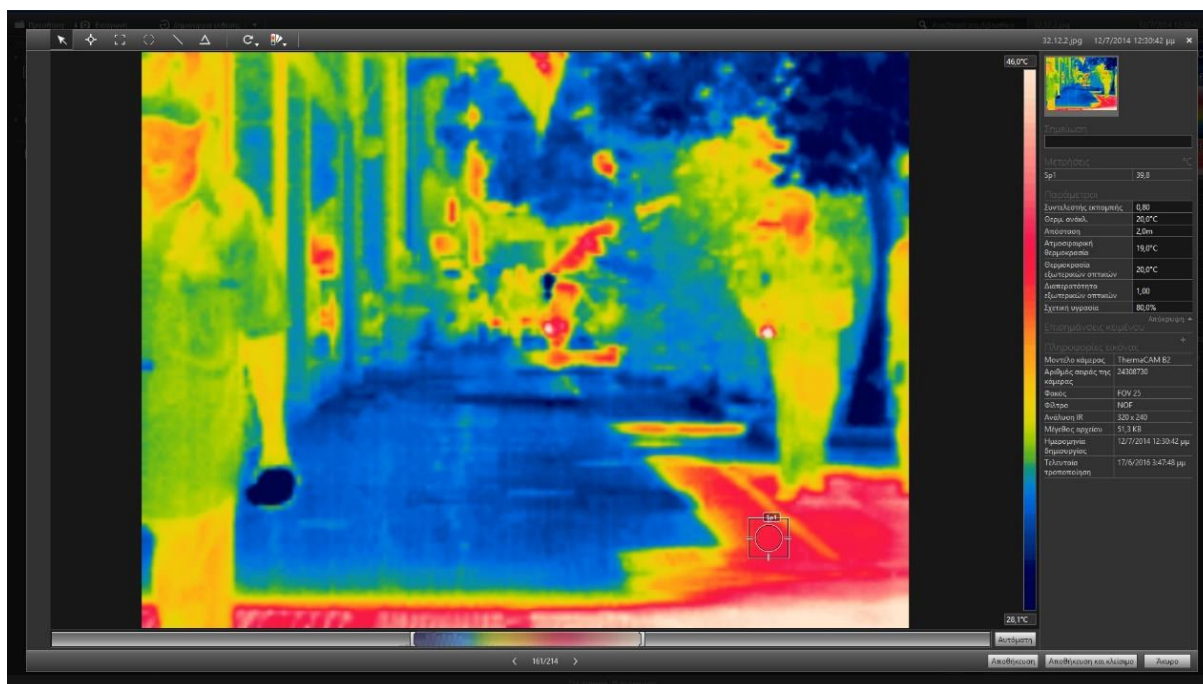
Η διαβάθμιση των χρωμάτων εξαρτάται από τις πληροφορίες της εκάστοτε φωτογραφίας δηλαδή το εύρος των θερμοκρασιών και τις περιοχές όπου έχουμε υψηλές συγκεντρώσεις μιας θερμοκρασίας.

Αυτό κάνει περίπλοκη την απευθείας σύγκριση 2 φωτογραφιών και χρίζει αναγκαία μια περεταίρω επεξεργασία.

Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα για εστίαση και θερμοκρασιακή ένδειξη σε κάθε σημείο της φωτογραφίας.



**Εικόνα 4.19α :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. (Εστίαση σε ψυχρό σημείο, 31,2°C).



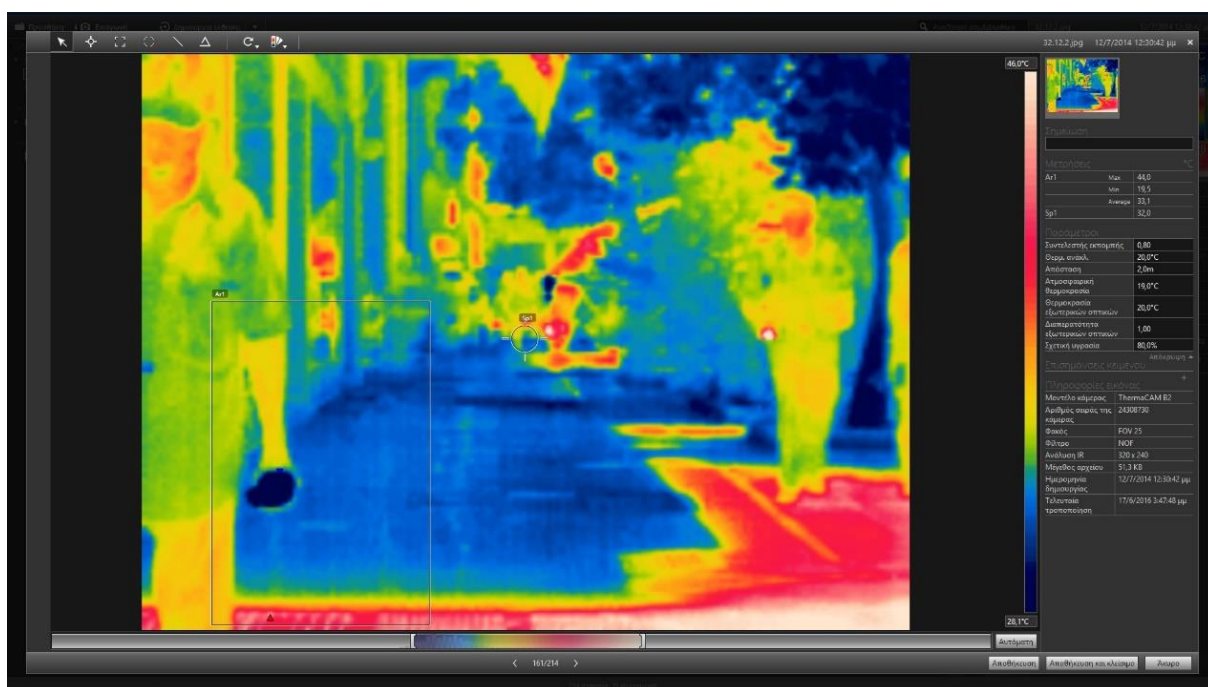
**Εικόνα 4.19β :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. (Εστίαση σε θερμό σημείο, 39,8°C).

Από τις παραπάνω φωτογραφίες παρατηρούμε την επίδραση της σκίασης.

Το υλικό επίστρωσης στον πεζόδρομο αποτελεί κίτρινος κυβόλιθος (ανακλαστικότητα 0,5) και η διαφορά θερμοκρασίας είναι στους 8,6° C. Φαίνεται ακόμα η άμεση επίδραση της σκίασης στις επιφανειακές θερμοκρασίες καθώς η πτώση της θερμοκρασίας (αλλαγή χρωμάτων) γίνεται αρκετά απότομα. Η ταχύτητα πτώσης της θερμοκρασίας όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο εξαρτάται από το συντελεστή θερμικής εκπομπής του υλικού.

Μέσες θερμοκρασίες ενός μέρους της φωτογραφίας καθώς και μέγιστη και ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας σε αυτό μπορούν να υπολογιστούν με την προσθήκη εργαλείου μέτρησης ορθογωνίου ή κυκλικού πλαισίου.

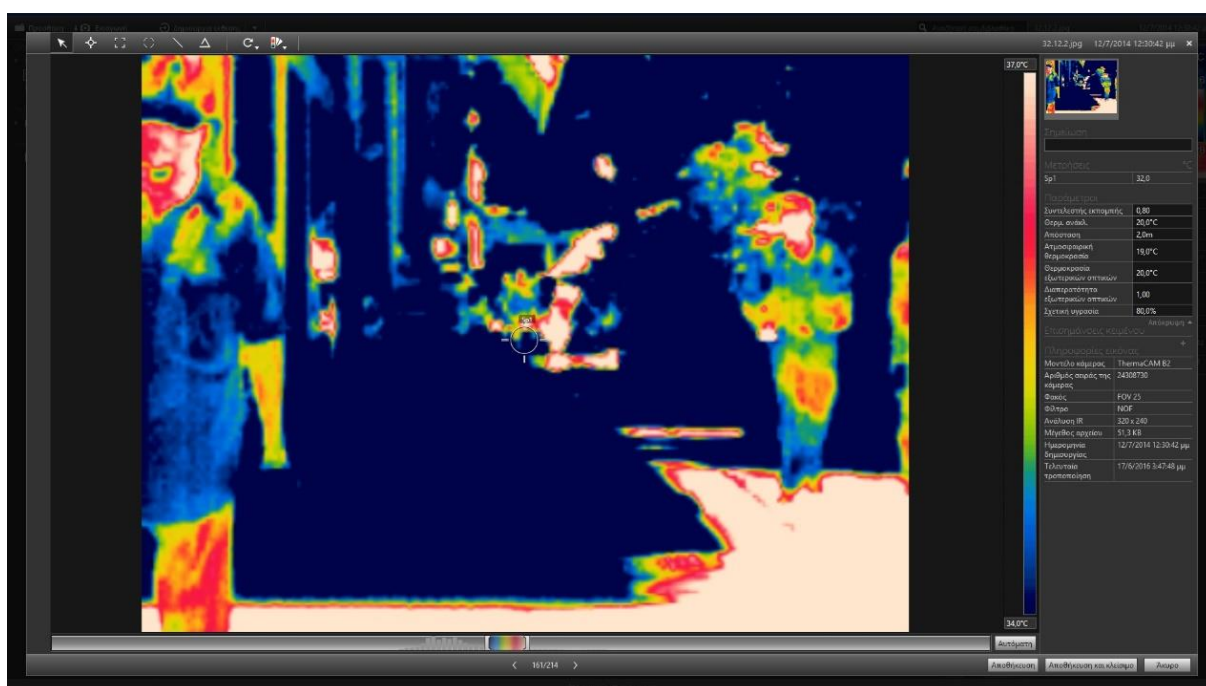




**Εικόνα 4.19γ :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. (Χρήση ορθογωνίου πλαισίου, μέση θερμοκρασία ίση με 33°C).

Μία ακόμα πολύ χρήσιμη επιλογή είναι ο χειροκίνητος προσδιορισμός των ορίων ανώτερης και κατώτερης θερμοκρασίας.

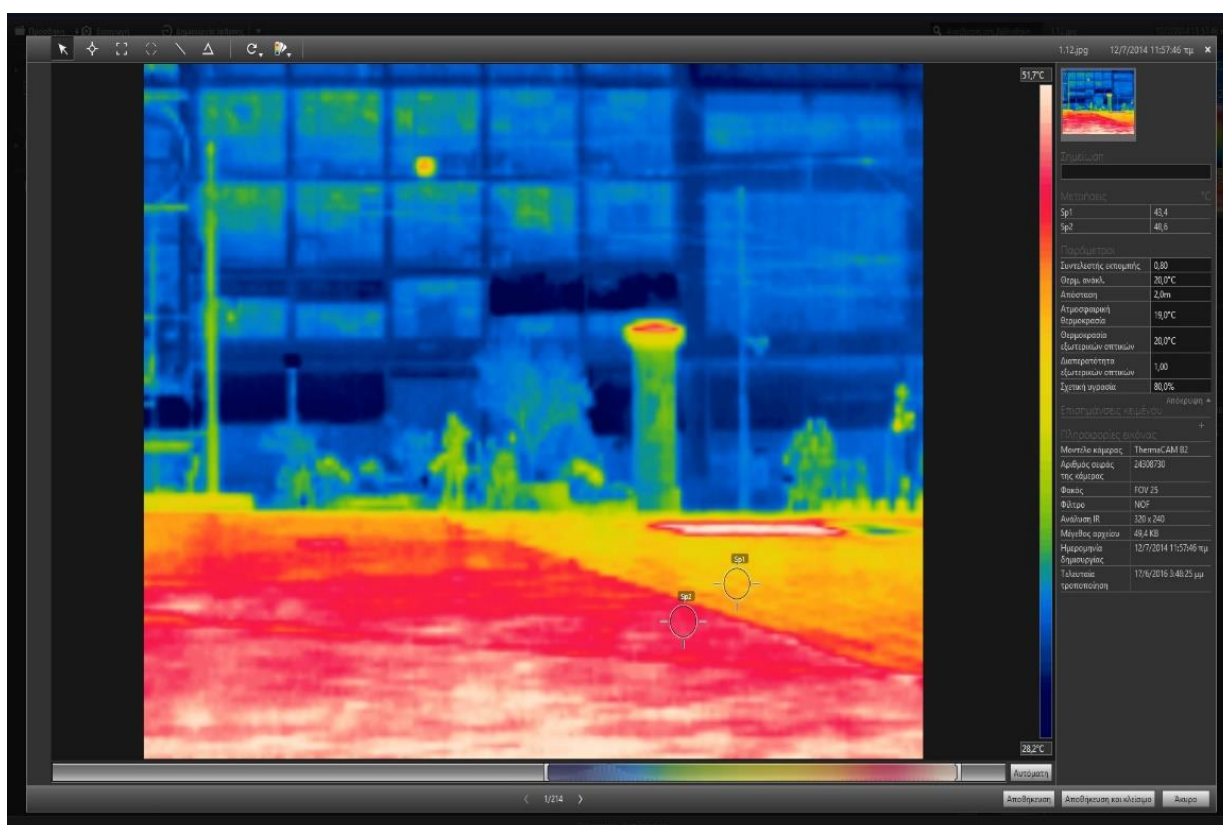
Οι θερμοκρασίες στη φωτογραφία που θα είναι εντός των ορίων απεικονίζονται με τα χρώματα της παλέτας μας ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες αντιστοιχεί σκούρο μπλε χρώμα και σε υψηλότερες το λευκό.



**Εικόνα 4.19δ :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 12.00 μ.μ. (Επεξεργασία θερμοκρασιακών ορίων).

Ένας επιπλέον στόχος της θερμοκάμερας ήταν να εξεταστούν οπτικά ποια στοιχεία των ανοικτών χώρων συμβάλουν θετικά ή αρνητικά στο αστικό μικρόκλιμα. Μελετώντας τις φωτογραφίες είναι ευδιάκριτη η διαφορά θερμοκρασιών σε μια επιφάνεια λόγω της παρουσίας διαφορετικών υλικών σε αυτή.

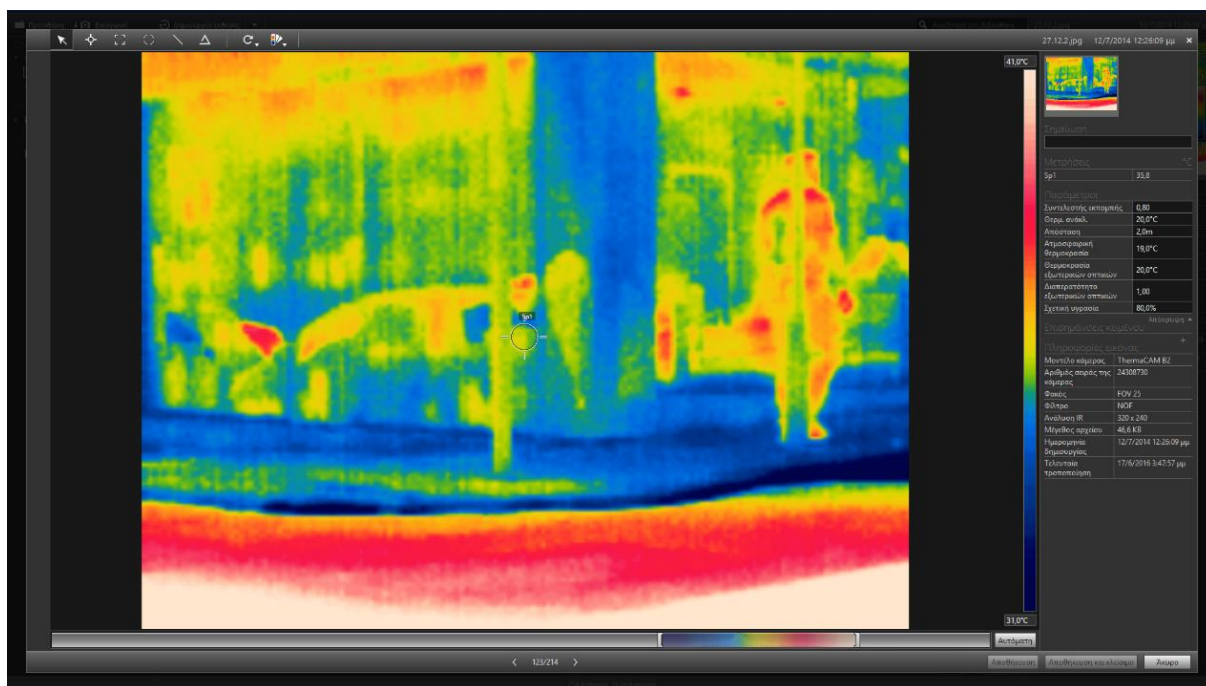
Μετρήσεις °C	
Sp1	43,4
Sp2	48,6



Εικόνα 4.20 : Αποτύπωση μέρους της πλατείας στις 12.00 μ.μ.



Ακόμα μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ασφάλτου και υλικού πεζοδρομίου (κόκκινος κυβόλιθος) όπως βλέπουμε στην παρακάτω φωτογραφία.

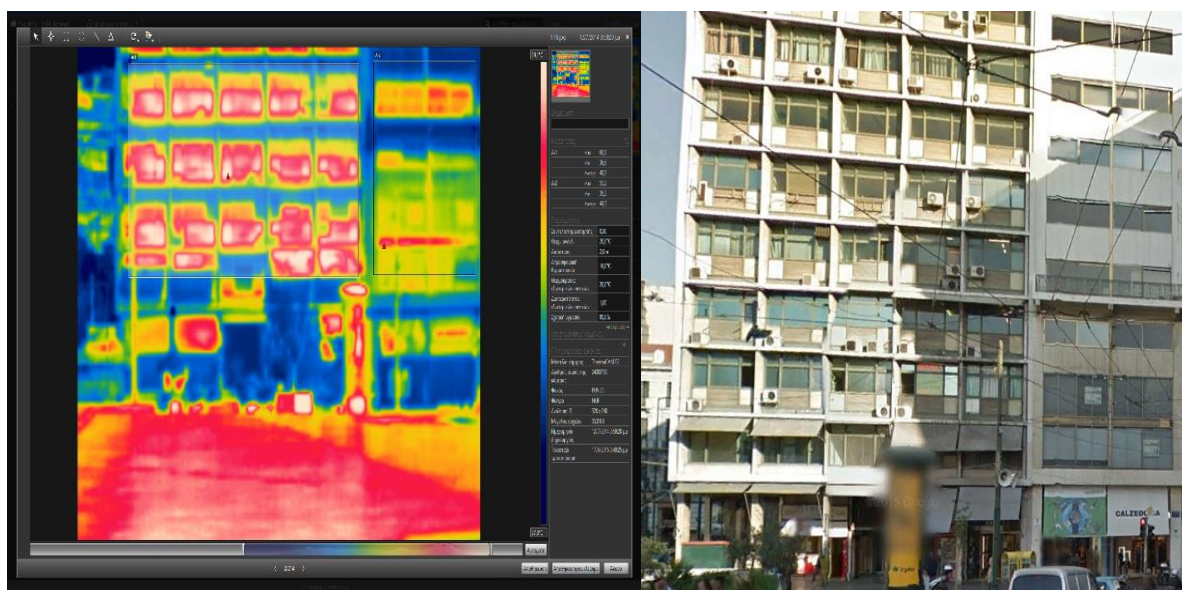


Εικόνα 4.21 : Αποτύπωση δρόμου , πεζοδρομίου στις 12.00 μ.μ.

Κατά την χρήση της θερμοκάμερας διαπιστώθηκε ότι κτίρια με διαφορετικά υλικά προσόψεων διαφέρουν εμφανώς ως προς το θερμογράφημα.

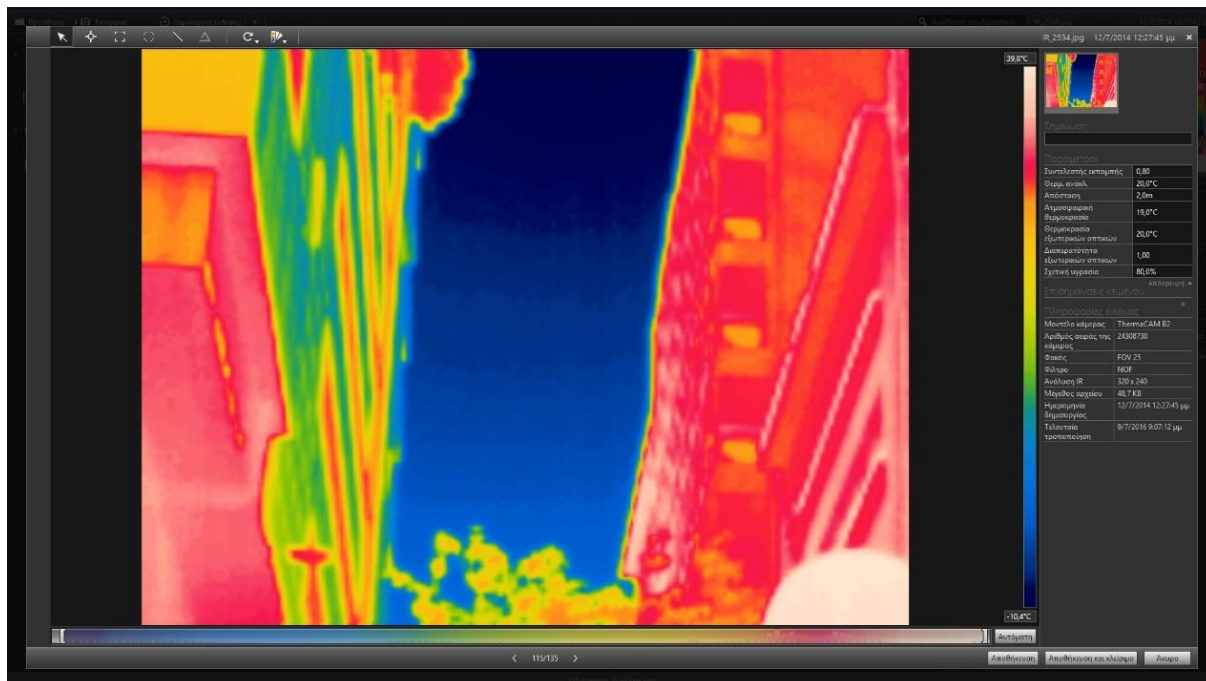
Πιο συγκεκριμένα κτίρια με μεγάλες γυάλινες επιφάνειες παρουσιάζουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα υπόλοιπα έστω και παλαιότερα, λόγω της χρήσης μεταλλικών υλικών και των πολλαπλών ανακλάσεων.

