



ΑΝΟΙΚΤΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΚΥΠΡΟΥ

# ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

## Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

#### ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

*Αστικό πράσινο και διαμόρφωση μικροκλίματος: Μελέτη περίπτωσης  
του πάρκου περιμετρικά του Δημοτικού Μεγάρου  
στη πόλη της Πάφου*

**Φοιτήτρια**

Αντωνίου Θεοδώρα

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**

Ασπασία Ευθυμιάδου

[Σεπτέμβριος, 2016]

**Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ**  
**ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

*Αστικό πράσινο και διαμόρφωση μικροκλίματος:  
Μελέτη περίπτωσης του πάρκου περιμετρικά του Δημοτικού Μεγάρου  
στη πόλη της Πάφου*

**Φοιτήτρια**

Αντωνίου Θεοδώρα

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**

Ασπασία Ευθυμιάδου

Σεπτέμβριος, 2016

## Ευχαριστίες

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στην Καθηγήτρια μου κα Σίσσυ Ευθυμιάδου για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθεια της, το ενδιαφέρον της αλλά και τον χρόνο που διέθεσε για την ολοκλήρωση αυτής της Διατριβής.

Ευχαριστίες οφείλω και στους Καθηγητές του Ανοικτού Πανεπιστημίου, για τις πολύτιμες γνώσεις και την βοήθεια τους κατά την διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στους συναδέλφους μου Μαρίνα Λεμονάρη και Γιάννη Τσαπούτση όπως επίσης και τον κ. Νεόφυτο Ζαβρίδη (Πολιτικό Μηχανικό), για τον σημαντικό χρόνο που μου αφιέρωσαν και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχαν για την πραγματοποίηση της Διατριβής αυτής.

Τέλος, θέλω να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και τον σύντροφο μου, για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Η ανάπτυξη των μεγάλων πυκνοκατοικημένων πόλεων έκαναν την εμφάνιση τους τον 20<sup>ο</sup> αιώνα σε πολλά μέρη του πλανήτη, η αυξανόμενη αστικοποίηση έχει επηρεάσει το αστικό μικροκλίμα και συνεχίζει μέχρι σήμερα. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του μικροκλίματος σε μία πόλη είναι πολλοί όπως τα κτήρια, οι κοινόχρηστοι υπαίθριοι χώροι, ο πολεοδομικός σχεδιασμός και οι ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην αύξηση της θερμοκρασίας.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει τη συμβολή του περιβαλλοντικού σχεδιασμού στο αστικό μικροκλίμα και συγκεκριμένα τους χώρους πρασίνου σε μία πόλη, για το σκοπό αυτό έχει επιλεγεί ο χώρος πρασίνου περιμετρικά του Δημοτικού Μεγάρου στην πόλη της Πάφου. Στη μελέτη αυτή στόχος είναι να ερευνηθούν οι επιπτώσεις των αστικών χώρων πρασίνου όσον αφορά το μικροκλίμα και την εφαρμογή βιώσιμων μεθόδων ενός χώρου πρασίνου στον περιβάλλοντα χώρο.

Όλα τα πιο πάνω δημιουργούν προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν στοχευμένα και με παρεμβάσεις προς όλους τους παραγοντες που τα δημιουργούν, με στόχο να μειωθούν ή και να εξαιρεθούν οι αρνητικές συνέπειες.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που θα χρησιμοποιηθεί θα στηρίζεται αρχικά στην ανάλυση του τοπίου, θα γίνει συλλογή πληροφοριών και καταγραφή συνθηκών και παραγόντων όπως επίσης και βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στόχος είναι να ερευνηθούν οι επιπτώσεις των αστικών χώρων πρασίνου όσον αφορά το μικροκλίμα και τον περιβάλλοντα χώρο και η εφαρμογή βιώσιμων μεθόδων σε αυτούς τους χώρους. Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση του συγκεκριμένου θέματος είναι δύο: Η μία είναι να γίνει μέτρηση των καιρικών συνθηκών (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή και υπέρυθη ακτινοβολία) και περιβαλλοντικών παραγόντων που καθορίζουν την κλιματική ποιότητα και η δεύτερη θα είναι η προσομοίωση στις κλιματολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής που έχει επιλεγεί για την μελέτη, χρησιμοποιώντας το αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης μικροκλίματος το ENVI-met.