Μετρήσεις °C		
Ar1	Max	60,9
	Min	36,6
	Average	48,8
Ar2	Max	55,2
	Min	35,2
	Average	44,5



*Εικόνα 4.22 : Κτήριο της πλατείας (δεξιά) στο ορατό και (αριστερά) στο υπέρυθρο.*

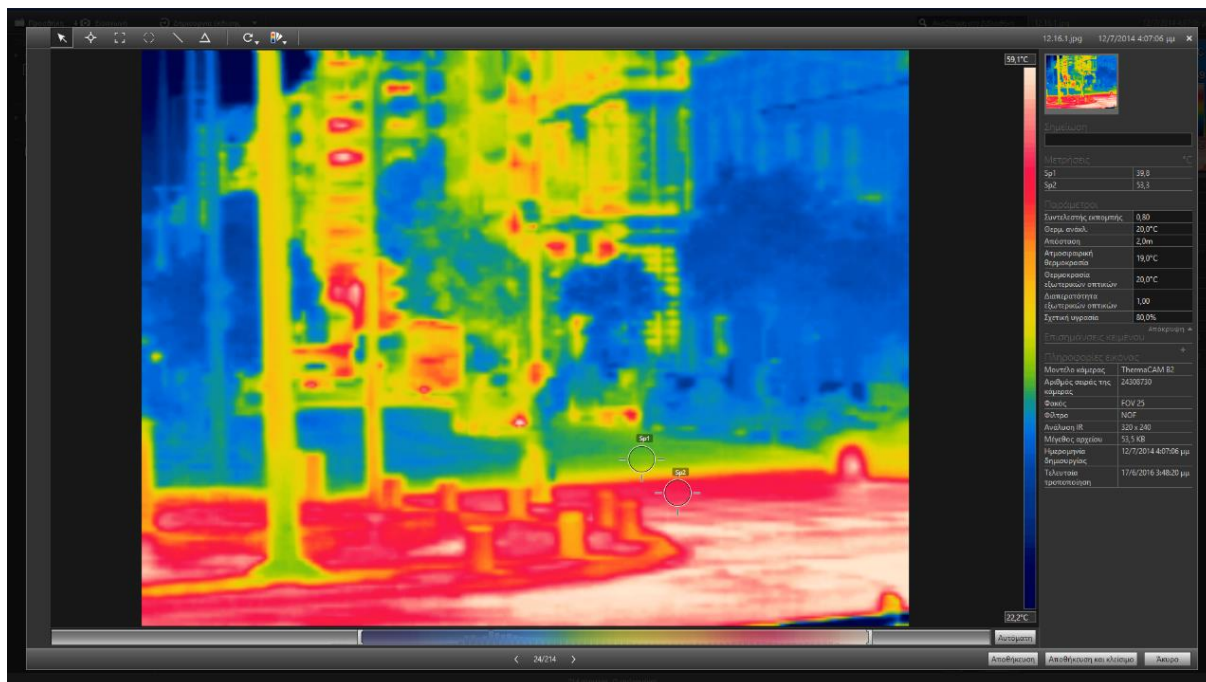
Ο προσανατολισμός των επιφανειών καθορίζει το ποσό της θερμότητας που φτάνει στο εμβαδό μίας επιφάνειας από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (Εικόνα 4.7). Στο πλαίσιο μίας οδικής χαράδρας διακρίνουμε την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των απέναντι κτηριακών προσόψεων. Το φαινόμενο των διαδοχικών ανακλάσεων είναι πολύ έντονο μέσα στις οδικές χαράδρες. Η παρουσία δέντρων είναι καταλυτικής σημασίας στη μείωση της επίδρασης του.



**Εικόνα 4.23 :** Προσόψεις των απέναντι κτιρίων πεζοδρόμου στις 12.00 μ.μ.

Η σκίαση φαίνεται να συμβάλει καταλυτικά στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται με βάση τις φωτογραφίες που λήφθηκαν. Παρακάτω βλέπουμε συνθήκες σκίασης από κτηριακό όγκο (Εικόνα 4.24) και από δέντρα (Εικόνα 4.25) στις 4.00 μ.μ. και 12.00 μ.μ. αντίστοιχα.

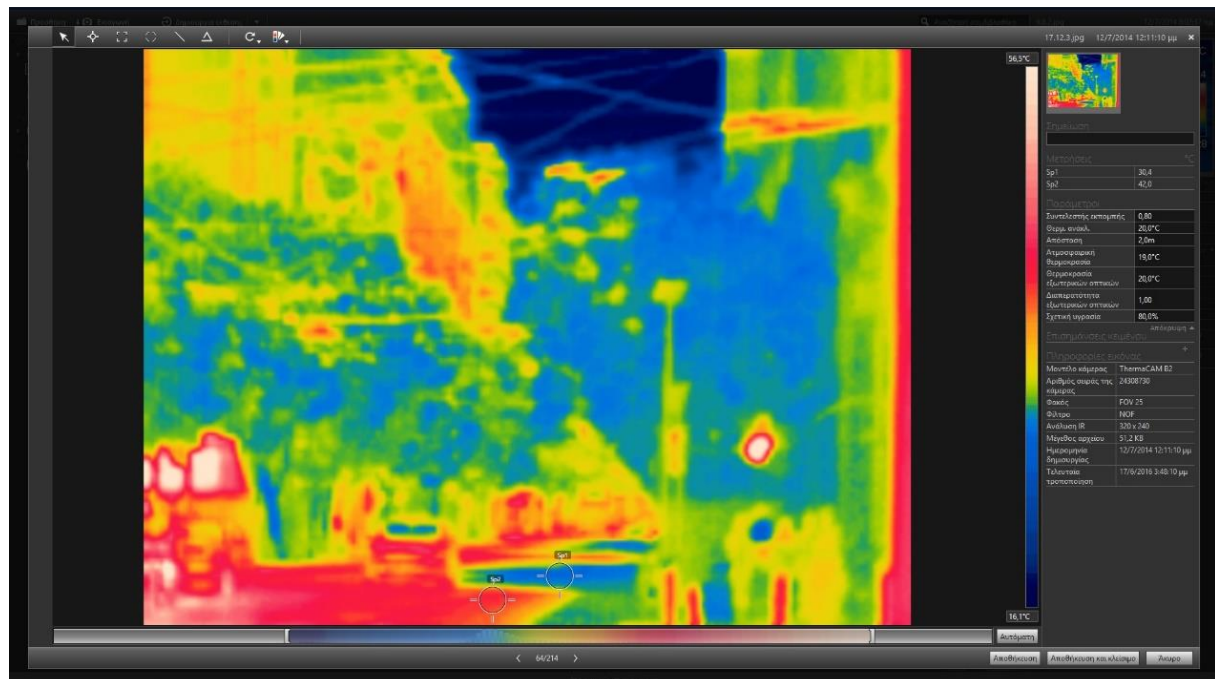
Μετρήσεις °C	
Sp1	39,8
Sp2	53,3



Εικόνα 4.24 : Αποτύπωση οδού 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου στις 4.00 μ.μ.



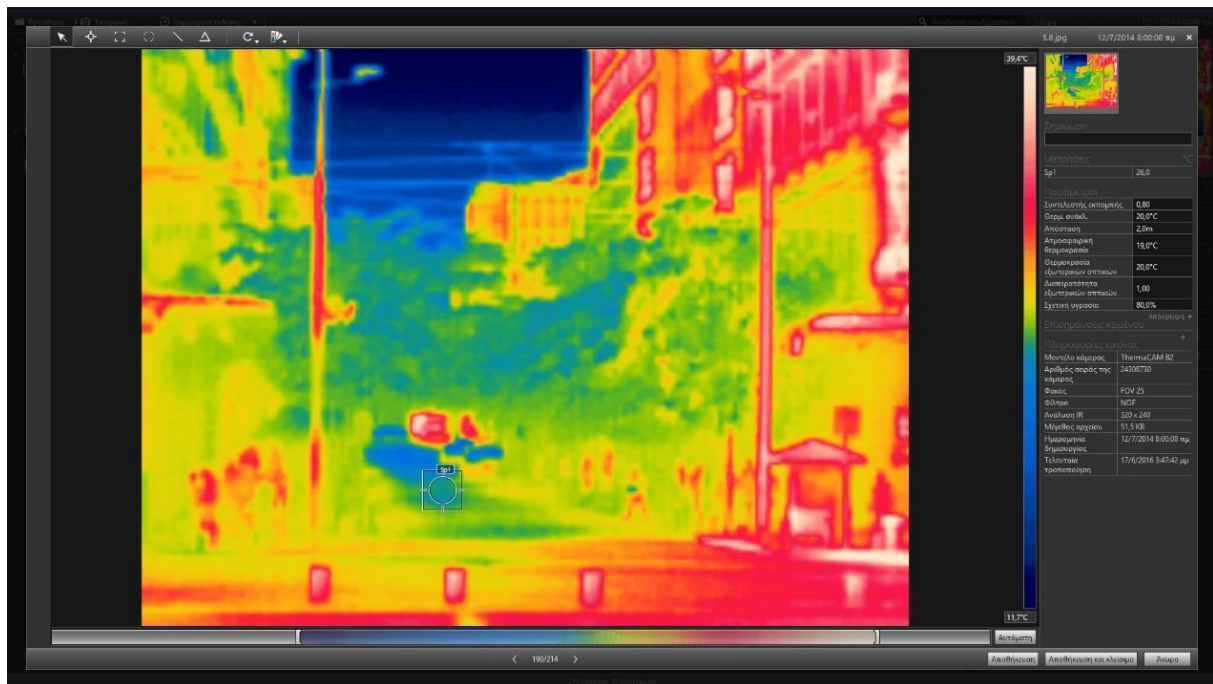
Μετρήσεις °C	
Sp1	30,4
Sp2	42,0



Εικόνα 4.25 : Αποτύπωση οδού Πατησίων στις 12.00 μ.μ.

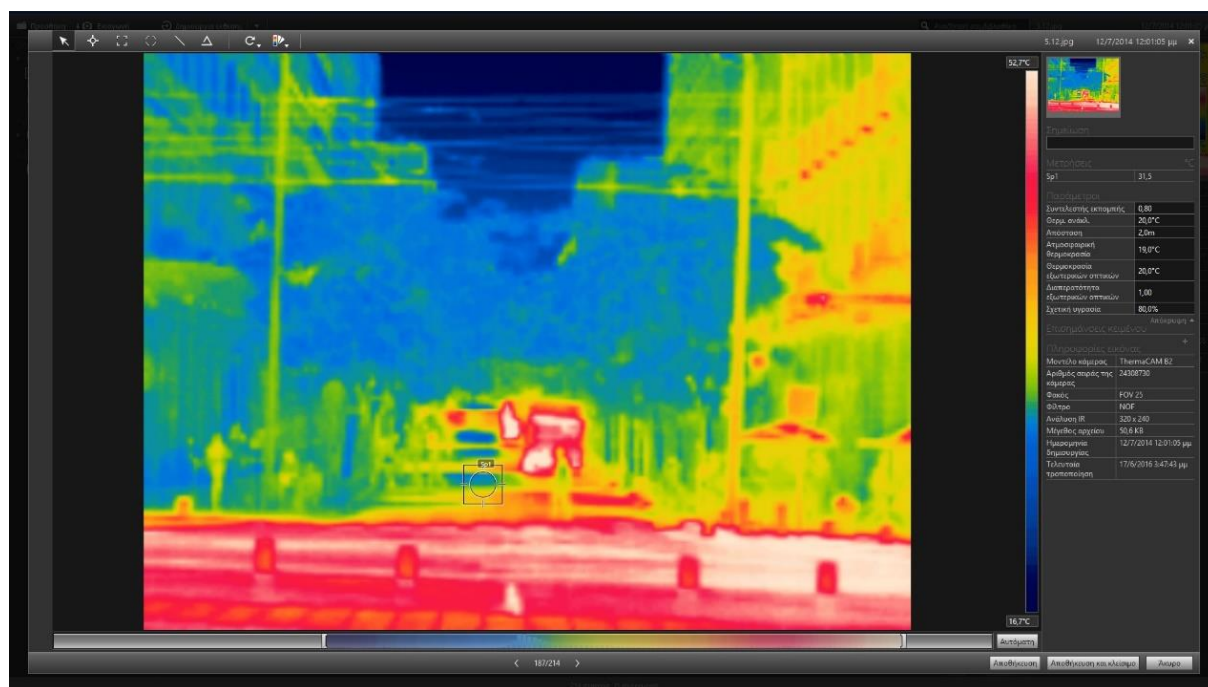
Η επίδραση της σκιάς στις επιφανειακές θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερη όσο θερμότερο είναι το υλικό και πιο έντονη η ηλιακή ακτινοβολία. Στις 12.00 μ.μ. η διαφορά στη θερμοκρασία ασφάλτου είναι ίση με 11,6°C (εμφανώς μεγαλύτερη από αυτή του κίτρινου κυβόλιθου) ενώ στις 4.00 μ.μ. ίση με 13,5°C.

Επίσης καταγράφηκε οπτικά και η διαφορά στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια των υλικών κατά τη διάρκεια της μέρας. Επιλέχθηκε η σύγκριση σε ένα σημείο ασφάλτου που βρίσκεται μόνιμα υπό σκιά ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η επίδραση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, συνεπώς και των μεγάλων και απότομων θερμοκρασιακών αλλαγών. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία της ασφάλτου παραμένει πολύ χαμηλή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας



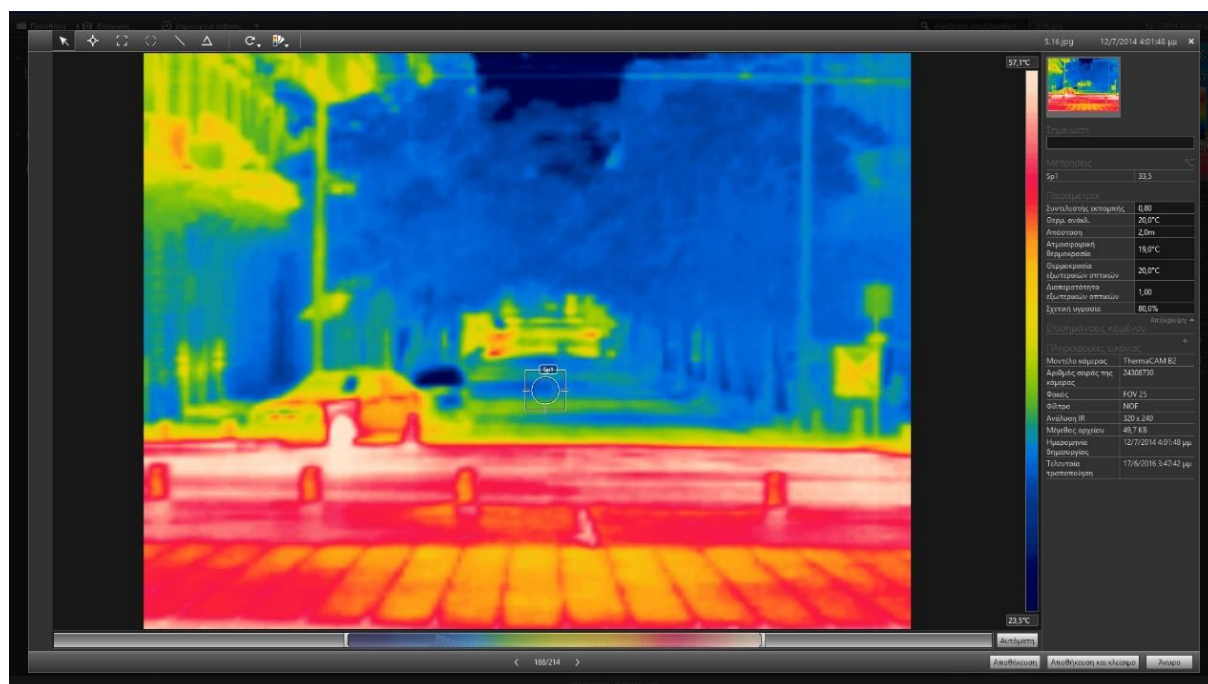
**Εικόνα 4.26 :** Αποτύπωση οδού Αθηνάς στις 8.00 π.μ.

Μετρήσεις °C	
Sp1	31,5



Εικόνα 4.27 : Αποτύπωση οδού Αθηνάς στις 12.00 μ.μ.

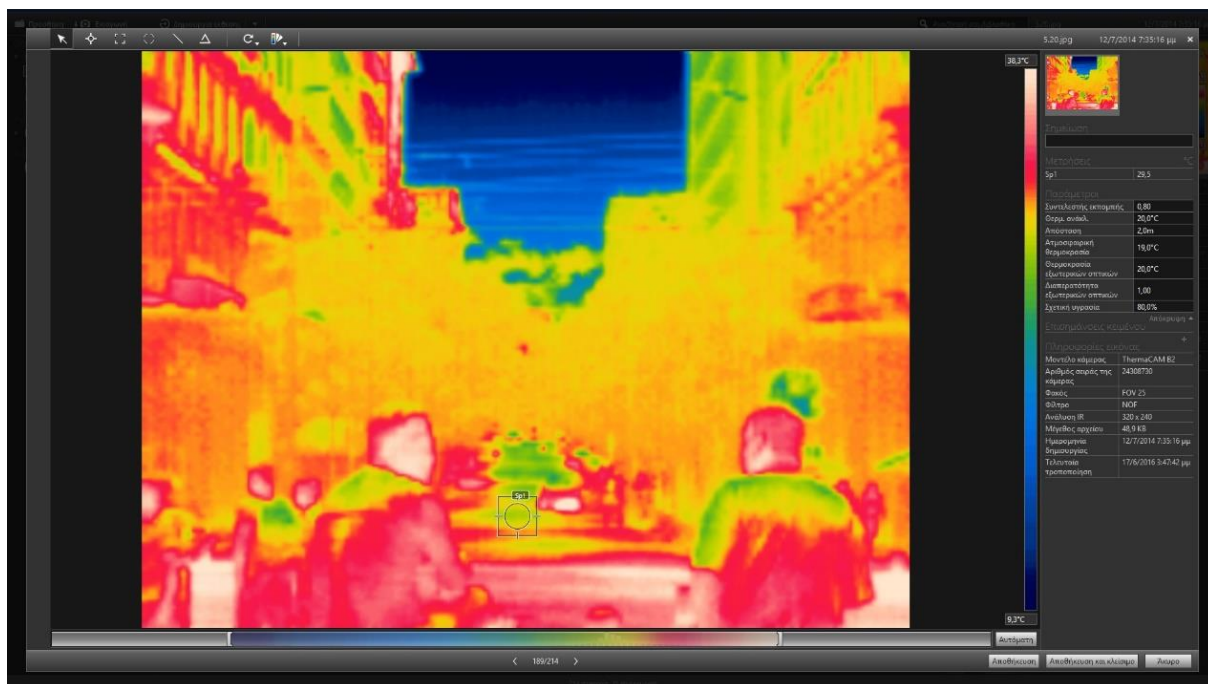
Μετρήσεις °C	
Sp1	33,5



Εικόνα 4.28 : Αποτύπωση οδού Αθηνάς στις 4.00 μ.μ.

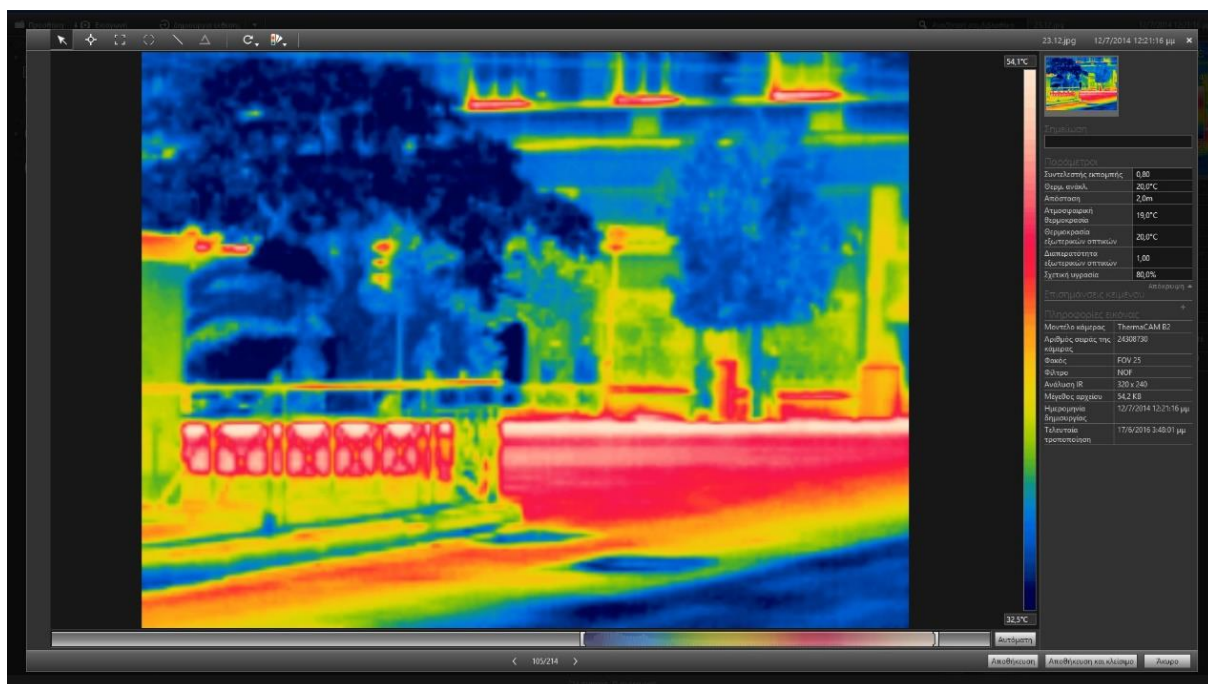


Μετρήσεις		°C
Sp1	29,5	



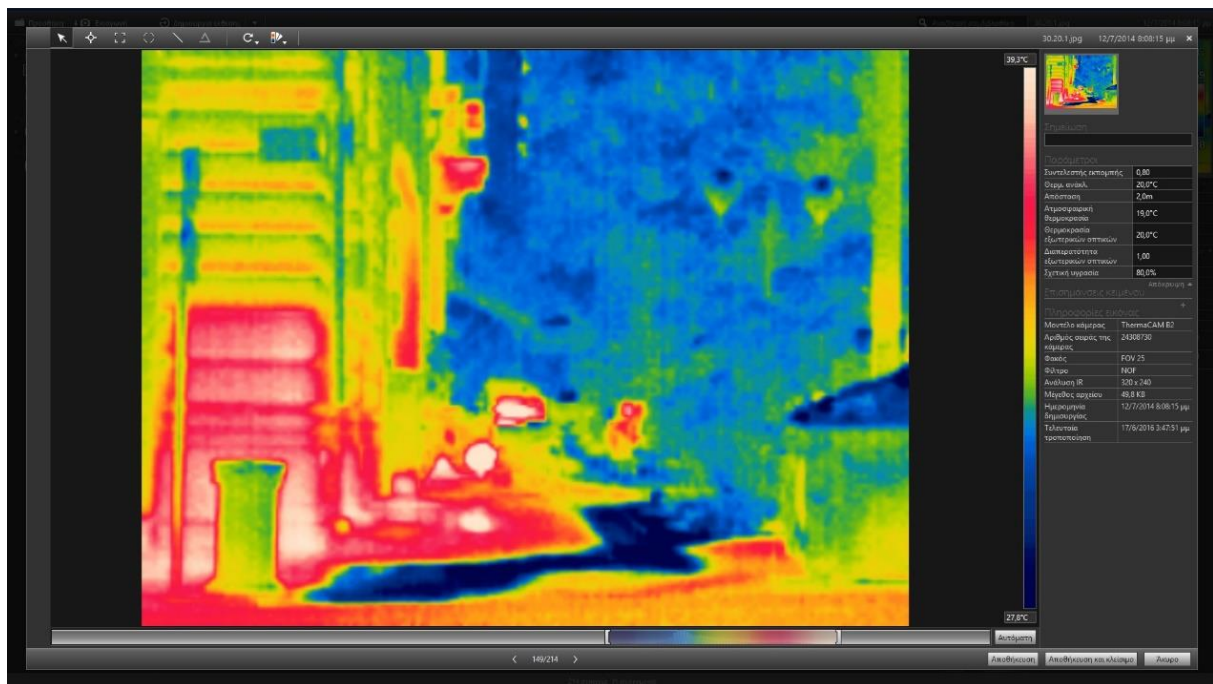
Εικόνα 4.29 : Αποτύπωση οδού Αθηνάς στις 8.00 μ.μ.