## **Abstract**

The development of large densely populated cities made their appearance in the 20th century in many places of the world, growing urbanization has affected the urban microclimate and continues until today. The factors that contribute to formation of microclimate in a city are many such as buildings, communal open spaces, urban planning and human activities contribute to air pollution and the increase in temperature.

The purpose of this thesis is to examine the contribution of environmental planning in urban microclimate and specific green spaces in a city, for this purpose, has been selected the green area around the City Hall in the city of Paphos. In this study we aim to investigate the effects of urban green areas concerning the microclimate and implementing sustainable practices of a green area in the surrounding area. All the above create difficulties to be addressed and targeted with interventions to all the factors that establish, in order to reduce or eliminate the negative effects.

The methodological approach used will initially based on the analysis of the landscape, it will be collect information and recording conditions and factors such as well as literature review. The aim is to investigate the effects of urban green areas concerning the microclimate and the surrounding environment and implementing sustainable methods in these areas. The methods will be used to approach this subject are two: One is to measure the weather conditions (temperature, humidity, wind speed, solar and infrared radiation) and environmental factors that determine the climate quality and the second will be the simulating the climatic circumstances of the area selected for the study, using the numeric microclimate simulation model ENVI-met.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες .....	i
Ελληνική περίληψη .....	ii
Αγγλική περίληψη .....	iii
Πίνακες / Διαγράμματα / .....	iv

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΚΟΠΟΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	13
1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ.....	14

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
2.2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΠΡΑΣΙΝΟΥ.....	16
2.3 ΕΝΝΟΙΑ ΑΣΤΙΚΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ.....	17
<b>2.3.1 Ελεύθεροι Χώροι Αστικού Πρασίνου.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Θερμική Άνεση και Υπαίθριοι Αστικοί Χώροι.....</b>	<b>17-18</b>
2.3.2.1 Το ισοζύγιο ενέργειας του ανθρώπινου σώματος.....	19
2.3.2.2 Δείκτες Θερμικής Άνεσης.....	20
2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΩΡΩΝ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	21

<b>2.4.1 Περιβαλλοντικά Οφέλη.....</b>	<b>22</b>
2.4.1.1 Ατμοσφαιρική Μείωση του Διοξειδίου του άνθρακα.....	23
2.4.1.2 Βελτίωση της Ποιότητας του Αέρα.....	23
2.4.1.3 Μείωση της απορροής ομβρίων υδάτων.....	24
<b>2.4.2 Κοινωνικά και Οικονομικά Οφέλη.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΓΙΑ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ.....</b>	<b>26-27</b>
<b>2.5.1 Αλλαγή του κλίματος στις πόλεις.....</b>	<b>28</b>
2.5.2 Επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση στη θερμότητα και τη ρύπανση του αέρα στις πόλεις.....	28
2.5.3 Ακραίες συνθήκες θερμότητας.....	29
2.5.4 Η ατμοσφαιρική ρύπανση.....	30
2.5.5 Οφέλη στην υγεία μέσω του μετριασμού και της προσαρμογής.....	30-35
<b>2.6 ΔΙΕΘΝΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....</b>	<b>35-38</b>
<b>2.6.1 Προοπτικές σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση.....</b>	<b>39-40</b>
<b>2.7 ΑΣΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ.....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.1 Παραμέτροι που επηρεάζουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.2 Κλιματολογικά – Μετεωρολογικά Δεδομένα.....</b>	<b>41</b>
2.7.2.1 Αστική Μορφολογία.....	41
2.7.2.2 Πεδίο Ακτινοβολίας.....	42-43
2.7.2.3 Πεδίο ανέμου.....	43
2.7.2.4 Θερμοκρασία και υγρασία.....	44
<b>2.7.3 Στοιχεία Αστικής Μορφής.....</b>	<b>44</b>
2.7.3.1 Παράμετροι σχεδιασμού αστικής οικολογίας.....	45

2.8 ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ.....	45
2.8.1 Φύτευση.....	45
2.8.2 Έλεγχος της ανεμορροής.....	47-51
2.8.3 Προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία.....	51-53
2.8.4 Εξατμισοδιαπνοή.....	54
2.8.5 Οπτική άνεση.....	55
2.8.6 Ηχοπροστασία.....	56
2.8.7 Ποιότητα περιβάλλοντος.....	56
2.9 ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	57
2.9.1 Ψυχρά υλικά.....	57-58
2.10 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	59
2.10.1 Ηλιακή ακτινοβολία – Ηλιασμός – Ηλιοπροστασία.....	59-61
2.10.2 Ανεμοπροστασία – Αερισμός - Φυσικός Δροσισμός.....	61-62