Και οπτικά η συμβολή της φύτευσης (Εικόνα 4.30) και του νερού (Εικόνα 4.31) είναι καταλυτική ως προς τις θερμοκρασίες των επιφανειών, ακόμα και αν πρόκειται για μια ελάχιστη ποσότητα που ρέει στο πεζοδρόμιο.



Εικόνα 4.30 : Αποτύπωση της οδού Αγ Κωνσταντίνου στις 12.00 μ.μ.

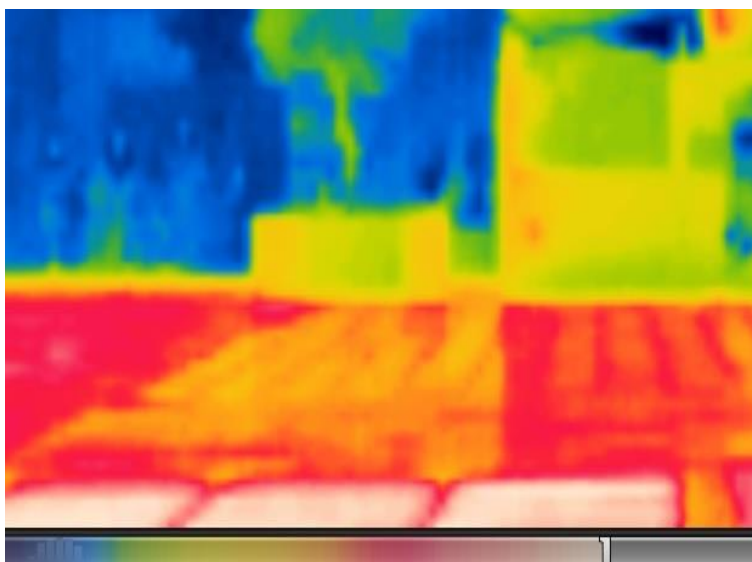




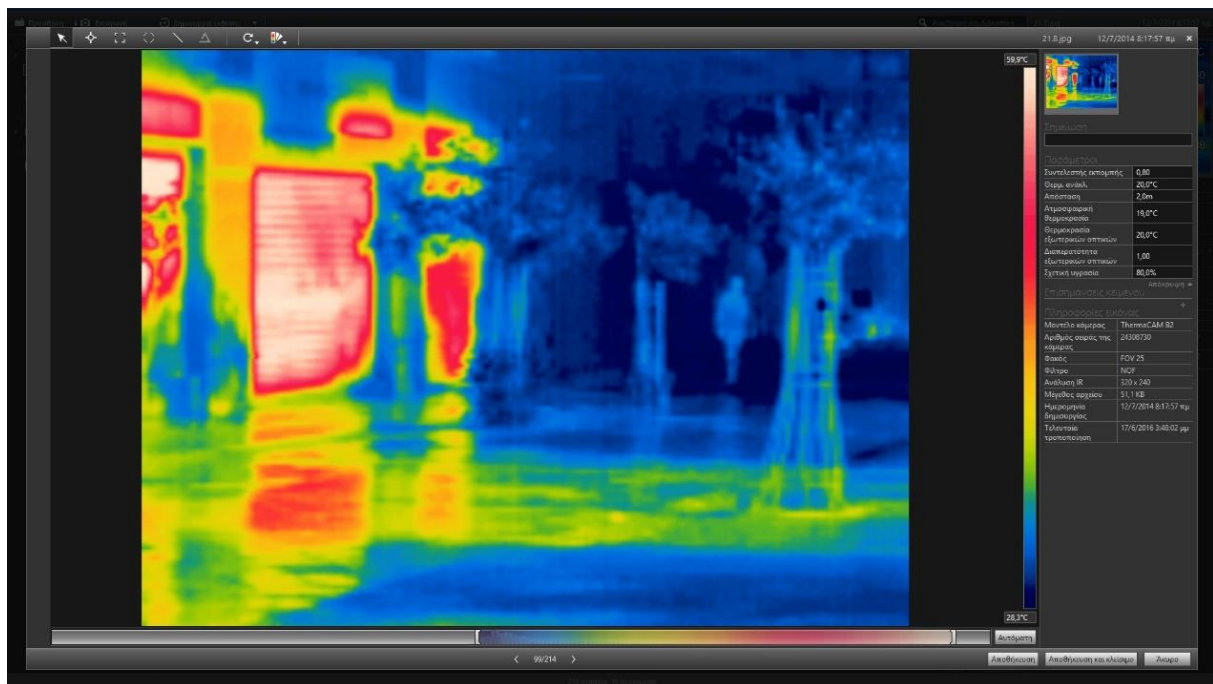
**Εικόνα 4.31 :** Αποτύπωση πεζοδρόμου Σατωβριάνδου στις 8.00 μ.μ.

Τέλος καταγράφηκε η επίδραση κάποιων παραμέτρων των οποίων η προσομοίωση δεν είναι εφικτή. Η παρουσία του μετρώ κάτω από την επιφάνεια της πλατείας και οι αεραγωγοί έχουν μια άγνωστη αλλά πιθανότητα υπολογίσιμη επιρροή στο μικρόκλιμα της πλατείας.

Ακόμα διάφορα μεταλλικά υλικά και κάθετες επιφάνειες όπως κάδοι, τοιχία, κολωνάκια και φανάρια συμμετέχουν στις διαδοχικές ανακλάσεις, φαινόμενο στο οποίο οφείλεται μια μικρή άνοδος της θερμοκρασίας.



**Εικόνα 4.32 :** Αεραγωγός επί της πλατείας.



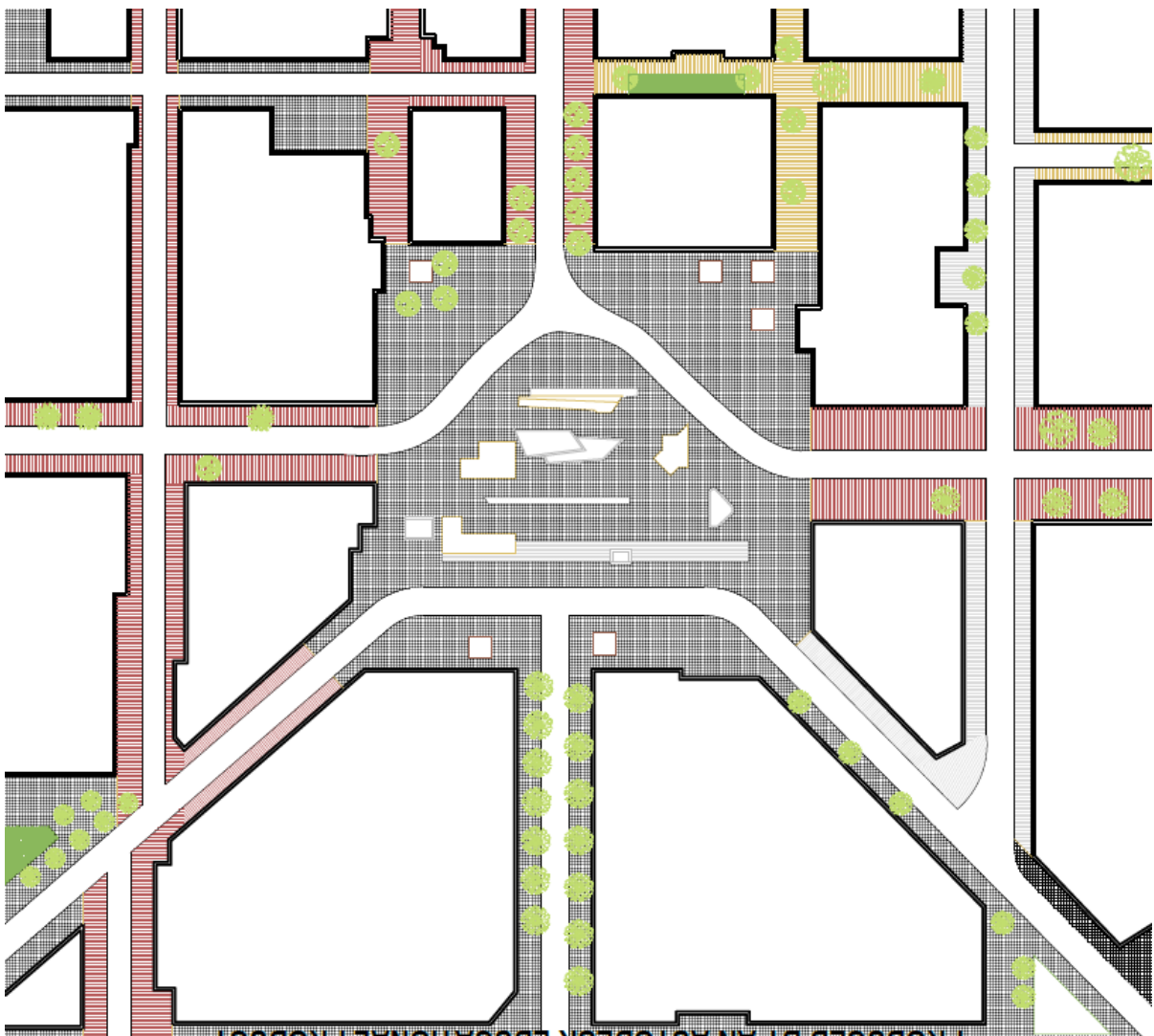
**Εικόνα 4.33 :** Αποτύπωση οδού Αιόλου στις 8.00πμ.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ENVI-MET.**

### **5.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΕΛΙΩΝ ΚΑΝΑΒΟΥ.**

Το επόμενο σκέλος μετά την επιτόπου καταγραφή των πραγματικών θερμοκρασιών ήταν η μοντελοποίηση της περιοχής σε ένα διαδομένο πρόγραμμα προσομοίωσης όπως είναι το ENVI-met και η μελέτη των αποτελεσμάτων του.

Για την όσο το δυνατόν πιο ακριβή τοποθέτηση των κτιρίων, των δέντρων και των υλικών επίστρωσης πάνω στον κάναβο σχεδιασμού είναι απαραίτητη η δημιουργία μιας απλουστευμένης εικόνας-υπόβαθρου του υπό μελέτη χώρου (εικόνα 5.1), κύριο χαρακτηριστικό της οποίας πρέπει να είναι ο διακριτός διαχωρισμός κτηρίων-υλικών επίστρωσης και η ακριβής θέση και είδος των δέντρων και της βλάστησης. Η κατασκευή της εικόνας αυτής έγινε με κύρια βάση το πρόγραμμα Google Earth όπου σχεδιάστηκαν τα κτήρια και τα ύψη αυτών καθώς και οι δρόμοι, και στη συνέχεια με απευθείας αποτύπωση των δέντρων και των υλικών πεζοδρόμησης από την περιοχή πάνω στην εικόνα.



*Εικόνα 5.1 : Εικόνα-υπόβαθρο της πλατείας Ομόνοιας [Πηγή προσωπική εργασία].*

Έχοντας διαμορφώσει το υπόβαθρο είναι πλέον όλα έτοιμα για την δημιουργία του input file της περιοχής.

## 5.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΟΥ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (input file).

Ξεκινώντας τη διαδικασία δημιουργίας του αρχείου πρέπει να καθοριστεί η κλίμακα που θα χρησιμοποιήσουμε.

Κύριο μέλημα είναι ο αριθμός των κελιών του κανάβου και οι διαστάσεις τους να είναι η βάση για τη δημιουργία μιας αναλυτικής εικόνας της περιοχής μέσα στην οποία θα μπορεί να αποδοθεί ένας πραγματικός λόγος των επιφανειών ( π.χ. για ένα λόγο πεζοδρομίου/δρόμου ίσο με ένα πέμπτο αν χρησιμοποιήσουμε το ελάχιστο ως πεζοδρόμιο δηλαδή 1 κελί, θα πρέπει να υπάρχουν 5 διαθέσιμα κελιά για τον δρόμο).

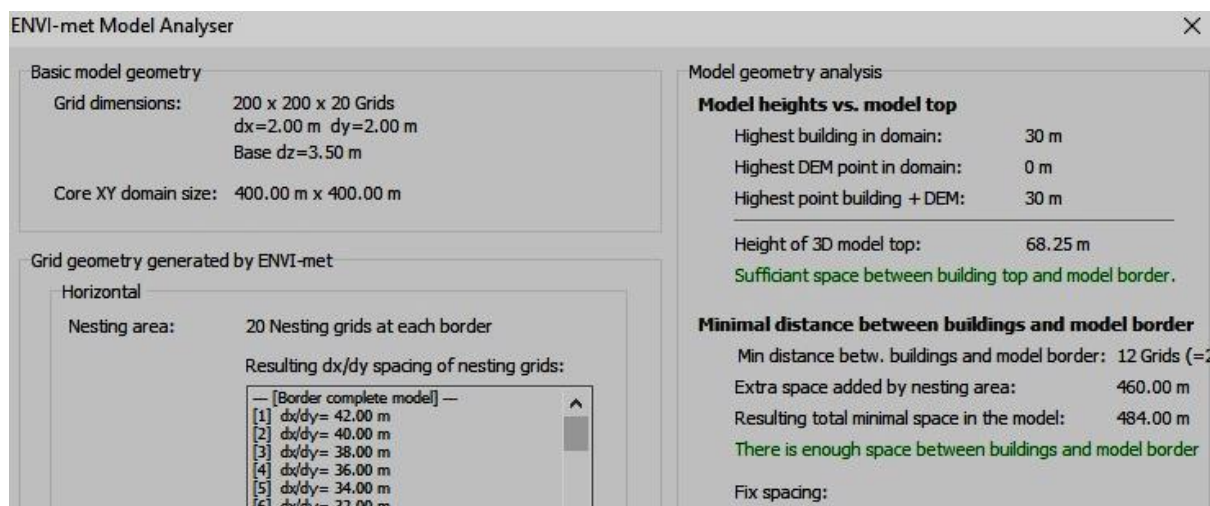
Οι διαστάσεις της πλατείας Ομονοίας μαζί με τα επαρκή όρια των περιμετρικών αστικών χαραδρών υπολογίστηκαν στα 300\*300 μέτρα. Το ψηλότερο κτήριο στην περιοχή δεν υπερβαίνει τα 30 μέτρα.

Με βάση τα στοιχεία αυτά οι διαστάσεις του κάθε κελιού του κανάβου ορίστηκαν ως  $dx=2m$  και  $dy=2m$ . Το  $dz$  ορίστηκε ίσο με 3,5m ύστερα από πολλαπλές δοκιμές κατά τον έλεγχο εγκυρότητας του αρχείου εισαγωγής δεδομένων πριν την τελική προσομοίωση.

Ο αριθμός των κελιών που απαρτίζει τον τελικό κανάβο επιλέχθηκε 200\*200\*20 ώστε να καλυφθεί το όριο του διπλάσιου ύψους από το ψηλότερο κτήριο και να μείνει ελεύθερη μία ικανοποιητική επιφάνεια μεταξύ των ορίων των κτηρίων και του μοντέλου.

Τέλος ο αριθμός των φανταστικών ελεύθερων κελιών στα περιθώρια του μοντέλου ορίστηκε ως 20.

Όπως βλέπουμε στο παράθυρο model inspector (Εικόνα 5.2) το τελικό αρχείο είναι έγκυρο και έτοιμο για την προσομοίωση.



**Εικόνα 5.2 :** Παράθυρο Model Inspector το οποίο ελέγχει την εγκυρότητα του αρχείου εισαγωγής δεδομένων [Πηγή : Προσωπική εργασία , ENVI-met].



Στη συνέχεια ορίστηκε ως ευρύτερη περιοχή μελέτης η Αθήνα (και αυτόματα από τη βάση δεδομένων ορίστηκαν τα γεωγραφικά στοιχεία) καθώς επίσης και η γωνία στροφής του μοντέλου προς τον Βορά ως 10.20 μοίρες , αλλά και το υψόμετρο ως 60 μέτρα.

Αφού όλα τα δεδομένα ήταν έτοιμα τοποθετήθηκε η φωτογραφία υποβάθρου και με βάση αυτή δημιουργήθηκαν τα κτίρια. Τα ύψη τους ποικίλουν από 6 έως 30 μέτρα.

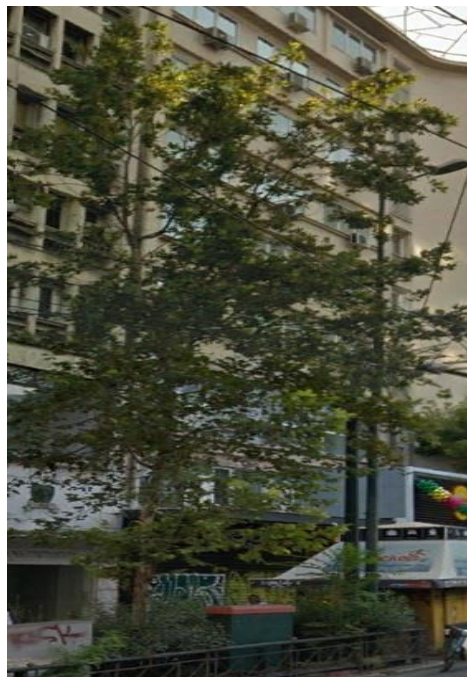
Το υλικό που επιλέχθηκε για τις προσόψεις και τις ταράτσες ήταν το πρότυπο υλικό concrete slab (πλάκες σκυροδέματος).

Η παρούσα έκδοση του προγράμματος προσφέρει τη δυνατότητα για λεπτομερή κατανομή των υλικών στις επιφάνειες των κτιρίων, όμως στην παρούσα φάση και σε έναν τόσο μεγάλο όγκο επιφανειών, κάτι τέτοιο κρίνεται πρακτικά αδύνατο.

Όσον αφορά τη βλάστηση χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα διαφορετικά στοιχεία φυτών από το αρχείο system 3D plants.

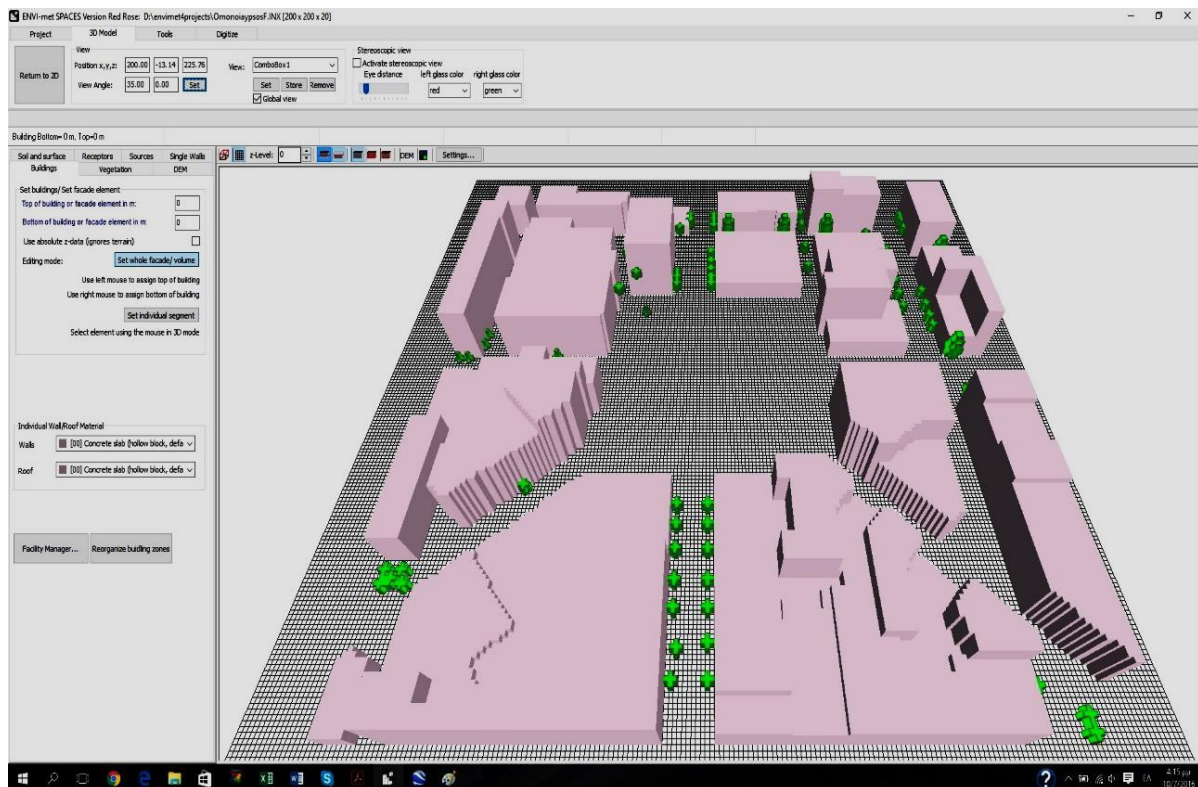
- Δέντρα με γυμνό κορμό τύπου φοίνικα ύψους 10 μέτρων μπροστά από το κτήριο του Hondos Center στο βορειοδυτικό τμήμα της πλατείας.
- Χαμηλά δέντρα ύψους 4 μέτρων με αραιό φύλλωμα.
- Δέντρα ύψους 7 μέτρων και εμβαδό φυλλώματος 6 μέτρα.
- Δέντρα ύψους 15 μέτρων αραιού φυλλώματος στη βορειοανατολική πλευρά της περιοχής.

Γρασίδι δεν υπήρχε σε κανένα σημείο ενώ στην περιοχή της πλατείας είχαν πρόσφατα φυτευτεί ορισμένα δεντράκια, στην ουσία κλαριά προς το παρόν, των οποίων η επίδραση θεωρήθηκε αμελητέα και δεν τοποθετήθηκαν.



**Εικόνα 5.3 :** Τα είδη των δέντρων που απαντώνται στην υπό μελέτη περιοχή.  
[Πηγή : Google Earth].

Τα φυτά τοποθετήθηκαν πάνω στην εικόνα υποβάθρου. Αντίθετα με την προηγούμενη έκδοση του Ενvi-met παρότι το στοιχείο του φυτού τοποθετείται σε ένα κελί του κανάβου ο χώρος που καταλαμβάνει είναι πραγματικός και αυτό φαίνεται καλύτερα στην τρισδιάστατη εικόνα του μοντέλου (Εικόνα 5.4).