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

<b>3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>63</b>
3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	63
3.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	64
3.2.1 Λογισμικό ENVI-met.....	64
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	65
3.3.1 Το Ατμοσφαιρικό Μοντέλο.....	65-70
3.3.2 Μοντέλο Εδάφους.....	70-71
3.3.3 Μοντέλο Βλάστησης.....	71-78
3.3.4 Αριθμητικές Πτυχές.....	78-80



3.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENVI-MET V4.....	80-81
<b>3.4.1 Έναρξη προσομοίωσης.....</b>	<b>81-82</b>
3.4.1.1 Αρχείο εισαγωγής περιοχής .IN.....	82
3.4.1.2 Μετεωρολογικά δεδομένα – Δημιουργία αρχείου .CF.....	83-90

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

<b>4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΑΡΚΟ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΜΕΓΑΡΟΥ ΣΤΗ ΠΑΦΟΥ.....</b>	<b>91</b>
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	91
4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	91-95
4.2.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης.....	95
4.2.2 Προτάσεις για αναβάθμιση της περιοχής μελέτης.....	95-97
4.2.3 Προσομοίωση πρότασης περιοχής μελέτης.....	97-98
4.2.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων του Envi-met.....	98-99
4.2.4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης.....	100-103
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	104

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

<b>5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>105</b>
5.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	105
5.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	105
5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	106
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>107-109</b>

## Κατάλογος Εικόνων

<i>Εικόνα 2.1: Το ισοζύγιο ενέργειας του ανθρώπινου σώματος. I: η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, H: η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, (I+H)refl: η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, EA και Eu: θερμική ακτινοβολία από το περιβάλλον και W: η θερμική ακτινοβολία του ανθρώπινου σώματος. (τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>18</i>
<i>Εικόνα 2.2: Το αστικό σύστημα (European briefings, European environment agency 2015).....</i>	<i>36</i>
<i>Εικόνα 2.3: Η εξάπλωση των πόλεων ανά χώρα και εντός των χωρών (2009), (European briefings, European environment agency 2015).....</i>	<i>37</i>
<i>Εικόνα 2.4: Διοχέτευση θερινών ανέμων στο κτίριο με τη βοήθεια σχηματισμού φυλοβόλων δέντρων.....</i>	<i>48</i>
<i>Εικόνα 2.5: (α) ελαχιστοποίηση της επίδρασης του χειμερινού ανέμου (β) βελτιστοποίηση της επιρροής του καλοκαιρινού αερισμού-δρυσισμού (τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>49</i>
<i>Εικόνα 2.6: Δημιουργία υπήνεμων περιοχών: (α) επιμήκης δασική συστάδα δένδρων δημιουργεί μικρή προστατευόμενη περιοχή (β) μια μικρή συστάδα δένδρων προστατεύει μια μεγαλύτερη περιοχή (γ, δ) μια συστάδα με κεκλιμένη κόμη είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη συστάδα δένδρων με επίπεδη κόμη (τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>50</i>
<i>Εικόνα 2.6: Οι συμπαγείς φράκτες δημιουργούν στροβιλισμούς, ενώ συνδυασμός δέντρων και θάμνων αυξάνει την ηρεμία (τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>50</i>
<i>Εικόνα 2.7: Τα δέντρα (α) εκτρέπουν τον αέρα και (β) τον διευθύνουν προς το κτήριο (τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>51</i>
<i>Εικόνα 2.8: Σκίαση νότιας όψης κτηρίου από φυλλοβόλο δέντρο τη θερινή περίοδο, χωρίς να παρεμποδίζεται σημαντικά ο ηλιασμός του τη χειμερινή περίοδο(τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>53</i>
<i>Εικόνα 2.9: Προτεινόμενα ύψη φύτευσης, αναλόγως με την απόσταση, για νότιο προσανατολισμό(τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>53</i>
<i>Εικόνα 2.10: Οριζόντιο σκίαστρο με πέργκολα με φυτά (τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>53</i>
<i>Εικόνα 2.11: Μετρήσεις επιφανειακών θερμοκρασιών σε φυτεμένη επιφάνεια με γρασίδι και σε άσφαλο κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι, στο κέντρο της Αθήνας (τεχνική οδηγία TEE, 2012).....</i>	<i>56</i>
<i>Εικόνα 3.1: Παράθυρο διαλόγου έναρξης Envi-met.....</i>	<i>80</i>
<i>Εικόνα 3.2: Παράθυρο διαλόγου Spaces.....</i>	<i>82</i>
<i>Εικόνα 3.3: Μοντέλο προσομοίωσης υφιστάμενης κατάστασης - .SIM File.....</i>	<i>82</i>
<i>Εικόνα 3.4: Αρχείο διαμορφώσης .CF , εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων.....</i>	<i>89</i>