**Εικόνα 5.4 :** Εικόνα του υπό μελέτη χώρου σε 3 διαστάσεις που εμπεριέχει το σύνολο των κτιρίων και της βλάστησης [Πηγή ENVI-met , προσωπική εργασία].

Το τελευταίο κομμάτι αφορούσε τα υλικά επίστρωσης.

Η βιβλιοθήκη του Envi-met 4 System Profiles περιλαμβάνει αρχεία των κυριότερων υλικών που παρουσιάζονται σε έναν αστικό χώρο.

Τα υλικά που τοποθετήθηκαν στον χώρο ήταν:

- Default unsealed Soil εκεί που τον χώρο καταλαμβάνουν τα κτίρια,
- Asphalt road κατά μήκος των δρόμων (Albedo = 0,2),
- Concrete Pavement Dark στα πεζοδρόμια (Albedo = 0,3),
- Concrete Pavement Gray στα πεζοδρόμια επί των οδών Πατησίων Αιόλου και Σατωβριάνδου. (Albedo = 0,4),
- Brick Road (Red Stones) στα πεζοδρόμια επί των οδών Πανεπιστημίου, Πειραιώς, Σωκράτους, Αγ Κωνσταντίνου, 3ης Σεπτεμβρίου και στον πεζόδρομο στο βορειοανατολικό μέρος της πλατείας. (Albedo = 0,3),
- Brick Road (Yellow Stones) στο πεζοδρομημένο μέρος της οδού Σατωβριάνδου και στον πεζόδρομο στο βορειοανατολικό μέρος της πλατείας. (Albedo = 0,5).

### 5.3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ENVI-met SIMULATION FILE.

Για την έναρξη της προσομοίωσης απαιτείται η δημιουργία ενός αρχείου ENVI-met simulation file στο οποίο καταχωρούνται τα στοιχεία που αφορούν το κλίμα της ημέρας προσομοίωσης.

Είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός φακέλου (workspace) όπου αποθηκεύονται το input file και το simulation file.

Στο αρχείο αυτό εισάγεται το input file που κατασκευάστηκε προηγουμένως και στη συνέχεια οι πληροφορίες.

Επιλέχθηκε για την προσομοίωση η τελευταία μέρα των μετρήσεων καθώς αντιπροσώπευε σε μεγαλύτερο βαθμό μια μέση καλοκαιρινή ημέρα με καθαρό ουρανό και βορειοανατολικό άνεμο και οι θερμικές φωτογραφίες που εξετάστηκαν ήταν καλύτερης ποιότητας.

Έτσι τα στοιχεία που δόθηκαν ήταν:

- Ημερομηνία προσομοίωσης : 12/7/2015
- Ώρα έναρξης της προσομοίωσης : 05.00.00
- Συνολικός χρόνος προσομοίωσης (ώρες) : 24h
- Ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο 10m από το έδαφος (m/s) : 2.5
- Κατεύθυνση ανέμου (σε μοίρες) : 25° (Βόρειος-Βορειοανατολικός)
- Ειδική υγρασία στα 2500m (gr νερού/kg αέρα) : 7
- Σχετική υγρασία στα 2m (%) : 55
- Αρχική θερμοκρασία (σε Kelvin) : 301.5

Η αρχική θερμοκρασία υπολογίζεται αυτόματα ύστερα από την εισαγωγή των θερμοκρασιών στις επιμέρους ώρες της ημέρας

Στη συνέχεια το μόνο που απομένει είναι να τρέξουμε το μοντέλο αφού πρώτα το περάσουμε από έναν έλεγχο χρησιμοποιώντας την επιλογή **Check** ώστε να αποφευχθούν πιθανά σφάλματα κατά την δημιουργία.

Καθώς το ENVI-met αποτελεί σύνθετο σύστημα προσομοίωσης, προκειμένου να τρέξει χρησιμοποιεί μεγάλο ποσοστό της υπολογιστικής δύναμης από τον υπολογιστή του χρήστη. Τρέχοντας κανείς απλές προσομοιώσεις μπορεί να εξοικειωθεί εύκολα με τον τρόπο που τα συστήματα του προγράμματος λειτουργούν καθώς και με τις ρυθμίσεις που πρέπει κανείς να προσαρμόσει για να ελέγξει την εκάστοτε προσομοίωση. Όπως μπορεί κανείς να δει, το αριθμητικό κλιματικό μοντέλο αποτελεί ένα πολύπλοκο μη γραμμικό σύστημα. Μικρές λεπτομέρειες, αβεβαιότητες και αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές ή προβλήματα στη συνολική προεπισκόπηση.

Πρόκειται για το γνωστό «φαινόμενο της πεταλούδας» στη «θεωρία του χάους».

Ακόμη και οι πιο εξελιγμένοι υπολογιστές, τρέχοντας έναν ημερήσιο κύκλο (είκοσι-τεσσάρων ωρών) για κάναβο διαστάσεων 250x250x30, μπορεί να χρειαστούν πάνω από μία εβδομάδα για την επεξεργασία των δεδομένων. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης το ENVI-met καταλαμβάνει ένα πυρήνα του επεξεργαστή και περίπου 3 GB μνήμης. [29] Η μεγάλων διαστάσεων προσομοίωση που έγινε στην πλατεία Ομόνοιας αποτελεί ένα δυνατό τεστ για την αξιοπιστία του προγράμματος. Ουσιαστικά εξετάζει τη λειτουργία του προγράμματος αρκετά κοντά στα όρια που μας δίνει τη δυνατότητα να δουλέψουμε και περιλαμβάνει ένα σύνθετο αστικό χώρο με οδικές χαράδρες διαφόρων διευθύνσεων.

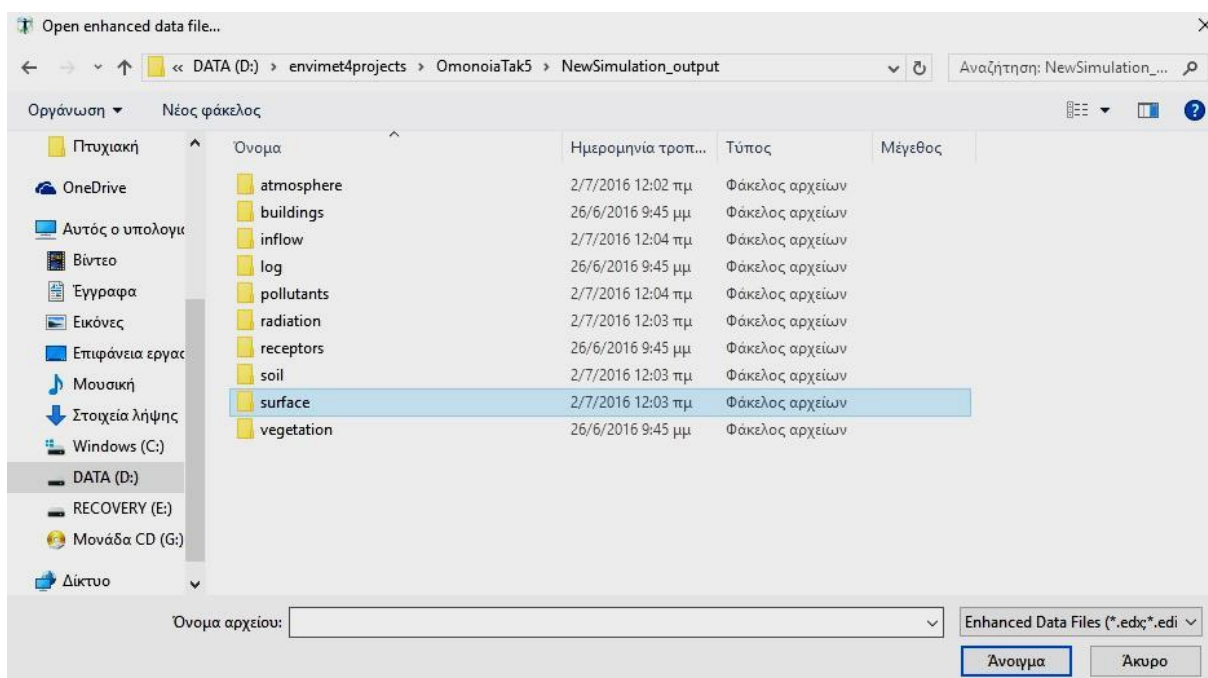


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

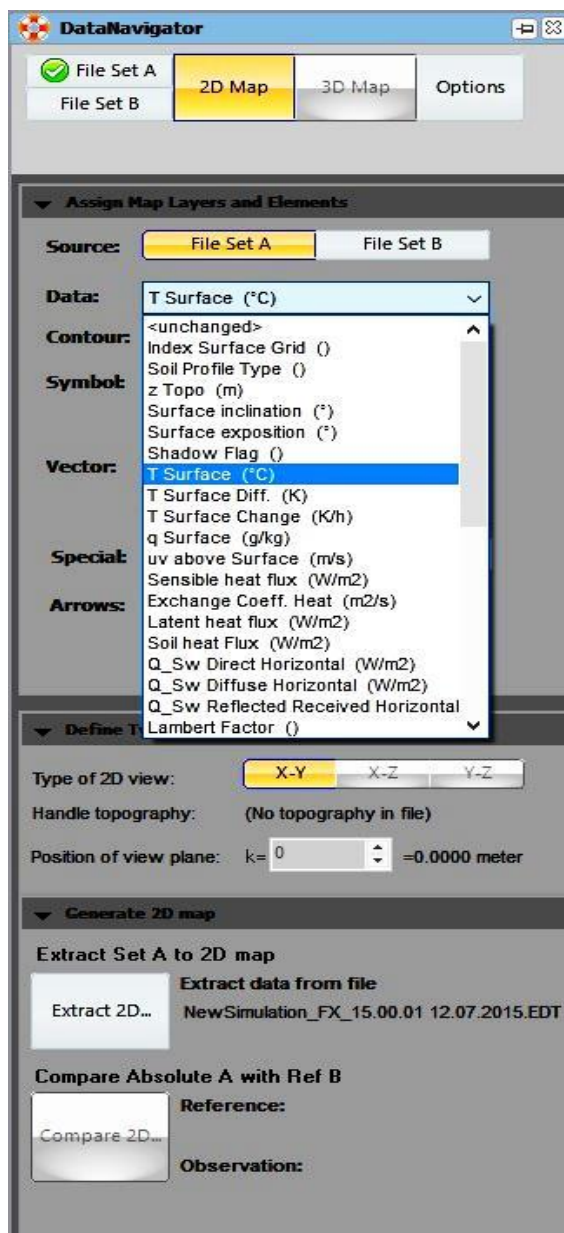
Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας με την οποία μελετήθηκε η πλατεία αφ' ενός με την χρήση του προγράμματος προσομοίωσης του μικροκλίματος, Envi-met 4 και αφ' ετέρου με την επί τόπου εκπόνηση μετρήσεων και την συσχέτιση των θερμικών φωτογραφιών. Έτσι λοιπόν με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και από τις δύο διαδικασίες δίνεται η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί μια σύγκριση ώστε να ελεγχθεί η αξιοπιστία του προγράμματος. Φυσικά ο έλεγχος αυτός περιορίζεται σε μερικές μόνο ώρες της ημέρας, αυτές στις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, αλλά μπορεί να θεωρηθεί επαρκής αφού οι ώρες αυτές είναι χαρακτηριστικές μέσα στη διάρκειά της.

### 6.1. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τα πρόγραμμα LEONARDO και Microsoft Excel.

Όπως αναφέρθηκε στο 2ο κεφάλαιο η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του ENVI-met πραγματοποιείται με τη βοήθεια του προγράμματος LEONARDO. Για να μπορέσουμε να δούμε τον χάρτη των επιφανειακών θερμοκρασιών επιλέγουμε στο παράθυρο Select File του Data Navigator το αρχείο EDX από των φάκελο επιφανειών (surface).



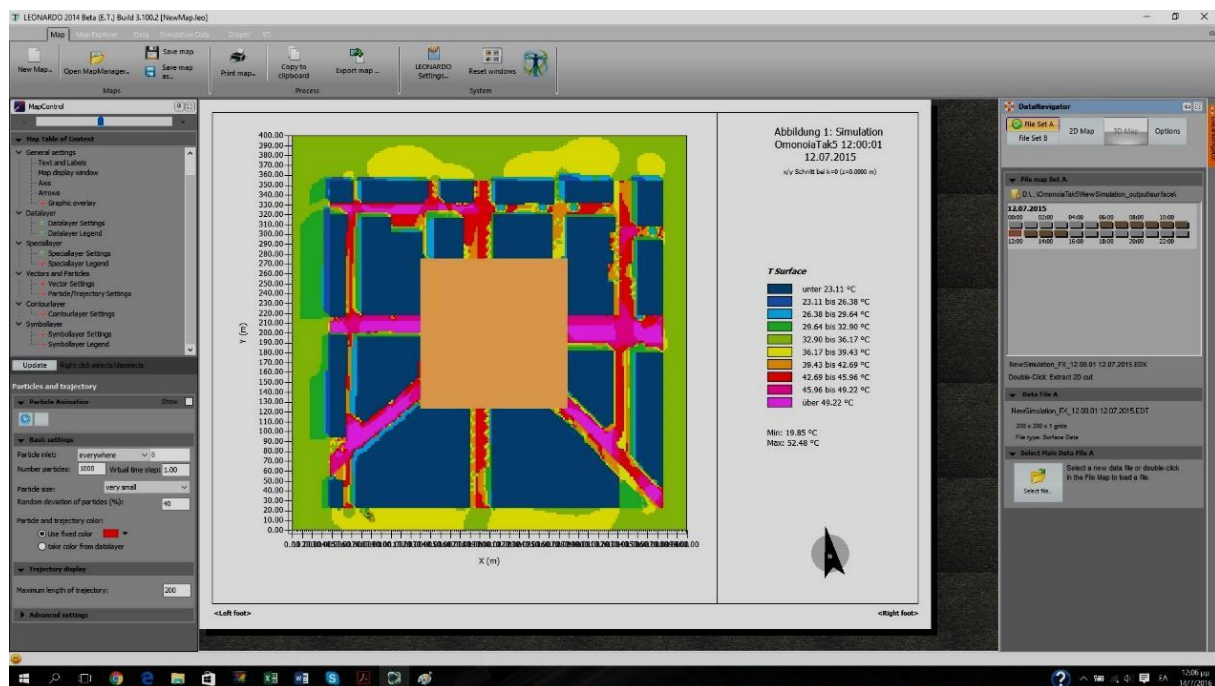
Εικόνα 6.1 : Φάκελοι δεδομένων που εμπεριέχουν τα αρχεία EDX για κάθε ώρα.



Εικόνα 6.2 : Επιλογή δεδομένων

Το φίλτρο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση της θερμοκρασίας (T Surface) των επιφανειών είναι το φίλτρο data.

Η επόμενη επιλογή απεικονίζει τη διαφορά της επιφανειακής θερμοκρασίας κάθε κελιού του κανάβου από την προηγούμενη ώρα. Επιλέγοντας τώρα Extract 2D το πρόγραμμα δημιουργεί τον τελικό χάρτη, για οποιαδήποτε ώρα του ζητηθεί.

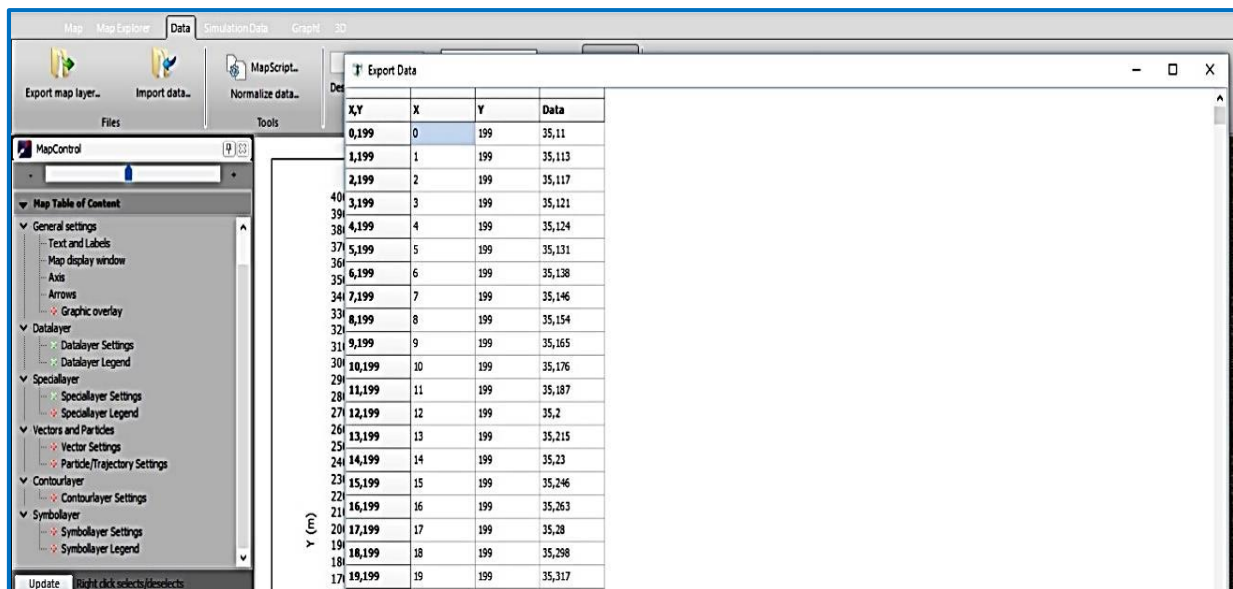


**Εικόνα 6.3 :** Χάρτης δύο διαστάσεων που απεικονίζει της θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους [Πηγή Leonardo , προσωπική εργασία].

Ο χάρτης απεικονίζει με χρώματα τις θερμοκρασίες των κελιών του κανάβου που αντιστοιχούν σε κάποιο θερμοκρασιακό εύρος. Το σκούρο μπλε χρώμα υποδεικνύει τις χαμηλότερες θερμοκρασίες ενώ το ανοιχτό μωβ τις υψηλότερες. Βλέπουμε ότι η διακύμανση των θερμοκρασιών είναι πολύ μεγάλη, ακόμα και στο πλαίσιο μιας οδικής χαράδρας για να μπορέσουμε να βγάλουμε αναλυτικές τιμές για τη σύγκριση με τις πραγματικές μετρήσεις.

Η μεθοδολογία που επιλέχτηκε για να αποκτήσουμε μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία βασίστηκε στη χρήση του προγράμματος Excel.

Το Leonardo μας δίνει τη δυνατότητα μέσω της επιλογής Data > Export Map Layer να δούμε αναλυτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα του κάθε κελιού ξεχωριστά και να τα αποθηκεύσουμε σε ένα αρχείο Excel. Παρακάτω βλέπουμε ότι η ακρίβεια της θερμοκρασίας φτάνει στο 3ο δεκαδικό ψηφίο.



**Εικόνα 6.4 :** Αριθμητικές τιμές θερμοκρασιών για κάθε κελί της κανάβου [Πηγή Leonardo , προσωπική εργασία].

Στη συνέχεια τα κελιά μπορούν να διαχωριστούν και με την κατάλληλη μορφοποίηση σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα να γίνει μία αριθμητική απεικόνιση των σημείων του χάρτη που μας ενδιαφέρει. Στον πίνακα 6.1 φαίνεται η οδός Αθηνάς σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ENVI-met στις 12.00 μ.μ.



**Πίνακας 6.1 :** Αριθμητική απεικόνιση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αθηνάς [Πηγή Microsoft Excel , προσωπική εργασία].

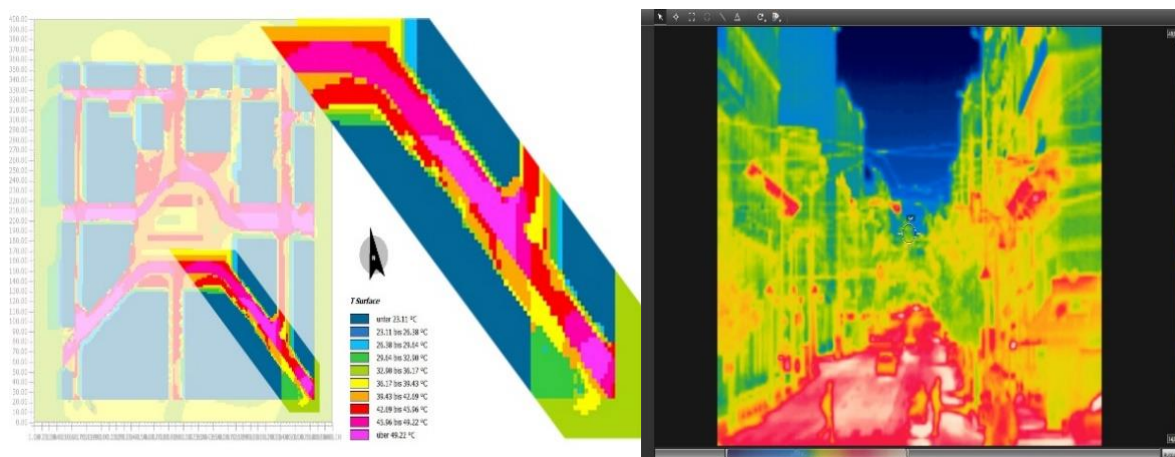
39,93	39,69	42,97	42,835	42,744	42,651	41,925	40,799	37,231	30,506
39,797	39,51	42,692	42,604	42,274	42,067	41,382	40,329	36,564	29,327
39,914	39,503	42,522	42,24	41,995	41,82	41,274	40,419	36,708	29,084
39,974	39,466	42,406	42,154	41,938	41,891	41,47	40,712	36,839	28,979
39,684	39,494	42,429	42,197	42,032	42,041	41,653	36,813	36,432	28,975
35,448	39,247	42,529	42,299	42,147	42,171	37,65	35,996	32,448	29,01
35,834	37,312	42,644	42,422	42,274	42,069	40,472	34,278	34,184	29,045
37,75	39,763	42,815	42,588	42,438	42,503	42,089	40,326	34,495	29,054
40,276	39,907	43,013	42,764	42,614	42,646	42,235	41,297	36,965	29,058
40,077	40,033	43,179	42,939	42,758	42,778	42,28	37,056	36,475	29,072
35,767	39,808	43,327	43,085	42,882	42,85	37,997	36,119	32,441	29,124
36,104	37,775	43,453	43,19	42,978	42,628	40,79	34,314	34,147	29,168
38,112	40,276	43,574	43,319	43,09	42,997	42,364	40,341	34,451	29,178
40,653	40,361	43,693	43,423	43,161	43,054	42,418	41,248	36,885	29,185
40,71	40,42	43,764	43,504	43,209	43,09	42,409	41,231	36,871	29,189
40,387	40,423	43,803	43,527	43,245	43,075	42,358	36,961	36,363	29,227
35,909	40,071	43,768	43,524	43,216	43,022	37,978	36,016	32,411	29,261
36,164	37,906	43,735	43,482	43,172	42,689	40,694	34,235	34,078	29,316
38,102	40,328	43,706	43,445	43,152	42,93	42,171	40,101	34,361	29,33
40,557	40,318	43,68	43,417	43,12	42,894	42,159	40,954	36,747	29,319
40,537	40,3	43,653	43,381	43,076	42,848	42,123	40,927	36,722	29,323
40,495	40,259	43,599	43,332	43,03	42,796	42,069	40,873	36,693	29,337
40,115	40,193	43,518	43,264	42,939	42,726	41,96	36,72	36,194	29,35
35,698	39,806	43,42	43,17	42,852	42,603	37,687	35,809	32,35	29,384
35,988	37,664	43,33	43,078	42,754	42,25	40,325	34,09	33,95	29,409
37,875	40,046	43,283	43,024	42,687	42,464	41,695	39,743	34,246	29,412
40,321	40,063	43,272	42,965	42,637	42,393	41,692	40,567	36,565	29,417
40,335	40,073	43,242	42,93	42,569	42,346	41,645	40,54	36,548	29,407
39,987	40,028	43,201	42,865	42,521	42,27	41,557	36,504	36,06	29,413
35,615	39,647	43,096	42,794	42,432	42,168	37,391	35,633	32,298	29,424
35,913	37,524	43,011	42,706	42,344	41,83	39,995	33,958	33,856	29,455
37,733	39,855	42,951	42,642	42,281	42,025	41,289	39,442	34,131	29,455
40,113	39,85	42,924	42,595	42,231	41,969	41,263	40,201	36,397	29,458
40,093	39,836	42,904	42,547	42,17	41,906	41,214	40,144	36,378	29,467
40,047	39,809	42,86	42,5	42,117	40,736	37,062	29,956	29,894	29,457
39,976	39,765	42,624	41,758	41,015	39,573	36,283	29,913	29,88	29,455
36,848	38,953	42,124	41,256	40,509	39,18	33,755	29,891	29,869	29,461
34,953	34,365	41,238	40,808	40,312	39,114	36,173	29,891	29,851	29,468
33,388	34,843	38,299	40,736	40,254	39,072	36,163	29,881	29,865	29,46
37,454	36,203	41,444	40,711	40,228	39,057	36,161	29,88	29,854	29,438
38,935	38,531	41,47	40,721	40,225	39,062	36,169	29,87	29,843	29,427
38,943	38,529	41,488	40,742	40,24	39,083	36,17	29,856	29,841	29,414
38,616	38,497	41,467	40,745	40,255	39,089	36,169	29,836	29,828	29,397
34,43	38,138	41,416	40,726	40,266	39,088	33,689	29,825	29,815	29,395
35,001	36,093	41,373	40,71	40,262	39,094	36,168	29,823	29,805	29,391
36,528	38,395	41,368	40,728	40,282	39,132	36,19	29,831	29,81	29,368
38,882	38,423	41,399	40,757	40,33	39,845	38,143	36,248	29,809	29,352
38,901	38,451	41,638	41,309	41,016	40,743	39,273	36,3	29,815	29,337
39,022	38,895	42,097	41,713	41,309	40,826	39,35	36,329	29,83	29,335
39,28	38,995	42,107	41,764	41,383	40,903	39,397	36,371	29,836	29,331
39,224	38,954	42,122	41,803	41,44	40,978	39,467	36,397	29,839	29,335
39,147	38,911	42,107	41,818	41,494	41,033	39,52	36,443	29,842	29,329
39,054	38,843	42,066	41,831	41,54	41,086	39,566	36,468	29,86	29,321
38,93	38,766	42,018	41,826	41,562	41,123	40,85	39,687	36,499	29,31

Παρατηρούμε στη δεξιά μεριά του πίνακα πως δημιουργούνται κυκλικά σχήματα στα σημεία με χαμηλές θερμοκρασίες. Τα σημεία αυτά αντιστοιχούν στα σκιασμένα μέρη του δρόμου. Ο πίνακας αυτός μας δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής ενός πραγματικού μέσου όρου θερμοκρασιών αλλά και, με τη χρήση φίλτρων, την καταγραφή της πραγματικής μέσης θερμοκρασίας για κάθε κατάσταση της επιφάνειας. Για παράδειγμα υπάρχει η δυνατότητα του υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας των κελιών με θερμοκρασία άνω των 38 βαθμών, προκειμένου να προσδιοριστεί η μέση θερμοκρασία του μη σκιασμένου μέρους του δρόμου. Ακόμα τα 2 πρώτα κελιά από αριστερά αντιστοιχούν σε θερμοκρασίες του πεζοδρομίου (χαμηλότερο δείκτη ανακλαστικότητας από την άσφαλτο) για αυτό και έχουν χαμηλότερες τιμές.

## 6.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για μία παράλληλη οπτικά και αριθμητικά σύγκριση παρακάτω παρατίθενται το οπτικοποιημένο μέρος της κάθε οδού από το Leonardo και δίπλα η αντίστοιχη φωτογραφία της. Από κάτω παρουσιάζονται σε πίνακες οι μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες σε °C των υλικών επίστρωσης για τις ώρες 8.00 π.μ. , 12.00 μ.μ. , 4.00 μ.μ. και 8.00 μ.μ. και ορισμένα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των θερμοκρασιών από τις φωτογραφίες αλλά και από τις τιμές του ENVI-met τις ενδιαμέσες ώρες.

### •→ Οδός Σταδίου (12/7/2015 , 12.00 μ.μ.)



Εικόνα 6.5 : Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σταδίου στις 12.00 μ.μ.

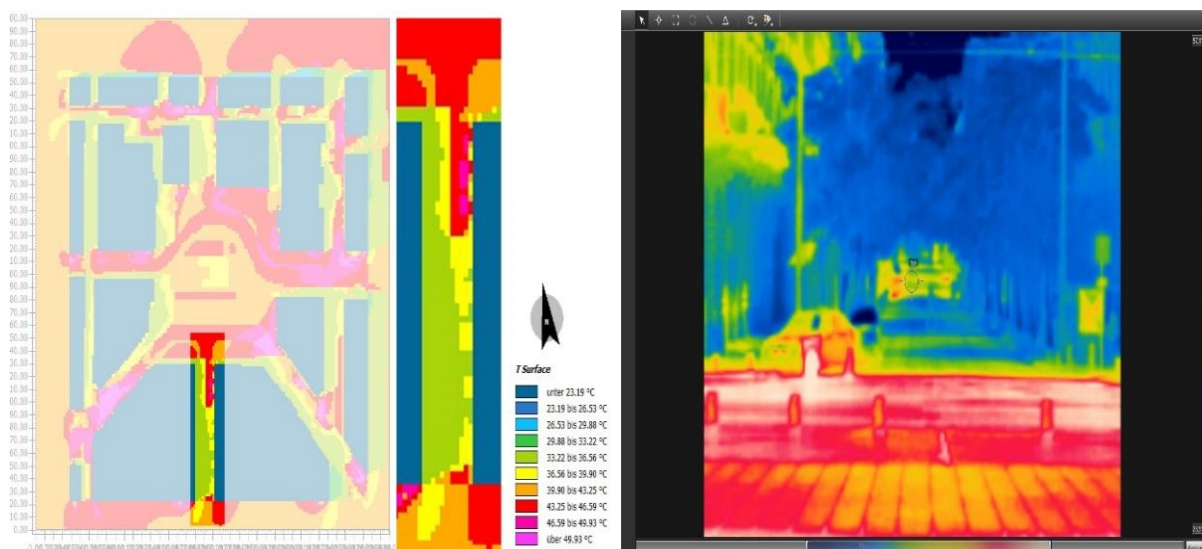
Πίνακας 6.2 : Θερμοκρασίες της οδού Σταδίου.

Σταδίου	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	23,6	25,8	-2,2
12.00 μ.μ.	47,0	46,6	0,4
4.00 μ.μ.	38,5	38	0,5
8.00 μ.μ.	32,5	33,6	-1,1
Average	35,4	36	-0,6

Η οδός Σταδίου έχει βορειοδυτική κατεύθυνση. Μένει πλήρως εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία τις ώρες μεταξύ 11.00 π.μ. και 1.00 μ.μ. Στις 12.00 μ.μ. όπως φαίνεται και στην εικόνα αποτελεί ένα πολύ ζεστό δρόμο με μέση θερμοκρασία ασφάλτου 46,6°C. Στις 4.00 μ.μ. όπου ήδη έχει σκιαστεί πλήρως παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία έχει προλάβει να πέσει στους 38°C, τιμή αρκετά χαμηλή. Η πτώση της θερμοκρασίας μέχρι τις 8.00 μ.μ. είναι κοντά στους 5°C τιμή αρκετά χαμηλή.

- Παρατηρούμε διαφορά 2,2° C στην τιμή του ENVI-met για τις 8.00 π.μ.

•→ **Οδός Αθηνάς – μη σκιασμένο μέρος (12/7/2015 , 04.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.6 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αθηνάς στις 4.00 μ.μ.

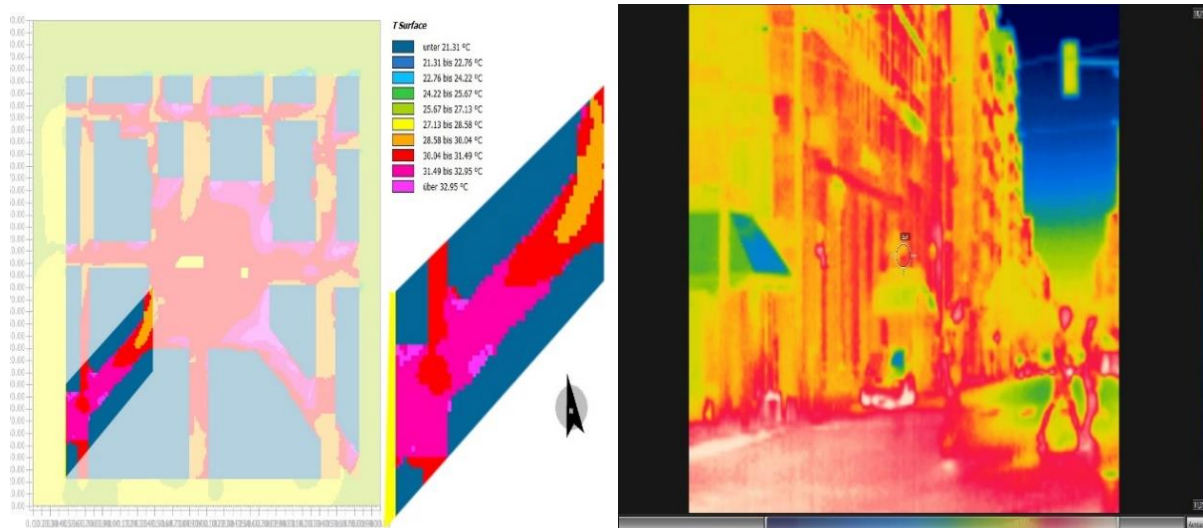
**Πίνακας 6.3 :** Θερμοκρασίες της οδού Αθηνάς.

Αθηνάς	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	25,4	26,3	-0,9
12.00 μ.μ.	42,3	41,7	0,6
4.00 μ.μ.	36,5	36	0,5
8.00 μ.μ.	30,0	30,7	-0,7
Average	33,5	33,6	-0,1

Η οδός Αθηνάς αποτελεί τη μία από τις 2 ασφάλτινες οδικές χαράδρες με κατεύθυνση βορά-νότο όπου κυρίαρχο ρόλο στο μικρόκλιμά τους παίζουν τα δέντρα. Συναντάμε συστοιχία δέντρων σε κάθε πλευρά οι οποίες σκιάζουν ένα πολύ μεγάλο κομμάτι κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το μεγάλο όφελος τους είναι πως προσφέρουν ευεργετική σκίαση κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών στις οποίες οι δρόμοι αυτοί είναι εκτεθειμένοι στην ηλιακή ακτινοβολία. Η διαφορά στη θερμοκρασία της ασφάλτου μεταξύ των μη σκιασμένων και σκιασμένων κομματιών φτάνει και τους 15°C τις πιο ζεστές ώρες της ημέρας. Παρατηρούμε ότι στις 12.00 μ.μ. η μέση θερμοκρασία της ασφάλτου που είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία είναι περίπου 42°C. Η πραγματική συνολική θερμοκρασία, μαζί με το σκιασμένο κομμάτι είναι 37°C. Η διαφορά είναι πολύ σημαντική.

- Οι τιμές του ENVI-met ανταποκρίνονται πολύ καλά στην πραγματικότητα.

•→ **Οδός Πειραιώς (12/7/2015 , 08.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.7 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Πειραιώς στις 8.00 μ.μ.

**Πίνακας 6.4 :** Θερμοκρασίες της οδού Πειραιώς

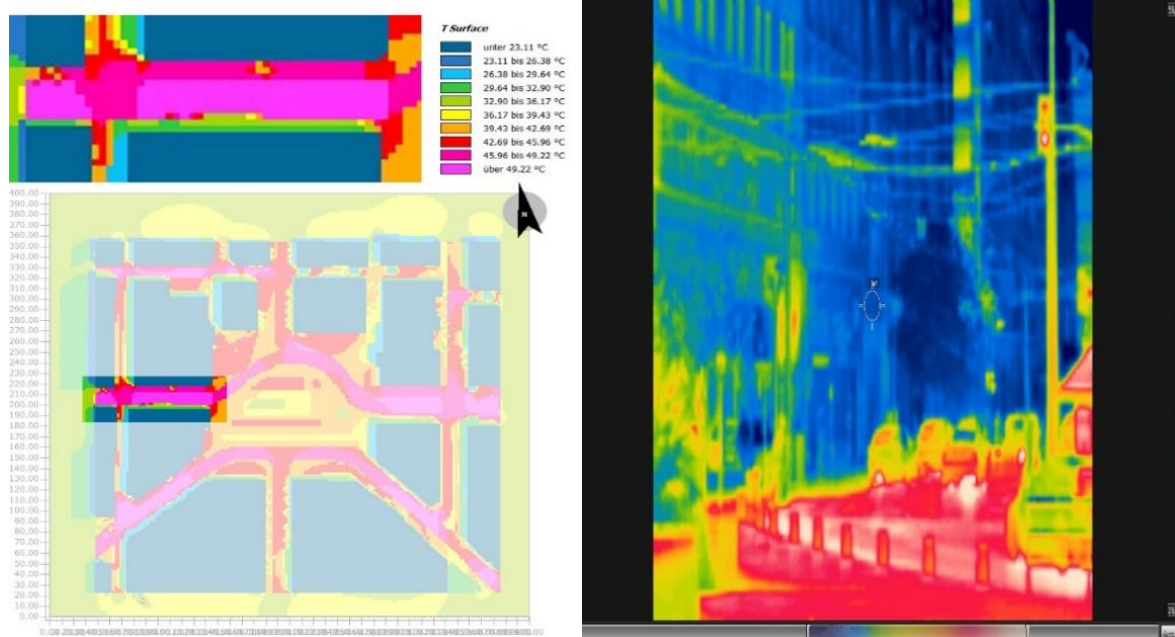
Πειραιώς	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	30,8	31	-0,2
12.00 μ.μ.	49,2	48	1,2
4.00 μ.μ.	47,9	47,5	0,4
8.00 μ.μ.	30,5	30,3	0,2
Average	39,6	39,2	0,4

Η οδός Πειραιώς είναι ο δεύτερος δρόμος με διαγώνιο προσανατολισμό, αυτή τη φορά βορειοανατολικό. Μένει εκτεθειμένη στον ήλιο μέχρι τις απογευματινές ώρες όπου από εκεί και πέρα σκιάζεται πλήρως. Έτσι παρατηρούμε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (48°C και 47,5°C) κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και πολύ μεγάλη πτώση θερμοκρασίας από τις 4.00 μ.μ. έως τις 8.00 μ.μ. Σε αυτό παίζει ρόλο ο μεγάλος δείκτης SVF που οφείλεται στα μεγάλα ανοίγματα που συναντάμε στην οδική χαράδρα της οδού Πειραιώς.

- Παρατηρούμε διαφορά 1,2°C στην τιμή του ENVI-met για τις 12.00 μ.μ.



•→ **Οδός Αγίου Κωνσταντίνου (12/7/2015 , 12.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.8 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αγ. Κωνσταντίνου στις 12.00 μ.μ.

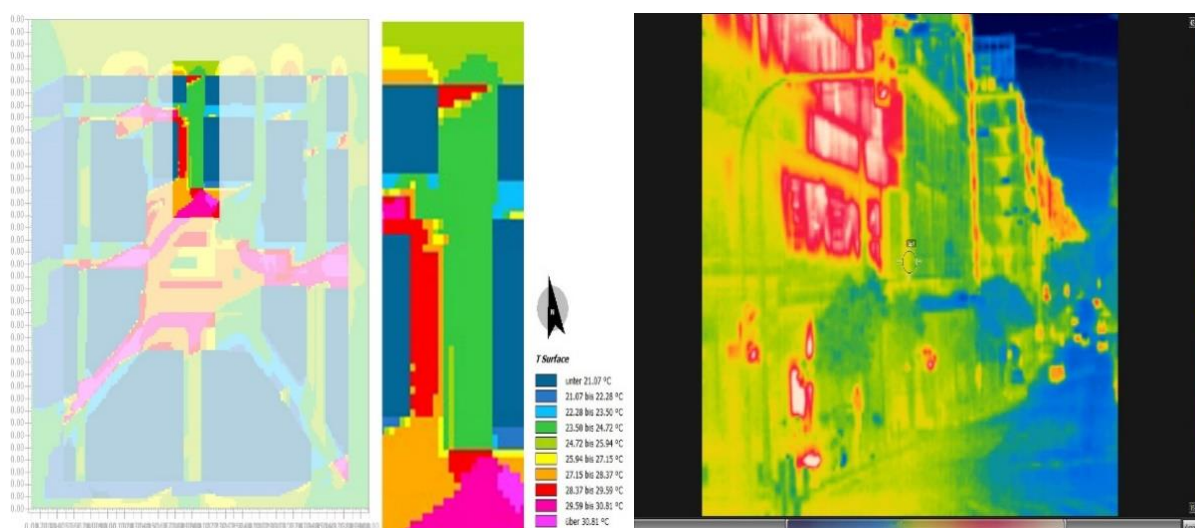
**Πίνακας 6.5 :** Θερμοκρασίες της οδού Αγ. Κωνσταντίνου.

Αγ. Κων/ίνου	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	31,9	35	-3,1
12.00 μ.μ.	49,2	49	0,2
4.00 μ.μ.	49,9	49,5	0,4
8.00 μ.μ.	35,1	38	-2,9
Average	41,6	42,9	-1,3

Η κατεύθυνση της οδού Αγίου Κωνσταντίνου είναι ανατολή-δύση. Οδικές χαράδρες με αυτό τον προσανατολισμό ειδικά όταν συνδυάζονται με ένα χαμηλό λόγο ύψους –πλάτους μένουν εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία για πολύ μεγάλο διάστημα μέσα στην ημέρα, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες. Η οδός Αγ. Κωνσταντίνου παρουσιάζει πολύ υψηλές θερμοκρασίες (49 – 49,5°C) κατά τη διάρκεια της μέρας και εμφανίζεται ως ένας από τους πιο ζεστούς δρόμους. Η απουσία δέντρων είναι χαρακτηριστική. Η θερμοκρασία στις 8.00 μ.μ. παραμένει αρκετά υψηλή παρά τη μεγάλη της πτώση.

- Παρατηρούμε μεγάλες διαφορές (3°C) στις ώρες 8.00 π.μ. και 8.00 μ.μ. Οι μεσημεριανές τιμές ανταποκρίνονται πολύ καλά στην πραγματικότητα.

•→ **Οδός 3ης Σεπτεμβρίου (12/7/2015 , 08.00 π.μ.)**



**Εικόνα 6.9 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου στις 8.00 π.μ.

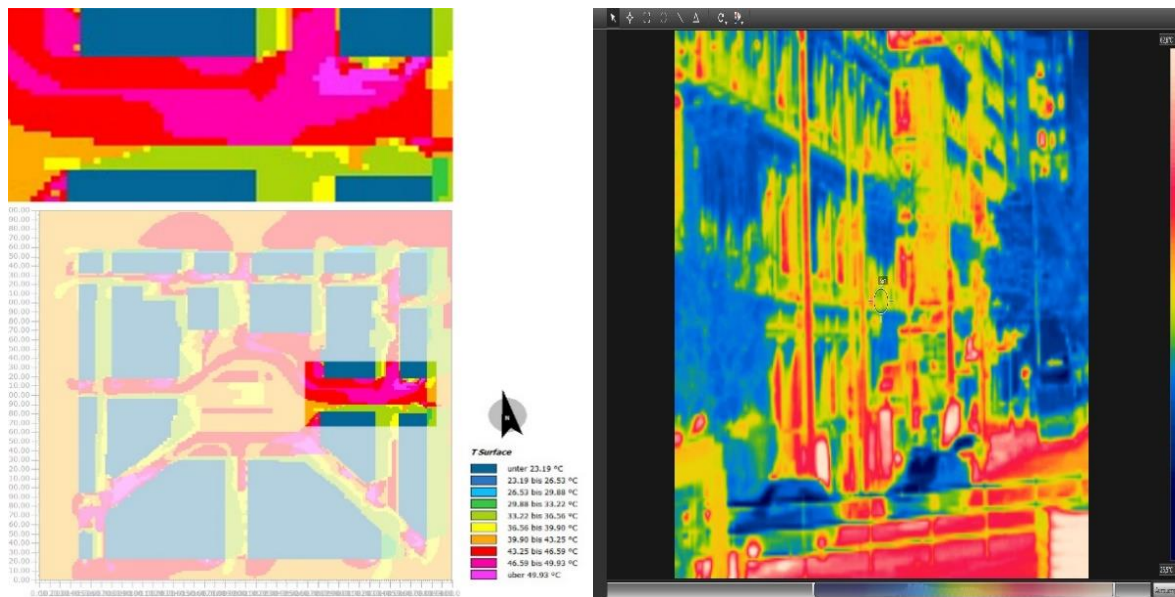
**Πίνακας 6.6 :** Θερμοκρασίες της οδού 3ης Σεπτεμβρίου

3ης Σεπ/ρίου	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	26,5	27,5	-1
12.00 μ.μ.	43,7	44	-0,3
4.00 μ.μ.	37,0	37,8	-0,8
8.00 μ.μ.	29,4	29,4	0
Average	34,1	34,7	-0,6

Η οδός 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου δημιουργεί μια κλασσική οδική χαράδρα με κατεύθυνση βορά-νότο σχετικά μικρού λόγου ύψους/πλάτους και με παρουσία δέντρων που όμως δεν δημιουργούν ικανές συνθήκες σκίασης. Οι οδικές χαράδρες τέτοιου προσανατολισμού μένουν εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία τις μεσημεριανές ώρες ανάλογα με το λόγω ύψους/πλάτους και τη μορφολογία που τις χαρακτηρίζει. Φαίνεται ότι τις πρωινές και τις βραδινές ώρες η θερμοκρασία της ασφάλτου παραμένει πολύ χαμηλή. Επειδή πρόκειται για ένα πλατύ δρόμο στις 12.00 μ.μ. ήδη συναντάμε αρκετά υψηλή θερμοκρασία ( 44°C). Το ψηλό κτήριο του Hondos Center όμως στα δυτικά της, δημιουργεί ικανές συνθήκες σκίασης τις απογευματινές ώρες ώστε να παρουσιάζει χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες.