<i>Εικόνα 3.5: Εισαγωγή θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας ανέμου ανά ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας...</i>	89
<i>Εικόνα 4.1: Περιοχή Μελέτης (Google Earth).....</i>	92
<i>Εικόνα 4.2: Λεωφόρος Γρίβα Διγενή.....</i>	93
<i>Εικόνα 4.3: Ο χώρος μπροστά από το Δημοτικό Μέγαρο που ενώνεται με την Λεωφόρο Γρίβα Διγενή και την Χριστοδούλου Παπαδοπούλου.....</i>	93
<i>Εικόνα 4.4: Λεωφόρος Γρίβα Διγενή.....</i>	94
<i>Εικόνα 4.5: Εντός του πάρκου πίσω από το Δημοτικό Μέγαρο.....</i>	94
<i>Εικόνα 4.6: Οδός 25<sup>ης</sup> Μαρτίου.....</i>	94
<i>Εικόνα 4.7: Οδοί Χριστοδούλου Γαλατοπούλου και Ιακ. Ιακωβίδη.....</i>	95
<i>Εικόνα 4.8: Μπροστά από το Δημοτικό Μέγαρο.....</i>	95
<i>Εικόνα 4.9: Προτεινόμενη Παρέμβαση.....</i>	98
<i>Εικόνα 4.10: Δημιουργία φακέλων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.....</i>	99
<i>Εικόνα 4. 11: Ο κάθε φάκελος περιέχει τα αρχεία .EDX και .EDT, τα οποία όπως απεικονίζονται και πιο πάνω προσομοιώνουν για κάθε ώρα ξεχωριστά για την συγκεκριμένη μέρα που έχει επιλεγεί.....</i>	99
<i>Εικόνα 4.12: Η θερμοκρασία της περιοχής μελέτης για την υφιστάμενη κατάσταση (Leonardo).....</i>	100
<i>Εικόνα 4.13: Η θερμοκρασία της περιοχής μελέτης για την προτεινόμενη κατάσταση (Leonardo).....</i>	100
<i>Εικόνα 4.14: Κατανομή Θερμοκρασία επιφάνειας κατά τη θερμότερη μέρα της υφιστάμενης κατάστασης.....</i>	101
<i>Εικόνα 4.15: Κατανομή Θερμοκρασία επιφάνειας κατά τη θερμότερη μέρα της προτεινόμενης κατάστασης.....</i>	101
<i>Εικόνα 4.16: Κατανομή ταχύτητας ανέμου η ώρα 12:00 κατά τη θερμότερη μέρα της υφιστάμενης κατάστασης.....</i>	102
<i>Εικόνα 4.17: Κατανομή ταχύτητας ανέμου η ώρα 12:00 κατά τη θερμότερη μέρα της προτεινόμενης κατάστασης.....</i>	103
<i>Εικόνα 4.18: Κατανομή θερμοκρασίας εδάφους του χώρου περιοχής μελέτης της υφιστάμενης καταστάσης κατά τις ώρες 12:00.....</i>	103
<i>Εικόνα 4.19: Κατανομή θερμοκρασίας εδάφους του χώρου περιοχής μελέτης της υφιστάμενης καταστάσης κατά τις ώρες 12:00.....</i>	103

## Κατάλογος Πινάκων

<i>Πίνακας 2.1: Σύνοψη των στρατηγικών διαχείρισης κινδύνων της πόλης για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή με παράλληλα οφέλη για την υγεία (τεχνική οδηγία ΤΕΕ, 2012).....</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 2.2: Ποσοστό σκιασμού δέντρων του ελληνικών χώρου ανάλογα με το σχήμα, και τα χαρακτηριστικά της κόμης(τεχνική οδηγία ΤΕΕ, 2012).....</i>	<i>52</i>
<i>Πίνακας 2.3: Ιδιότητες υλικών που χρησιμοποιούνται σε δαπεδοστρώσεις. Οι τιμές με (*) προέρχονται από επιτόπιες μετρήσεις σε υπαίθριους χώρους στη Θεσσαλονίκη (Χατζηδημητρίου et al, 2008).....</i>	<i>56</i>
<i>Πίνακας 3.1: Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής για τις 22/7/2016, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση (www.wunderground.com).....</i>	<i>85</i>

## 1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των μεγάλων πυκνοκατοικημένων πόλεων έκαναν την εμφάνιση τους τον 20<sup>ο</sup> αιώνα σε πολλά μέρη του πλανήτη, η αυξανόμενη αστικοποίηση έχει επηρεάσει το αστικό μικροκλίμα και συνεχίζει μέχρι σήμερα. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του μικροκλίματος σε μία πόλη είναι πολλοί όπως τα κτήρια, οι κοινόχρηστοι υπαίθριοι χώροι, ο πολεοδομικός σχεδιασμός και οι ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην αύξηση της θερμοκρασίας.

Σε περιοχές με θερμό και μεσογειακό κλίμα όπως είναι στη Κύπρο συναντάται το φαινόμενο “Urban Heat Island”, το οποίο ευθύνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών και του αέρα σε μια πόλη και επηρεάζει καθοριστικά το μικροκλίμα. Οι αρνητικές συνέπειες επακόλουθο του φαινομένου αυτού έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση, στα κτήρια λόγω αυξανόμενων αναγκών δροσισμού εντείνεται και η λειτουργία των κλιματιστικών με συνέπεια να αυξάνουν ακόμα περισσότερο την θερμότητα στους υπαίθριους χώρους, στους ανθρώπους με προβλήματα υγείας, στην οικονομία όσον αφορά το υποβαθμισμένο αστικό περιβάλλον και στην αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και στην κοινωνία όπου και επηρεάζει τις συνθήκες διαβίωσης των αδύναμων κοινωνικών ομάδων. Όλα τα πιο πάνω δημιουργούν προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν στοχευμένα και με παρεμβάσεις προς όλους τους παραγοντες που τα δημιουργούν, με στόχο να μειωθούν ή και να εξαλειφθούν οι αρνητικές συνέπειες.

### 1.1 Περίληψη του στόχου και του σκοπού της μεταπτυχιακής διατριβής

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει τη συμβολή του περιβαλλοντικού σχεδιασμού στο αστικό μικροκλίμα και συγκεκριμένα τους χώρους πρασίνου σε μία πόλη, για το σκοπό αυτό έχει επιλεγθεί ο χώρος πρασίνου περιμετρικά του δημαρχείου στην πόλη της Πάφου. Η μεθοδολογική προσέγγιση που θα χρησιμοποιηθεί θα στηρίζεται αρχικά στην ανάλυση του τοπίου, θα γίνει συλλογή πληροφοριών και καταγραφή συνθηκών και παραγόντων όπως επίσης και βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στόχος είναι να ερευνηθούν οι επιπτώσεις των αστικών χώρων πρασίνου όσον αφορά

το μικροκλίμα και τον περιβάλλοντα χώρο και η εφαρμογή βιώσιμων μεθόδων σε αυτούς τους χώρους. Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση του συγκεκριμένου θέματος είναι δύο: Η μία είναι να γίνει μέτρηση των καιρικών (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή και υπέρυθη ακτινοβολία) και περιβαλλοντικών παραγόντων που καθορίζουν την κλιματική ποιότητα και η δεύτερη θα είναι η προσομοίωση στις κλιματολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής που έχει επιλεγεί για την μελέτη, χρησιμοποιώντας το αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης μικροκλίματος το ENVI-met.

Καινοτομία της παρούσας διατριβής αποτελεί το γεγονός ότι η λεπτομερής καταγραφή όσον αφορά το σχεδιασμό βιοκλιματικού σχεδιασμού και η προσομοίωση του στο λογισμικό Envi-met v.4, στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο στα χέρια των τοπικών αρχόντων για την εφαρμογή τους. Επιπλέον είναι μια πρωτότυπη μελέτη για τα δεδομένα της Κύπρου για το λόγο ότι δεν είναι πολύ διαδεδομένη η χρησιμοποίηση λογισμικών προσομοίωσης για το βιοκλιματικό σχεδιασμό ενός αστικού χώρου.

Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές έρευνες και εργασίες για το λόγο ότι το λογισμικό Envi-met v.4 που έχει χρησιμοποιηθεί είναι η νεότερη έκδοση και δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες ή και εργασίες στο διαδίκτυο που έχουν εφαρμοστεί στην πράξη.

## 1.2 Περιγραφή ενοτήτων κεφαλαίων

Το αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει τη συμβολή του περιβαλλοντικού σχεδιασμού στο αστικό μικροκλίμα και συγκεκριμένα τους χώρους πρασίνου σε μία πόλη, για το σκοπό αυτό έχει επιλεγεί ο χώρος πρασίνου περιμετρικά του δημαρχείου στην πόλη της Πάφου.. Στη μελέτη αυτή στόχος είναι να ερευνηθούν οι επιπτώσεις των αστικών χώρων πρασίνου όσον αφορά το μικροκλίμα και την εφαρμογή βιώσιμων μεθόδων ενός χώρου πρασίνου στον περιβάλλοντα χώρο.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στο θέμα στη συνέχεια αναφέρονται οι στόχοι και ο σκοπός της διατριβής καθώς και η καινοτομία της. Επιπλέον γίνεται μια σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων ώστε να καταστεί δυνατή η κατανόηση της στη συνέχεια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση όπου αναφέρεται η σχέση των σύγχρονων πόλεων και των χώρων πρασίνου, η έννοια των αστικών χώρων πρασίνου και ποιά είναι η επίδραση των χώρων πρασίνου στο περιβάλλον. Όπως επίσης και τα μέτρα προσαρμογής

στην κλιματική αλλαγή για τις αστικές περιοχές. Επίσης γίνεται αναφορά στο διεθνή και ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο όσον αφορά το αστικό περιβάλλον.

Επίσης εισάγεται η έννοια του βιοκλιματικού σχεδιασμού ως ένα εργαλείο πολεοδομικού σχεδιασμού όπως και τα μέσα-εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του. Στη συνέχεια αναλύεται ο όρος «αστικό κλίμα» και μικροκλίμα, ο οποίος αναφέρεται στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα αστικό χώρο (πάρκο, πλατείες, κ.α.), και παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Στο τρίτο κεφάλαιο της διατριβής, παρουσιάζεται η μεθοδολογία, σκοπός μελέτης, περιοχή έρευνας, ανασχεδιασμός υπαίθριου χώρου, η εισαγωγή στο λογισμικό Envi-met v4 όπως επίσης και τα εργαλεία εκτίμησης περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και αναλύεται η περιοχή έρευνας και οι προτάσεις για την αναβάθμιση της. Στη συνέχεια ακολουθεί η προσομοίωση της περιοχής μελέτης και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του λογισμικού Envi-met v4.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται η σύζηση – συμπεράσματα, οι περιορισμοί της διατριβής και οι προτάσεις.

## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Εισαγωγή

Ο κόσμος έχει υποστεί ταχεία εκβιομηχάνιση και αστικοποίηση τους τελευταίους αιώνες. Η γρήγορη αστική ανάπτυξη τροποποιεί τη φυσική επιφάνεια και τη μετατρέπει σε ανθρωπογενείς δομές και κατασκευασμένα τοπία. Αυτές οι αλλαγές είναι γνωστό για την αύξηση των τοπικών θερμοκρασιών στις αστικές περιοχές και συμβάλει στη διαμόρφωση της αστικής θερμότητας (Θερμική Νησίδα). Το φαινόμενο της Θερμικής Νησίδας αυξάνει τους κινδύνους των κλιματικών και βιοφυσικών κινδύνων στο αστικό περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της θερμικής καταπόνησης και της αυξημένης έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους. Ταυτόχρονα, η αυξημένη χρήση του κλιματισμού και ψύξης σε θερμότερα / υγρά καλοκαίρια συνεπάγεται μια αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας, με αρνητικές επιπτώσεις για τους ενεργειακούς πόρους της πόλης.