- Οι τιμές του ENVI-met ανταποκρίνονται καλά στην πραγματικότητα.

•→ Οδός Πανεπιστημίου (12/7/2015 , 4.00 μ.μ.)



**Εικόνα 6.10 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Πανεπιστημίου στις 4.00 μ.μ.

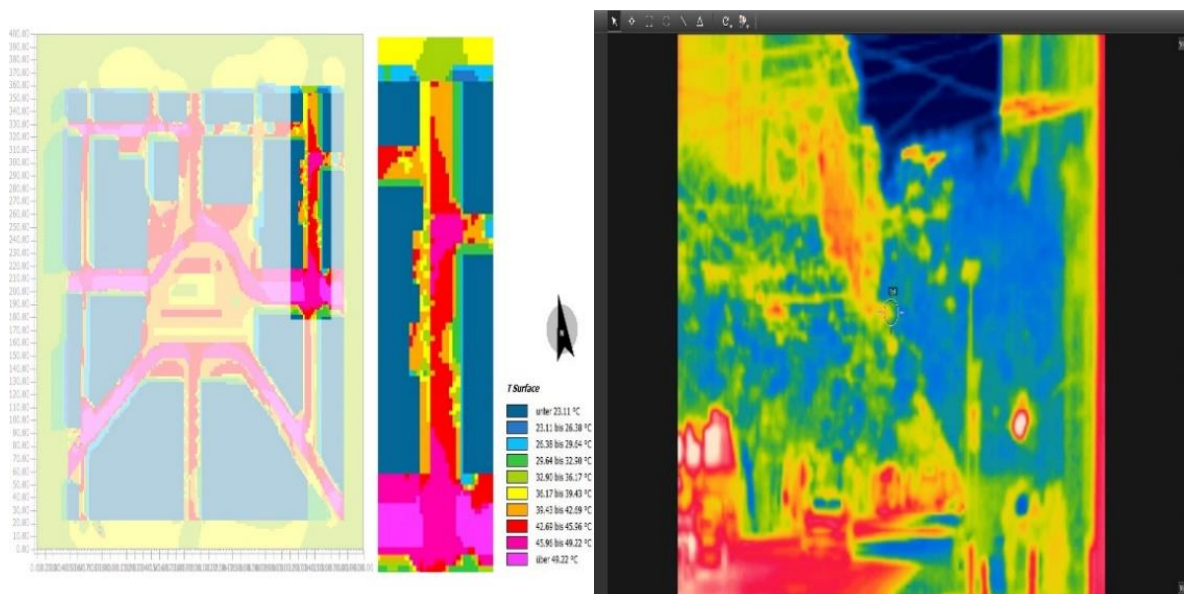
**Πίνακας 6.7 :** Θερμοκρασίες της οδού Πανεπιστημίου

Παν/στημίου	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	30,3	31,5	-1,2
12.00 μ.μ.	47,7	48,5	-0,8
4.00 μ.μ.	49,3	50	-0,8
8.00 μ.μ.	34,4	35,8	-1,5
Average	40,4	41,5	-1,1

Η κατεύθυνση της οδού Πανεπιστημίου είναι ανατολή-δύση. Η οδός Πανεπιστημίου παρουσιάζει πολύ υψηλές θερμοκρασίες (48,5 - 50°C) κατά τη διάρκεια της μέρας και εμφανίζεται ως ένας από τους πιο ζεστούς δρόμους. Τα δέντρα παίζουν ελάχιστο ρόλο στη σκίαση. Εξαιτίας του χαμηλού λόγου ύψους/πλάτους η πτώση της θερμοκρασίας από τις 4.00 μ.μ. μέχρι τις 8.00 μ.μ. είναι πολύ μεγάλη (περίπου 15°C).

- Παρατηρούμε διαφορά 1,2°C στην τιμή του ENVI-met για τις 8.00 π.μ. και 1,5°C για τις 8.00 μ.μ.

•→ Οδός Πατησίων μη σκιασμένο μέρος (12/7/2015 , 12.00 μ.μ.)



**Εικόνα 6.11 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Πατησίων στις 12.00 μ.μ.

**Πίνακας 6.8 :** Θερμοκρασίες της οδού Πατησίων

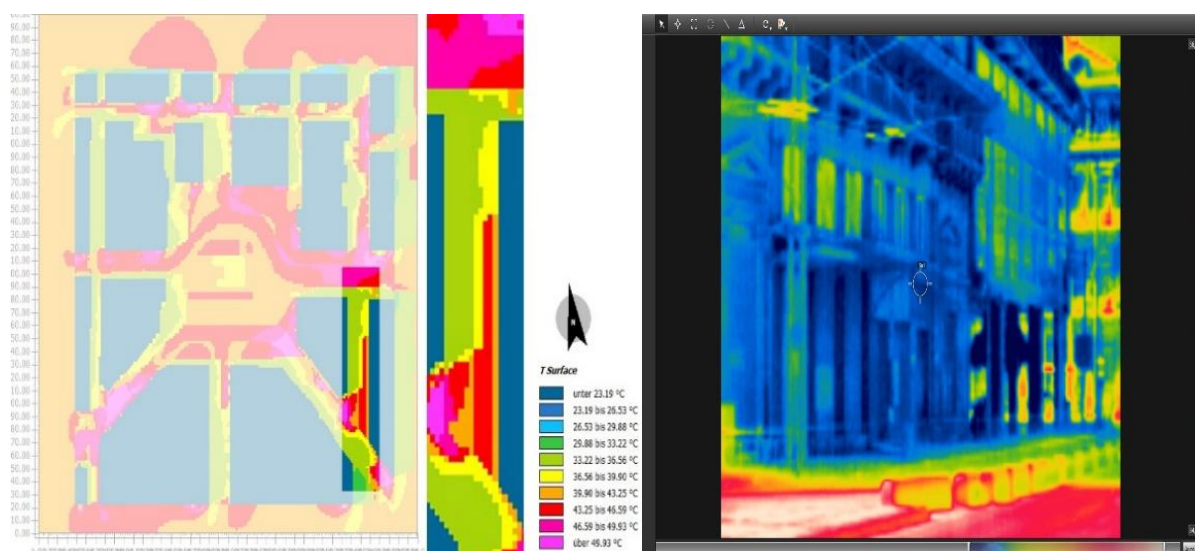
Πατησίων	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	24,7	25,5	-0,8
12.00 μ.μ.	43,4	43	0,4
4.00 μ.μ.	44,6	44,2	0,4
8.00 μ.μ.	31,4	32,1	-0,7
Average	36,0	36,2	-0,2

Η οδική χαράδρα της οδού Πατησίων αποτελεί παρόμοια περίπτωση με της οδού Αθηνάς, με συστοιχίες δέντρων και στα 2 πεζοδρόμια. Η διαφορά τους είναι ότι έχει μικρότερο δείκτη Ύψους/Πλάτους και έτσι η σκιά που δημιουργείται από τα δέντρα καλύπτει μικρότερο μέρος της επιφάνειας του δρόμου. Έτσι παρατηρούμε θερμές επιφάνειες και τις 2 μεσημεριανές ώρες όπου η θερμοκρασία ανεβαίνει στους 43°C και 44°C. Η πραγματικές συνολικές θερμοκρασίες αυτές τις ώρες, μαζί με το σκιασμένο κομμάτι είναι 37,9°C και 37,2°C περίπου 1°C υψηλότερες από τις αντίστοιχες της οδού Αθηνάς.

- Οι τιμές του ENVI-met ανταποκρίνονται πολύ καλά στην πραγματικότητα



•→ **Οδός Αιόλου (12/7/2015 , 04.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.12 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Αιόλου στις 4.00 μ.μ.

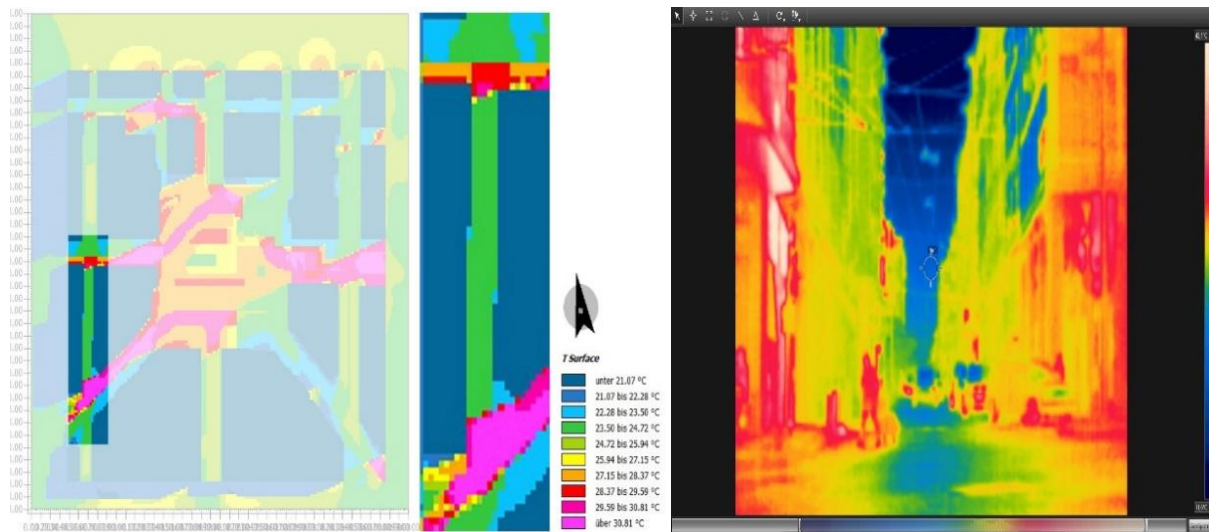
**Πίνακας 6.9 :** Θερμοκρασίες της οδού Αιόλου

Αιόλου	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	25,4	28	-2,6
12.00 μ.μ.	42,7	42,7	0
4.00 μ.μ.	39,6	40,2	-0,6
8.00 μ.μ.	31,0	32,8	-1,8
Average	34,7	35,9	-1,2

Η οδός Αιόλου αποτελεί μία οδική χαράδρα μεγαλύτερου δείκτη Ύψους/Πλάτους. Παρατηρούμε μειωμένες θερμοκρασίες τις ώρες 12.00 μ.μ. και 4.00 μ.μ. επειδή είναι ακόμα σκιασμένη, όμως τις ώρες μεταξύ 1.00 μ.μ. και 3.00 μ.μ. μένει πλήρως εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία, λόγω της πλήρους απουσίας οριζοντίων σκιάστρων (δέντρα-τέντες). Σύμφωνα με το ENVI-met η θερμοκρασία εκείνες τις ώρες φτάνει τους 46°C και στη συνέχεια ο ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας είναι μικρός λόγω του χαμηλού παράγοντα SVF. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία τις ώρες 4.00 μ.μ. και 8.00 μ.μ. είναι υψηλή.

- Παρατηρούμε μεγάλες διαφορές (2,6°C και 1,8°C) στις ώρες 8.00 π.μ. και 8.00 μ.μ. Οι μεσημεριανές τιμές ανταποκρίνονται καλά στην πραγματικότητα.

•→ **Οδός Σωκράτους (κάτω τμήμα) (12/7/2015 , 08.00 π.μ.)**

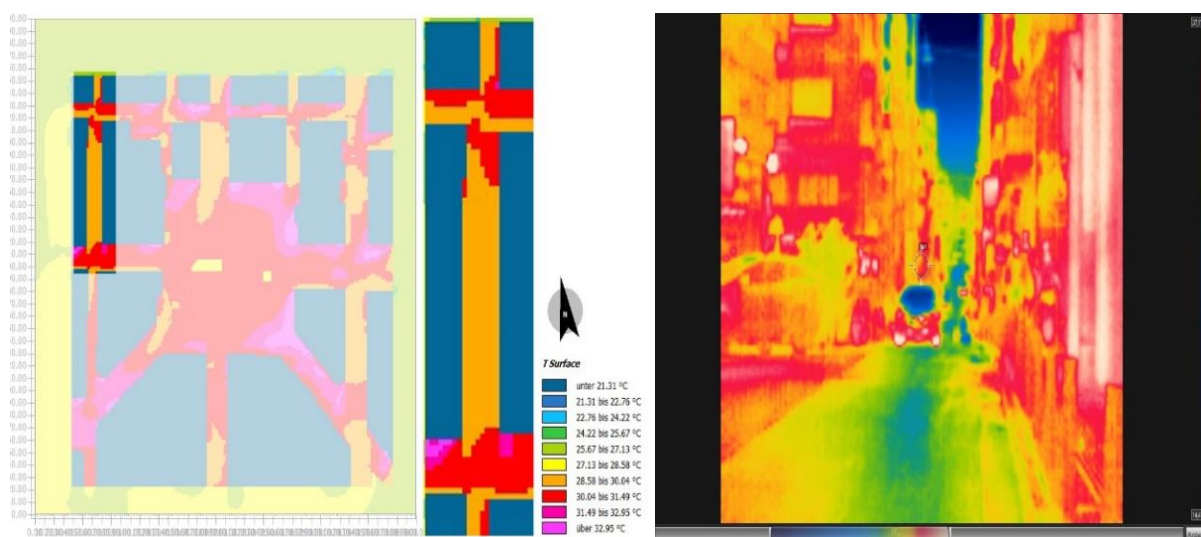


**Εικόνα 6.13 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σωκράτους 1 στις 8.00 π.μ.

**Πίνακας 6.10 :** Θερμοκρασίες της οδού Σωκράτους 1.

Σωκράτους 1	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	24,4	26,8	-2,4
12.00 μ.μ.	32,9	33,5	-0,6
4.00 μ.μ.	37,0	36,6	0,4
8.00 μ.μ.	30,5	30	0,5
Average	31,2	31,7	-0,55

•→ **Οδός Σωκράτους (άνω τμήμα) (12/7/2015 , 08.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.14 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σωκράτους 2 στις 8.00 μ.μ.

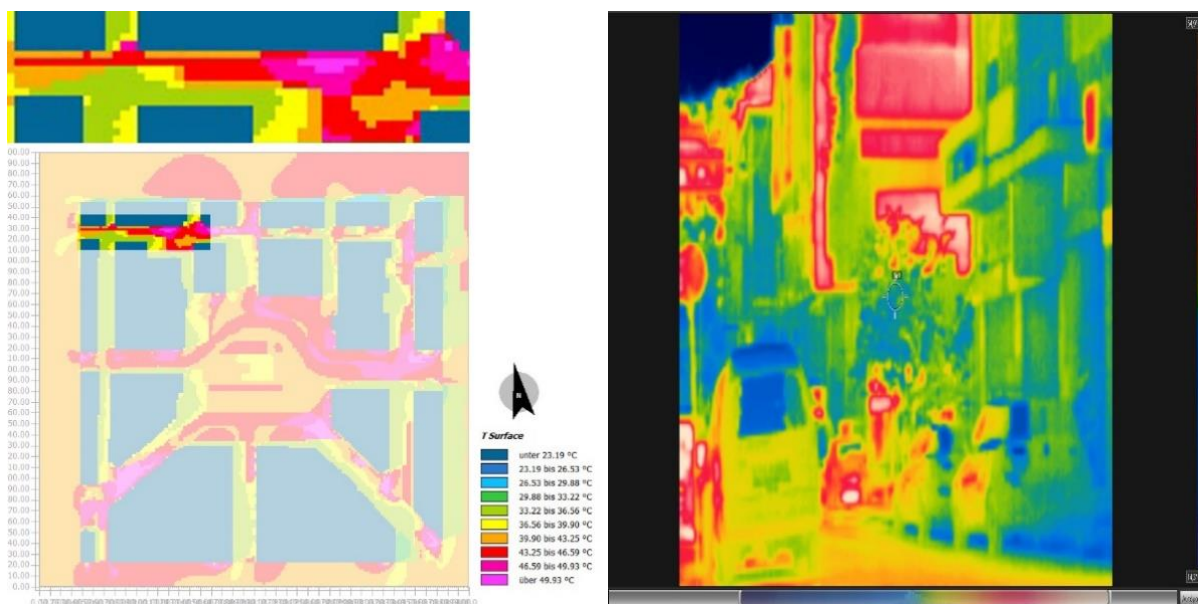
**Πίνακας 6.11 :** Θερμοκρασίες της οδού Σωκράτους 2.

Σωκράτους 2	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	25,1	27,5	-2,4
12.00 μ.μ.	41,4	42	-0,6
4.00 μ.μ.	34,9	35,6	-0,7
8.00 μ.μ.	29,8	29,5	0,3
Average	32,8	33,7	-0,9

Και τα 2 τμήματα της οδού Σωκράτους αποτελούν μία “άχρωμη” οδική χαράδρα με την έννοια ότι απουσιάζει εντελώς το πράσινο και κυριαρχεί απόλυτα το τσιμέντο. Ο λόγος ύψους/πλάτους είναι πολύ μεγάλος, 2,4 για το κάτω τμήμα και 1,7 για το άνω. Παρατηρούμε ότι οι θερμοκρασίες παραμένουν χαμηλές στις 4 ώρες των μετρήσεων. Όπως φαίνεται και από το ENVI-met όμως τις ώρες 1.00 μ.μ. και 2.00 μ.μ. ο δρόμος είναι εκτεθειμένος στην ηλιακή ακτινοβολία και οι θερμοκρασίες φτάνουν και τους 47°C. Η οδός Σωκράτους εμφανίζεται ψυχρότερη από την οδό Αιόλου, όμως θερμότερη από την οδό 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου στις 8.00 μ.μ.

- Παρατηρούμε διαφορά 2,5°C στην τιμή του ENVI-met για τις 8.00 π.μ.

•→ Οδός Σατωβριάνδου 1 (12/7/2015 , 04.00 μ.μ.)



**Εικόνα 6.15 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για την οδό Σατωβριάνδου 1 στις 4.00 μ.μ.

**Πίνακας 6.12 :** Θερμοκρασίες της οδού Σατωβριάνδου 1.

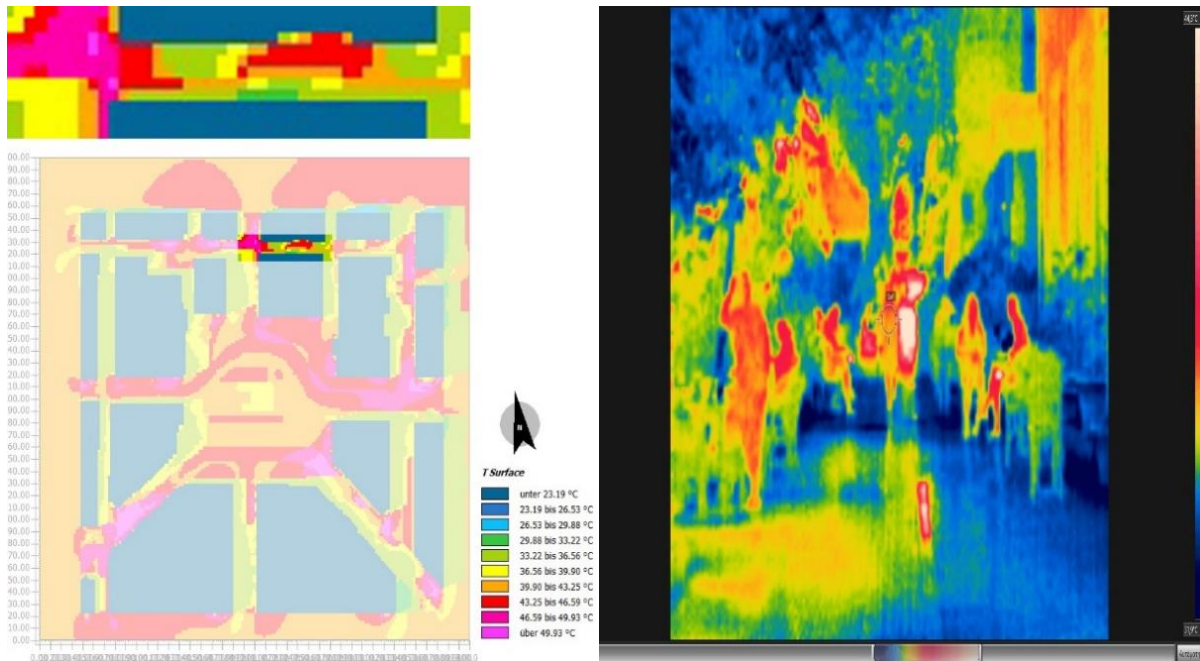
Σατ/άνδου1	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	26,0	27,5	-1,5
12.00 μ.μ.	45,4	46	-0,4
4.00 μ.μ.	48,8	40,4	-
8.00 μ.μ.	33,8	33	0,8
Average	38,5	36,7	-0,4

Η οδός Σατωβριάνδου έχει κατεύθυνση ανατολή-δύση και παρουσιάζει λόγο ύψους/πλάτους 1,5. Ενώ η θερμοκρασία στις 12.00 μ.μ. ανέρχεται στους 46°C (κοντά στο μοτίβο των οδών Πανεπιστημίου και Αγ. Κωνσταντίνου) στις 4.00 μ.μ. η θερμοκρασία εμφανίζεται ίση με 40,4°C και παρουσιάζει τεράστια απόκλιση από τα δεδομένα του ENVI-met. Το γεγονός αυτό μόνο τυχαίο δεν είναι και οφείλεται στην σημαντική κατηφορική κλίση του δρόμου που αυξάνει ακόμα περισσότερο τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

- Παρατηρούμε διαφορά 1,5°C στην τιμή του ENVI-met για τις 8.00 π.μ.



•→ Οδός Σατωβριάνδου 2 (12/7/2015 , 04.00 μ.μ.)

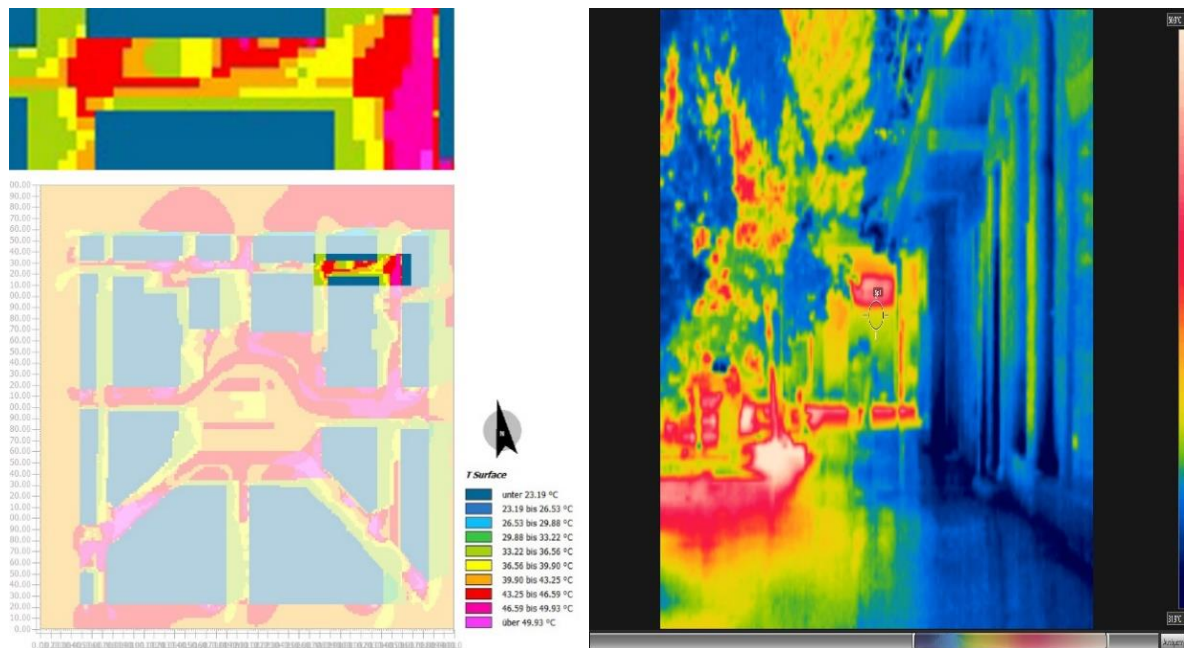


**Εικόνα 6.16 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για τον πεζόδρομο 1 Σατωβριάνδου στις 4.00 μ.μ.

**Πίνακας 6.13 :** Θερμοκρασίες της οδού Σατωβριάνδου 2 (πεζόδρομος).

Σατ/άνδου2	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	24,3	27,5	-3,2
12.00 μ.μ.	35,1	35	0,2
4.00 μ.μ.	35,2	35,4	-0,2
8.00 μ.μ.	33,3	33	0,3
Average	32,0	32,7	-0,7

•→ **Οδός Σατωβριάνδου 3 (12/7/2015 , 04.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.17 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για τον πεζόδρομο 2 Σατωβριάνδου στις 4.00 μ.μ.

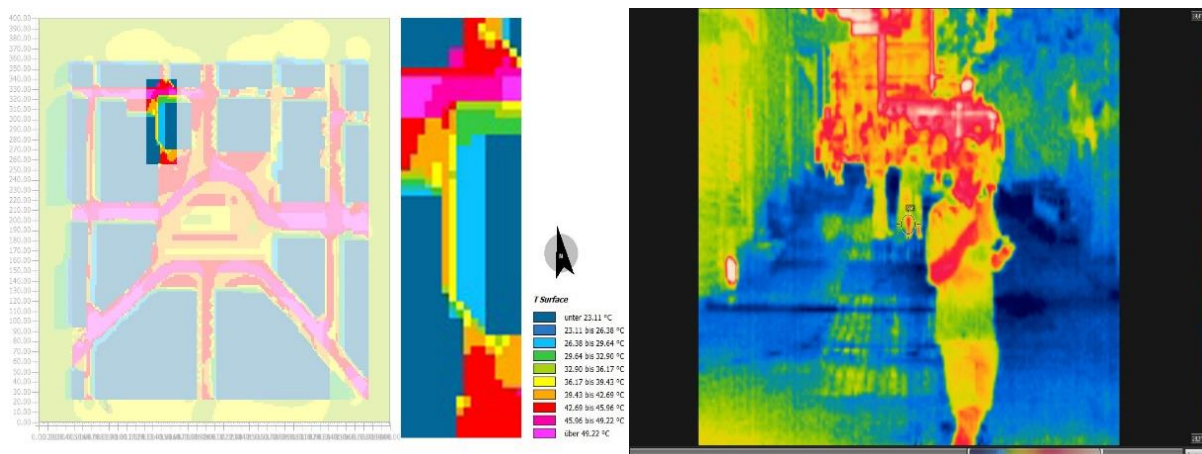
**Πίνακας 6.14 :** Θερμοκρασίες της οδού Σατωβριάνδου 3 (πεζόδρομος).

Σατ/άνδου3	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	25,2	28,2	-3
12.00 μ.μ.	39,4	38,7	0,7
4.00 μ.μ.	38,9	38,4	0,5
8.00 μ.μ.	31,0	33,6	-2,6
Average	33,6	34,7	-1,1

Το πεζοδρομημένο κομμάτι της οδού Σατωβριάνδου αποτελεί ένα αρκετά προσεγγμένο μέρος στην ευρύτερη περιοχή. Η παρουσία δέντρων και τεντών είναι χαρακτηριστική. Το υλικό επίστρωσης αποτελεί κίτρινος κυβόλιθος με τιμή ανακλαστικότητας 0,5 και ο παράγοντας SVF κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,25. Ο πεζόδρομος παραμένει δροσερός όλες τις ώρες της ημέρας όμως η θερμοκρασία του στις 8.00 μ.μ. είναι η υψηλότερη που συναντάμε.

- Παρατηρούμε μεγάλες διαφορές ( 3°C )στις τιμές του ENVI-met για τις 8.00 π.μ. και μία μεγάλη διαφορά ( 2,6°C ) για τις 8.00 μ.μ. στο δεύτερο κομμάτι του πεζοδρόμου.

•→ **Στενό 1 (12/7/2012 , 12.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.18 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για το στενό 1 12.00 μ.μ.

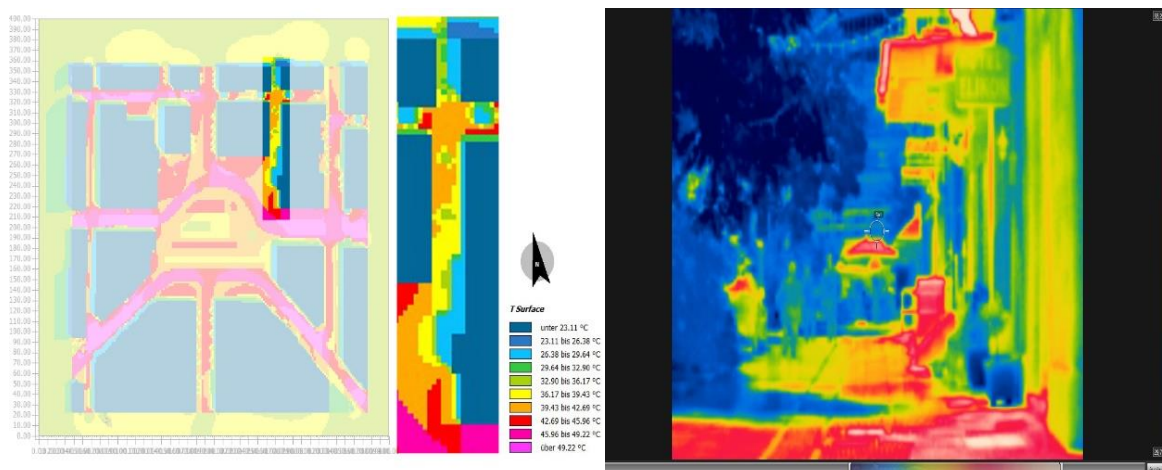
**Πίνακας 6.15 :** Θερμοκρασίες του στενού 1

Στενό 1	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	24,7	28	-3,3
12.00 μ.μ.	29,4	30	-0,6
4.00 μ.μ.	35,3	35,4	-0,1
8.00 μ.μ.	30,0	31,5	-1,5
Average	29,9	31,2	-1,3

Το στενό 1 έχει υλικό επίστρωσης κόκκινο κυβόλιθο και παραμένει σκιασμένο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ακόμα και τις μεσημεριανές ώρες λόγω του υψηλού λόγου ύψους/πλάτους και της παρουσίας δέντρων κατά μήκος του. Παρατηρούμε πολύ χαμηλές επιφανειακές θερμοκρασίες , όμως η πτώση της θερμοκρασίας από τις 4.00 μ.μ. μέχρι τις 8.00 μ.μ. είναι πολύ μικρή. Φαίνεται ότι ο κυβόλιθος έχει χαμηλότερο συντελεστή θερμικής εκπομπής από την ασφαλτο.

- Παρατηρούμε διαφορά 3,3°C και 1,5°C στις τιμές του ENVI-met για τις 8.00 π.μ. και για τις 8.00 μ.μ. αντίστοιχα

•→ **Στενό 2 (12/7/2012 , 12.00 μ.μ.)**



**Εικόνα 6.19 :** Σύγκριση των επιφανειακών θερμοκρασιών για το στενό 2 στις 12.00 μ.μ.

**Πίνακας 6.16 :** Θερμοκρασίες του στενού βορειοανατολικά της πλατείας.

Στενό 2	ENVI-met	FLIR	Difference
8.00 π.μ.	24,3	26,5	-2,2
12.00 μ.μ.	36,8	35	1,8
4.00 μ.μ.	36,6	36,2	0,4
8.00 μ.μ.	30,0	31,2	-1,2
Average	31,9	32,2	-0,3

Το υλικό επίστρωσης και στο 2<sup>ο</sup> στενό αποτελεί κίτρινος κυβόλιθος. Ο λόγος ύψους/πλάτους είναι 0,75 και παρά την παρουσία δέντρων οι σκιές δεν επαρκούν ώστε να καλύψουν ολοκληρωτικά τον πεζόδρομο. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας αναπτύσσονται επιφανειακές θερμοκρασίες που φτάνουν και τους 43°C.

- Παρατηρούμε διαφορά 2,2°C στην τιμή του ENVI-met για τις 8.00 π.μ.



Μια καλή λύση για τη σύγκριση των δεδομένων είναι να εξετάσουμε την απόκλιση των μέσων θερμοκρασιών για κάθε ώρα μέτρησης. Φυσικά και δεν πρόκειται για τις μέσες θερμοκρασίες όλου του χώρου μα μια τέτοια ανάλυση περιορίζει σημαντικά το βαθμό επίδρασης του τυχαίου σφάλματος.

**Πίνακας 6.17 :** Διαφορές θερμοκρασιών για τις 4 ώρες των μετρήσεων.

Διαφορά 8.00 π.μ.	-2,01
Διαφορά 12.00 μ.μ.	0,06
Διαφορά 4.00 μ.μ.	-0,02
Διαφορά 8.00 μ.μ.	-0,77

Η απόκλιση τιμών τις ζεστές ώρες είναι πολύ μικρές.

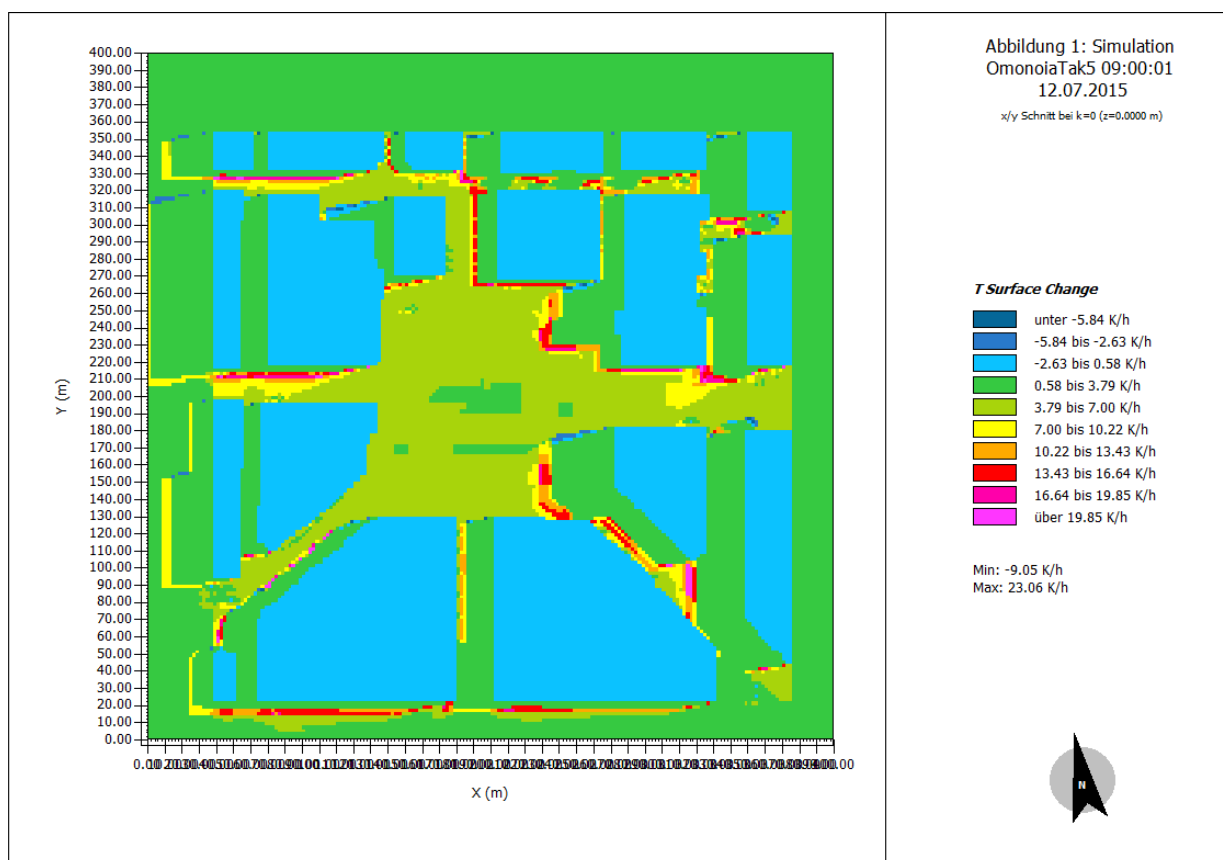
Βλέπουμε μία αρνητική διαφορά στις πρωινές και απογευματινές θερμοκρασίες του ENVI-met, όπου στις πρωινές παίρνει αρκετά μεγάλες τιμές.

Η κύρια αιτία για αυτή τη διαφορά μπορεί να αποδοθεί στον ταχύ ρυθμό αύξησης των θερμοκρασιών τις πρωινές ώρες λόγω της εμφάνισης του ηλίου και την απότομη μείωση των σκιών.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι θερμικές φωτογραφίες δεν τραβήχτηκαν όλες την ίδια στιγμή αλλά σε βάθος 30'.

Οι μεγαλύτερες διαφορές μας εμφανίζονται στις οδούς Σωκράτους , Σατωβριάνδου και στους 2 πεζόδρομους, δηλαδή προς το τέλος της πορείας που ακολουθήθηκε κατά τη φωτογράφιση.

Ενδιαφέρον θα έχει να υπολογιστεί η διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ 8.00 π.μ. και 9.00 π.μ. , με την επιλογή του LEONARDO "T Surface Change" (Εικόνα 6.20).



**Εικόνα 6.20 :** Χάρτης 2 διαστάσεων που απεικονίζει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μίας ώρας [Πηγή Leonardo , προσωπική εργασία].

Φαίνεται ότι η διαφορά σε μερικά σημεία ξεπερνάει τους 4°C. Συνεπώς μια απόκλιση στα όρια του 1-2°C μπορεί να δικαιολογηθεί. Επιπλέον το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας δεν αναγνωρίζεται από το ENVI-met. Δηλαδή, δεν υπάρχει η επιλογή της τοποθέτησης του σχεδιασμένου χώρου μέσα σε μια ευρύτερη περιοχή, όπως είναι το κέντρο μίας μεγαλόπολης π.χ. ή ένα άλσος. Φυσικά και προσφέρει τη δυνατότητα να ορίσουμε εμείς τις θερμοκρασίες για κάθε ώρα της ημέρας, επιλογή που προσομοιώνει σε ένα μεγάλο βαθμό το φαινόμενο.

Τέλος θα γίνει μια αναφορά στα κυριότερα πιθανά σφάλματα κατά την όλη διαδικασία των μετρήσεων και της προσομοίωσης.

- Ο μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων που διέρχεται συνέχεια από την περιοχή δημιουργεί συνθήκες σκίασης σε μεγάλο μέρος της ασφάλτου, αλλά παράλληλα συμβάλει και στη θέρμανση της λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στο κάτω μέρος των αυτοκινήτων. Για μία εγκυρότερη και μεγαλύτερου βαθμού αξιοπιστίας σύγκριση το πρέπον θα είναι οι δρόμοι και τα πεζοδρόμια να είναι εντελώς άδεια.
- Το υπέδαφος της πλατείας αποτελείται από τον υπόγειο σταθμό του μετρό-ηλεκτρικού η οροφή του οποίου βρίσκεται ελάχιστα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ακόμα σε 2 σημεία έχουμε την παρουσία αεραγωγών. Οι μεταφορές θερμότητας από και προς την επιφάνεια του εδάφους στην περίπτωση της πλατείας χρειάζονται ειδικευμένη γνώση για την μοντελοποίηση τους στο ENVI-met.
- Οι πολύπλοκες επιφάνειες της πλατείας οι οποίες δεν θα μπορούσαν να σχεδιαστούν στο πρόγραμμα για έναν τέτοιας έκτασης χώρο συμβάλλουν στο φαινόμενο των διαδοχικών ανακλάσεων που επιβαρύνει τη συνολική ακτινοβολία στην περιοχή. Φυσικά και το πρόγραμμα προσφέρει τη δυνατότητα για τη δημιουργία αρκετά λεπτομερέστερων χώρων που θα περιλαμβάνουν και λεπτομερή κατανομή των υλικών στις επιφάνειες των κτιρίων.
- Η διαφορά της ώρας λήψης των φωτογραφιών. Η διαφορά ώρας της πρώτης και της τελευταίας φωτογραφίας ήταν περίπου 25-30 λεπτά.
- Η λήψη των μετεωρολογικών παραμέτρων από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό και όχι από επί τόπου μετρήσεις.
- Η προσωπική ανάλυση των θερμικών φωτογραφιών. Πιθανή χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων φωτοανάλυσης να μπορούσε να προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια στην εξαγωγή των τιμών θερμοκρασίας στα διαφορετικά υλικά.

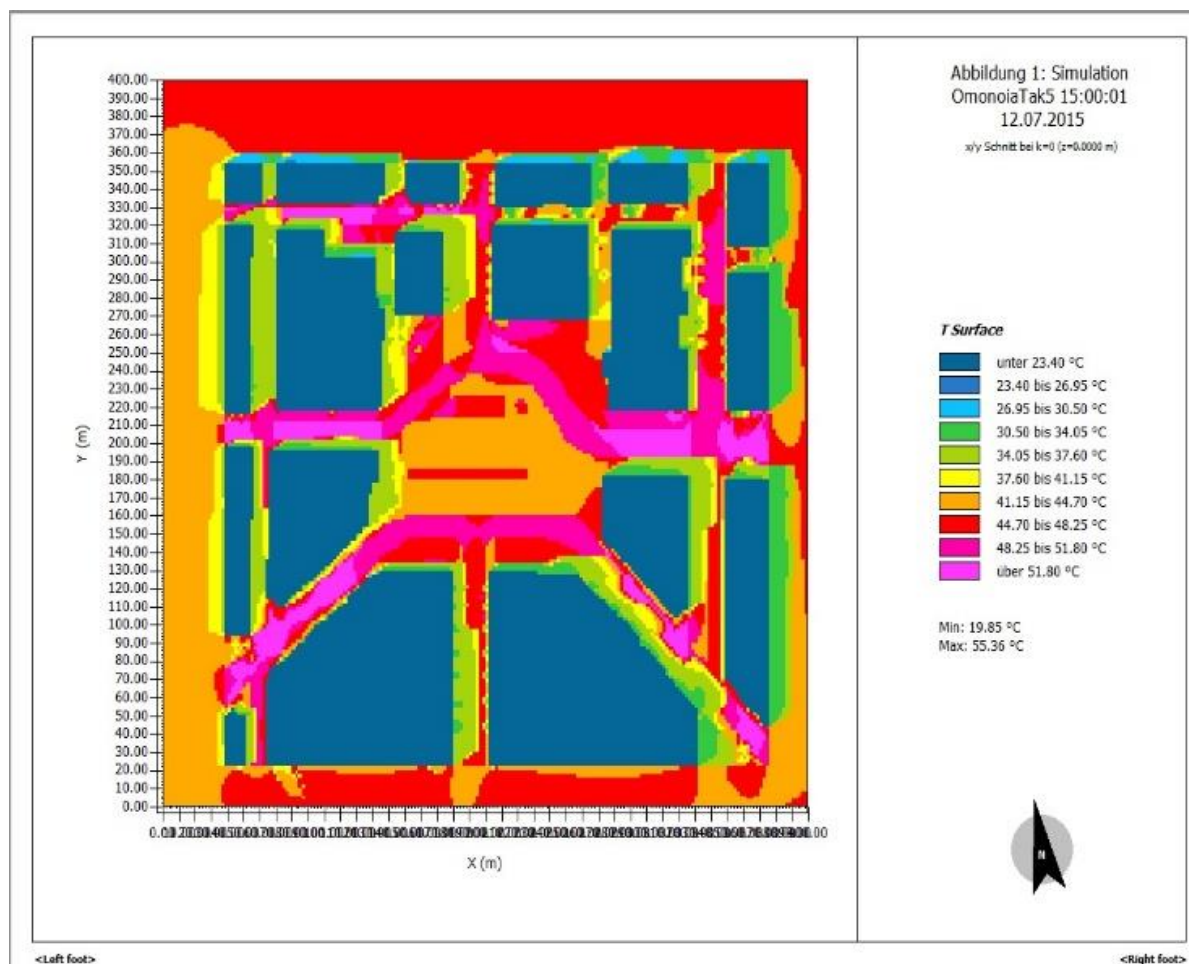
Η εικόνα των γύρω δρόμων της πλατείας Ομόνοιας παρουσιάζει πολύ μεγάλο πειραματικό ενδιαφέρον. Παρατηρούμε μια ποικιλία χαρακτηριστικών τα οποία έχουν μεγάλη και διακριτή επίδραση στις επιφανειακές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. Συναντάμε δρόμους με 4 διαφορετικές κατευθύνσεις “ζεστούς/άχρωμους” δρόμους με χαμηλό δείκτη ύψους/πλάτους και ελάχιστη βλάστηση (οδοί Πανεπιστημίου και 3ης Σεπτεμβρίου), δρόμους με παρόμοιο δείκτη ύψους/πλάτους που όμως τα δέντρα παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην αισθητική και στο μικρόκλιμα τους, (οδοί Αθηνάς και Πατησίων), ακόμα και συμπαγείς δρόμους υψηλού δείκτη ύψους/πλάτους όπου κυριαρχεί απόλυτα το τσιμέντο (οδός Σωκράτους).

Φυσικά στην βόρεια πλευρά της πλατείας έχουμε τους παραδοσιακούς πεζοδρόμους της οδού Σατωβριάνδου με τους ψηλούς ευκαλύπτους, και την επίστρωση από κίτρινο κυβόλιθο.

Έχοντας στην κατοχή μας τις επιφανειακές θερμοκρασίες για το σύνολο των ωρών της μέρας με τη βοήθεια του ENVI-met είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων γενικότερων συμπερασμάτων.



*Εικόνα 6.21 : Διαφορετικού τύπου οδικές χαράδρες[Πηγή Google Earth]*



**Εικόνα 6.22 :** Επιφανειακές θερμοκρασίες στις 3.00 μ.μ. [Πηγή Leonardo , προσωπική εργασία].

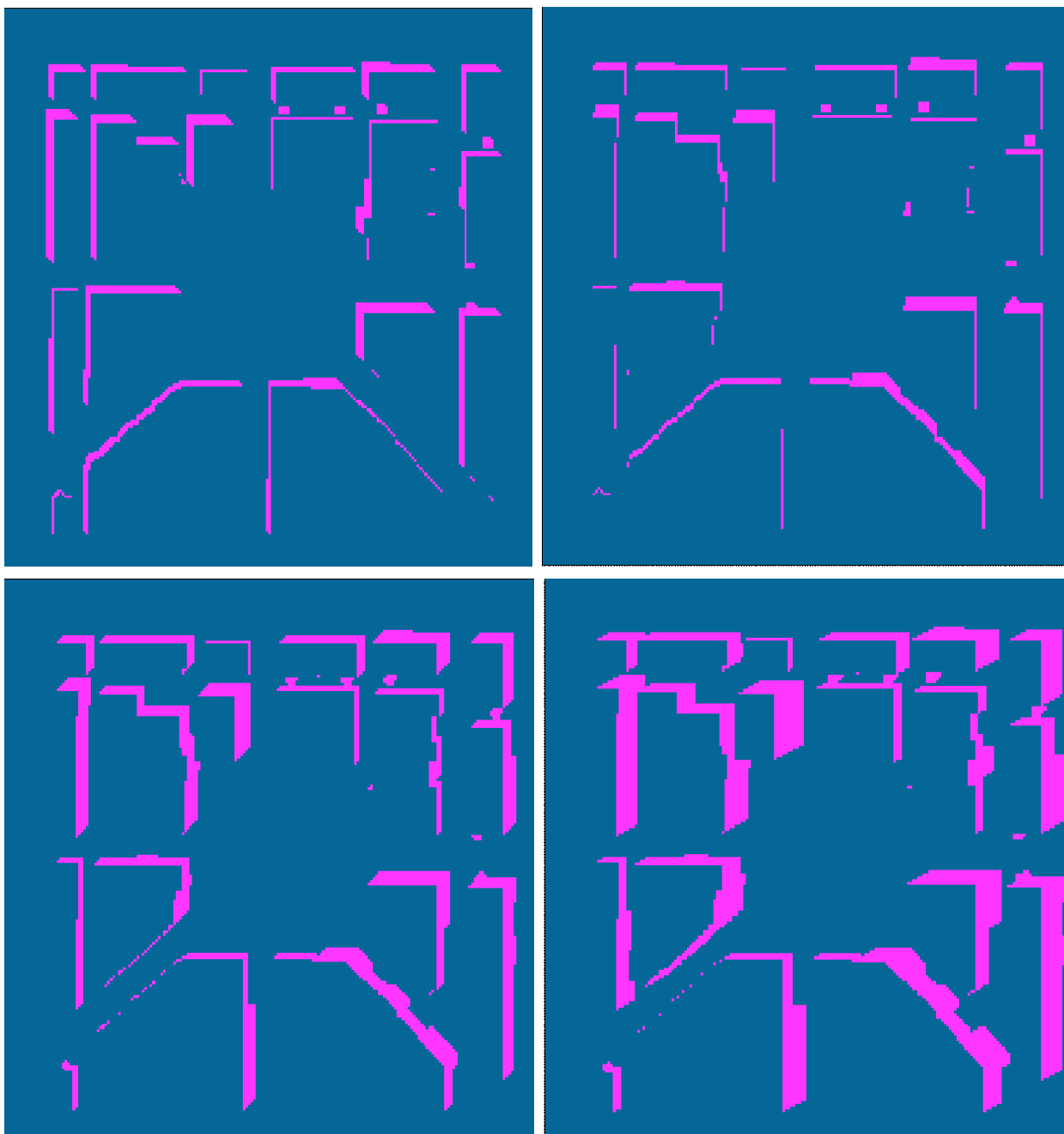
Με μια πρώτη ματιά στην εικόνα 6.22 παρατηρούμε ότι η μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία συναντάται περίπου στις 3.00 μ.μ. επί ασφάλτου και είναι ίση με 55,8°C .

Την ίδια ώρα η ελάχιστη θερμοκρασία ασφάλτου που παρατηρείται είναι ίση με 36°C υπάρχει δηλαδή μία διαφορά 20°C. Η ελάχιστη θερμοκρασία ανεξαρτήτως υλικού είναι ίση με 30°C ενώ η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι περίπου 33,5°C.

Οι γενικές αυτές τιμές αντιπροσωπεύουν τη συγκεκριμένη ημέρα των μετρήσεων, είναι ενδεικτικές όμως της γενικότερης συμπεριφοράς των επιφανειακών θερμοκρασιών τους καλοκαιρινούς μήνες.

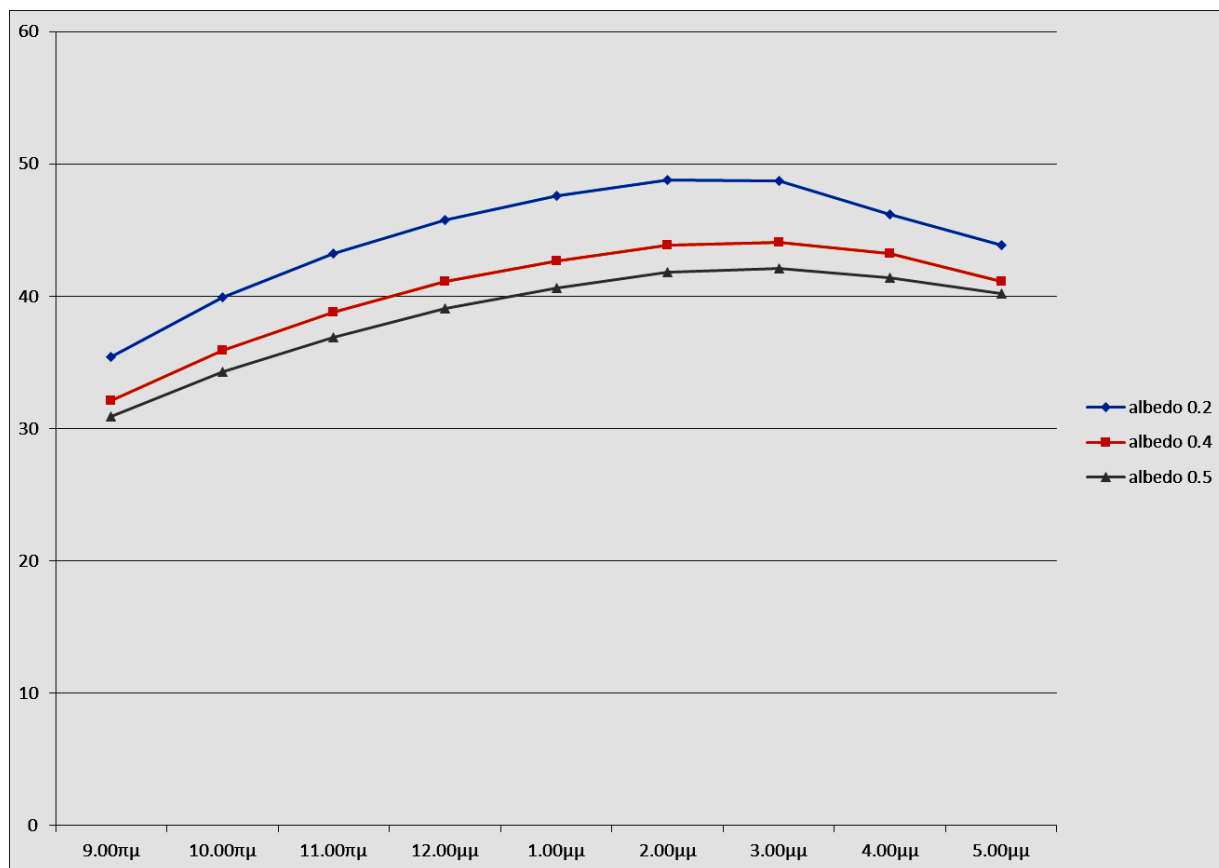
Ακόμα οι υψηλότερες τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας παρατηρούνται στις οδικές χαράδρες με κατεύθυνση ανατολή-δύση. Αυτό συμβαίνει επειδή όπως δείχνει και το ηλιακό διάγραμμα αλλά φαίνεται και από το Leonardo (Εικόνα 6.24) το ύψος του ηλίου τους καλοκαιρινούς μήνες σχηματίζει γωνία που δεν είναι ικανή να δημιουργήσει συνθήκες σκίασης, ειδικά σε οδικές χαράδρες με χαμηλό λόγο ύψους/πλάτους. Έτσι αντίθετα με τους δρόμους με κατεύθυνση βορά-νότο οι οποίοι εκτίθενται στον ήλιο το διάστημα μεταξύ 11.00 π.μ. – 2.00 μ.μ. , αυτοί δέχονται το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας και τις υπόλοιπες ώρες της μέρας. Στην εικόνα 6.24 όπου φαίνονται οι σκιάσεις τις μεσημεριανές ώρες παρατηρούμε ότι η οριζόντια σκίαση είναι ελάχιστη.





**Εικόνα 6.23 :** Οι περιοχές υπό σκιά. (πάνω αριστερά 12.00 μ.μ. , πάνω δεξιά 1.00 μ.μ. , κάτω αριστερά 2.00 μ.μ. , κάτω δεξιά 3.00 μ.μ.)

Τέλος παρουσιάζεται το γράφημα (Πίνακας 6.18) στον οποίο φαίνονται οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις σε °C, 3 υλικών ανάλογα με τον δείκτη ανακλαστικότητάς τους σύμφωνα με το ENVI-met. Τα σημεία επιλέχθηκαν στον ανοιχτό χώρο της πλατείας για τις ώρες μηδενικής σκίασης. Παρατηρείται πως για αύξηση του albedo κατά 0,3 παρουσιάζεται μέγιστη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας κατά 7°C στις 1.00 μ.μ. και 2.00 μ.μ.



**Πίνακας 6.18 :** Διάγραμμα επιφανειακών θερμοκρασιών για 3 σημεία διαφορετικού βαθμού ανακλαστικότητας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ**

Η παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε στην πλατεία Ομόνοιας στο κέντρο της Αθήνας τις ημέρες 9-10-11-12 Ιουλίου. Σκοπός ήταν η παρουσίαση όλων των επιφανειακών θερμοκρασιών, έτσι ώστε να φανεί το εύρος τους και η επίδραση των ευνοϊκών παραγόντων στο αστικό μικρόκλιμα μίας μεσογειακής πόλης. Για την επίτευξη του στόχου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ENVI-met 4 basic version που αποτελεί την τελευταία πρόσφατη ελεύθερη έκδοση του και δεν έχει μελετηθεί συστηματικά η ακρίβειά του ως προς τις επιφανειακές θερμοκρασίες. Έγινε ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τις θερμοκρασίες αυτές, οι 2 πιο σημαντικοί εκ των οποίων είναι το υλικό δαπεδόστρωσης και οι επιφάνειες σκίασης και εντοπίστηκε η παρουσία και η επίδρασή τους στους δρόμους της πλατείας. Μέσα από την προσομοίωση και τις μετρήσεις πεδίου φάνηκε ότι υπάρχουν προσεγγμένοι δρόμοι όπως οι οδοί Σατωβριάνδου και Αθηνάς. Παρ' όλα' αυτά, κάποιοι άλλοι που χρήζουν μεγαλύτερης προσοχής, όπως π.χ. η οδός Πανεπιστημίου (λόγω μεγέθους και χρήσης από τους πολίτες), δεν τηρούν ούτε στο ελάχιστο κάποιες αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού. Ακόμα είναι χαρακτηριστική η απουσία του υγρού στοιχείου καθώς και των σκιάστρων που θα έδιναν εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη τους και ένα τόνο ζωντάνιας στον χώρο. Δυστυχώς δεν υπήρχε η δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων για τις θερμοκρασίες στις επιφάνειες των κτιρίων, μίας και η πληροφορία αυτή δεν ήταν διαθέσιμη στην basic έκδοση του ENVI-met 4. Επιπλέον, δεν προχωρήσαμε σε προσομοίωση μίας μελέτης ανάπλασης, είτε βασισμένης στα αποτελέσματα της μελέτης, είτε κάποιας προϋπάρχουσας, καθώς κάτι τέτοιο απαιτεί κατ' επανάληψη δοκιμές και ο χρόνος προσομοίωσης ολόκληρης της περιοχής ήταν υπερβολικά μεγάλος. Παρ' όλα αυτά προέκυψαν ακριβή συμπεράσματα που οδηγούν στις παρακάτω προτάσεις:

- Καταρχήν προτείνεται η χρήση ψυχρών υλικών κατά μήκος των οδών Πανεπιστημίου και Αγίου Κωνσταντίνου. Οι δύο δρόμοι αυτοί αποτελούν κεντρικές αρτηρίες και πέρασμα πεζών, καθώς και περιβάλλον στέγασης πολλών μαγαζιών. Η έκθεση τους στην ηλιακή ακτινοβολία σχεδόν σε όλη τη διάρκεια των καλοκαιρινών ημερών συνιστά τη χρήση τους αποδοτική. Μία βελτίωση στις συνθήκες των δύο αυτών δρόμων, εκτιμάται ότι θα βελτίωνε αρκετά το γενικότερο κλίμα της πλατείας. Υπάρχει ήδη από το πρόγραμμα "Rethink Athens" η πρόταση για πεζοδρόμηση ολόκληρης της οδού Πανεπιστημίου, αλλά μια τέτοια εφαρμογή απασχολεί πολλούς κλάδους και κυρίως τον συγκοινωνιακό.
- Χρήση βλάστησης με τη μορφή καθέτων στοιχείων φύτευσης ή πράσινων σκιάστρων στις βορινές όψεις των οδικών χαραδρών των οδών Πανεπιστημίου, Αγίου Κωνσταντίνου και Σατωβριάνδου 1. Κάτι τέτοιο θα ενίσχυε τη μειωμένη παρουσία πρασίνου στην περιοχή και θα μείωνε την επίδραση του φαινομένου των διαδοχικών ανακλάσεων. Επίσης, θα προστάτευε τα κτίρια από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.
- Χρήση λευκών υλικών πεζοδρομίου αντί για κόκκινο κυβόλιθο στην οδό Σωκράτους με στόχο τη δημιουργία καλύτερων συνθηκών διαύγειας.
- Δημιουργία συστοιχιών από δέντρα (όπως στις οδούς Αθηνάς και Πατησίων) στις οδούς Σταδίου και Πειραιώς.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων με το λογισμικό ENVI-met, αλλά και από τη γενικότερη έρευνα προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η αξιοπιστία και η ακρίβεια του λογισμικού ENVI-met κρίνεται ικανοποιητική και συστήνεται η χρήση του για τη μελέτη του μικροκλίματος περιοχών. Συνίσταται, κατά τη μελέτη, να χρησιμοποιούνται κλιματικά δεδομένα από κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς, εκτός από τις επί τόπου μετρήσεις των αναγκαίων μεγεθών.
- Πρόκειται για ένα πρόγραμμα εύκολο στη χρήση, το οποίο εκτός από ερευνητές μπορούν να το χρησιμοποιήσουν και αρχιτέκτονες τοπίου για την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού τους ως προς τις περιβαλλοντικές ανάγκες του εκάστοτε χώρου. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από ερασιτέχνες για τη μελέτη των προσωπικών τους χώρων. Ο χρόνος των υπολογισμών αυξάνεται γεωμετρικά ανάλογα με την έκταση του υπό μελέτη χώρου. Για παράδειγμα, μία προσομοίωση όπως αυτή του χώρου της πλατείας Ομόνοιας χρειάστηκε αρκετές ημέρες για να ολοκληρωθεί, όμως προσομοιώσεις χώρων μικρότερης έκτασης όπως ένα οικοδομικό τετράγωνο μπορούν να ολοκληρωθούν μόλις σε κάποιες ώρες. Επίσης στην καινούρια έκδοση ENVI-met 4 ένας μικρός χώρος μπορεί να αναπαρασταθεί πολύ λεπτομερώς.

Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει έναυσμα για μελλοντική έρευνα σε διάφορες κατευθύνσεις. Η βιβλιοθήκη των θερμικών φωτογραφιών που δημιουργήθηκε αλλά και η λεπτομερής ανάλυση των επιφανειακών θερμοκρασιών, παρέχει εκτενή στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγκρίσεις μεταξύ πόλεων διαφορετικού κλίματος, διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους και διαφορετικών εποχών. Επιπλέον, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για μελέτες και άλλων σημείων της Αθήνας ή και άλλων μεσογειακών πόλεων. Επίσης, η χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων φωτοανάλυσης θα έδινε τη δυνατότητα δημιουργίας πραγματικών χαρτών επιφανειακής θερμοκρασίας για την περιοχή. Ακόμα μία καταγραφή νυκτερινών θερμοκρασιών, θα έδινε πολύτιμα στοιχεία όσον αφορά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Μία άλλη ενδιαφέρουσα μελέτη θα ήταν η προσομοίωση της περιοχής και σε άλλα προγράμματα όπως π.χ. το Ray-man και η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με αυτά του ENVI-met για την καλύτερη αξιολόγησή τους.

Επίσης, η προσομοίωση της όλης περιοχής θέτει τις βάσεις για προτάσεις ανάπτυξης. Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα πρέπει να εξεταστούν και άλλες παράμετροι όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα. Η επιρροή αυτών των παραμέτρων στο μικροκλίμα πρέπει να εξεταστεί ατομικά καθώς όμως και συνδυαστικά. Στο αρχείο ENVI-met που δημιουργήσαμε υπάρχουν οι τιμές αυτών των παραμέτρων όμως δεν έχει γίνει η αξιολόγησή τους.

Όσον αφορά την ανάπτυξη της πλατείας που αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση λόγω των υπογείων σταθμών του ηλεκτρικού και του μετρό, οι υποδείξεις ανάπτυξης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο στοχευμένες επεμβάσεις σε έργα μεγάλου κόστους, όπως έργα στεγάνωσης ή δημιουργίας υψωμάτων-παρτεριών.



Τέλος έναν ενδιαφέρον τρόπο προσέγγισης της ανάλυσης, θα μπορούσε να αποτελέσει η υποδιαίρεση του χώρου σε μικρότερα κομμάτια και η προσομοίωση τους ξεχωριστά στο ENVI-met. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα έδινε χρήσιμες πληροφορίες τόσο ως προς την περεταίρω αξιολόγηση του προγράμματος, όσο και ως προς την επίδραση της ευρύτερης περιοχής στο εκάστοτε μικρόκλιμα.

Οι προτεινόμενες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα έχουν κοινό άξονα την επιστημονική προσέγγιση στις επεμβάσεις των αστικών χώρων και τη μελέτη του βαθμού επιρροής τους στο μικρόκλιμα. Οι ελεύθεροι αστικοί χώροι θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως κομμάτι του γενικότερου συνόλου που διαμορφώνει άνετες, μη άνετες ή και αβίωτες συνθήκες.

## Βιβλιογραφία.

- [1] Vasilakopoulou, K., Kolokotsa, D., & Santamouris, M. (2013). The contribution of bioclimatic architecture in the improvement of outdoor urban spaces. In N. Enteria, & A. Akbarzadeh (Eds.), *Solar Energy Sciences and Engineering Applications* (pp. 623-641). CRC Press.
- [2] Τζώρτζη, Ν. και Σαρίκου, Σ. (2006) Ενοποίηση και σχεδιασμός μικρών αστικών χώρων με βιοκλιματικές συνθήκες.
- [3] Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Synnefa, A., Vassilakopoulou, K., Papadopoulou, K., ... & Lagoudaki, A. (2011). Improving the microclimate in urban areas: a case study in the centre of Athens. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(1), 53-71.
- [4] Χριστοπούλου, Β. Γ. (2015). Μικροκλιματική και βιοκλιματική συμπεριφορά χαρακτηριστικών μικρών υπαίθριων χώρων του αστικού περιβάλλοντος, μετρήσεις και προσομοιώσεις.
- [5] Gaitani, N., Mihalakakou, G., & Santamouris, M. (2007). On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Building and Environment*, 42(1), 317-324.
- [6] Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1(3), 237-254.
- [7] Bourbia, F., & Boucheriba, F. (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renewable Energy*, 35(2), 343-347.
- [8] Καψανάκη, Ε. (2005). Η συμβολή των αστικών κενών στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος και μικροκλίματος. Η περίπτωση της περιοχής του Ψυρρή.
- [9] Λαλιώτης, Σ. (2013). Η πεζοδρόμηση μεγάλων αστικών δρόμων και η αξία τους στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις καθώς και η συμβολή τους στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος.
- [10] Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Synnefa, A., Vassilakopoulou, K., Papadopoulou, K., ... & Lagoudaki, A. (2011). Improving the microclimate in urban areas: a case study in the centre of Athens. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(1), 53-71.
- [11] Kolokotsa, D. (2008) Cool Roofs Council. <http://www.coolroofs-eu.eu/>.
- [12] Blocken, B., & Carmeliet, J. (2004). Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 28(2), 107-159.
- [13] Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621-634.
- [14] Κοτσίρης, Γ. (2007). *Θερμική άνεση. Αθήνα, Εκδόσεις ΙΩΝ.*, 117.
- [15] Ahmed, K. S. (2003). Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings*, 35(1), 103-110.
- [16] Νικολοπούλου, Μ. (2004). Σχεδιασμός Υπαίθριων Αστικών Χώρων με Βιοκλιματικά Κριτήρια. Design Guidelines, RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces, Κ.Α.Π.Ε.

- [17] Ανδρεαδάκη, Χ. Ε. (2006). *Βιοκλιματικός σχεδιασμός , Περιβάλλον και βιωσιμότητα* . Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS. , 60.
- [18] Στασινόπουλος, Θ. Ν. Ηλιακή γεωμετρία, Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα 'Βιοκλιματικός Σχεδιασμός' Τμήμα αρχιτεκτόνων ΕΜΠ.
- [19] Παπουτσής, Δ. (2012). Βιοκλιματικός σχεδιασμός & περιβαλλοντική άνεση – Προσομοίωση με το λογισμικό envi-met. Αθήνα, Ε.Μ.Π.
- [20] Bruse, M., & Fleer, H. (1998). Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, 13(3), 373-384.
- [21] Γιάννου, Ε. (2009). Η Πλατεία Ομονοίας στο Επίκεντρο του Σχεδιασμού των Δημοσίων Χώρων της Αθήνας , 59-74.
- [22] Shahidan, M. F., & Mustafa, K. M. S. (2005). Tropical Microclimate Indicators for the Malaysian Urban Landscape. *ASEAN Postgraduate Seminar in Built Environment, University of Malaya, Malaysia*.
- [23] T.E.E. 2011. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Website: [http://www.energynius.gr/files4users/files/TOTEE\\_20701\\_6\\_Final\\_TEE.pdf](http://www.energynius.gr/files4users/files/TOTEE_20701_6_Final_TEE.pdf)
- [24] <http://www.geo.auth.gr>
- [25] <http://www.cres.gr>
- [26] [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)
- [27] Simon, H. (2016). *Modeling urban microclimate: development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met* (Doctoral dissertation, Mainz, Univ., Diss., 2016).
- [28] <http://www.thetoc.gr/magazine/plateia-omonoias-i-koketa-pou-xathike-sti-skoni>.
- [29] <http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=kb:compute>.
- [30] <http://www.meteo.gr>.