Η Ευρώπη είναι μία ένωση μεγάλων και μικρών πόλεων, περίπου το 75% του πληθυσμού της ΕΕ έχουν επιλέξει τις αστικές περιοχές ως τόπο για να ζήσουν. Αλλά οι επιπτώσεις της αστικοποίησης έχουν επεκταθεί, πέρα από τα σύνορα της πόλης. Οι Ευρωπαίοι έχουν υιοθετήσει αστικό τρόπο ζωής και χρησιμοποιούν τις ανέσεις της πόλης, όπως πολιτιστικές, εκπαιδευτικές ή υγειονομικές υπηρεσίες. Ενώ οι πόλεις είναι οι κινητήριες δυνάμεις της οικονομίας και των δημιουργών του Ευρωπαϊκού πλούτου, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους πόρους των περιοχών που βρίσκονται εκτός των αστικών περιοχών για την κάλυψη της ζήτησης των πόρων όπως η ενέργεια, το νερό, τα τρόφιμα και να δεχθεί τα διάφορα απόβλητα της πόλης.

Όλα τα πιο πάνω δημιουργούν σε μία πόλη έντονο κυκλοφοριακό πρόβλημα, αύξηση κινδύνων από φυσικά φαινόμενα και καταστροφή του περιβάλλοντος. Η αειφορική ανάπτυξη στη πόλη είναι μια στρατηγική που μπορεί να αλλάξει όλες τις αρνητικές συνέπειες στο αστικό περιβάλλον, και αυτό σημαίνει την απαναφορά του φυσικού περιβάλλοντος μέσα στις πόλεις, ο λόγος είναι γιατί το πράσινο προσφέρει σημαντικές υπηρεσίες στον αστικό ιστό και οικολογικές λειτουργίες, οι οποίες αναβαθμίζουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων.

Η αύξηση της θερμοκρασίας και της κυκλοφορίας των οχημάτων στα αστικά κέντρα, έχει ως επακόλουθο όχι μόνο τη καταστροφή του περιβάλλοντος αλλά έχει και κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Διάφορες αλλαγές όπως δεντροφυτεύσεις, δημιουργία πάρκων, ανοιχτών χώρων ή και υδάτινους χώρους στο υφιστάμενο αστικό περιβάλλον, μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας όπως επίσης και στη βελτίωση του μικροκλίματος. Το πιο σημαντικό για τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής των



κατοίκων στις πόλεις αλλά και για τη μείωση των κινδύνων από φυσικές καταστροφές, είναι ο σωστός σχεδιασμός και η διατήρηση ενός ολοκληρωμένου δικτύου αστικού και περιαστικού πρασίνου

## 2.2 Σύγχρονες πόλεις και χώροι πρασίνου

Οι διεθνείς προσπάθειες για τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος αφορά κυρίως τη βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα ή συγκεκριμένο είδος ζώου ή φυτικών ειδών που κινδυνεύουν ή απειλούνται με εξαφάνιση. Από την άλλη πλευρά λιγότερο επιστημονικό-πολιτική προσοχή δίνεται σε αυτό το είδος της φύσης κοντά στα σημεία όπου οι άνθρωποι ζούν και εργάζονται, σε περιοχές πρασίνου μικρής κλίμακας όπως επίσης και τα οφέλη του για τους κατοίκους των πόλεων. Οι στρατηγικές αειφορίας και της ανάπλασης των πόλεων έχουν επικεντρωθεί κυρίως στα τεχνητά κατασκευάσματα του αστικού περιβάλλοντος σε σύγκριση με την προσοχή που δίνεται στα φυσικά υλικά των χώρων πρασίνου της αστικής δομής η οποία εξακολουθεί να είναι κακή. (Chiesura A., 2004)

Υποστηρίζεται, ωστόσο, ότι τα αστικά πάρκα και οι ανοιχτοί χώροι πρασίνου είναι στρατηγικής σημασίας για την ποιότητα ζωής της ολόενα και πιο αστικοποιημένης κοινωνία μας . Στην πραγματικότητα, δείχνει ότι η παρουσία των φυσικών πόρων (π.χ. αστικά πάρκα και τα δάση , ζώνες πρασίνου) και τα συστατικά (δηλαδή δένδρα, νερό) σε αστικό περιβάλλον συμβάλλουν στην ποιότητα της ζωής με πολλούς τρόπους. Εκτός από τις σημαντικές περιβαλλοντικές υπηρεσίες, όπως ο αέρας και τον καθαρισμό του νερού, του ανέμου και το φιλτράρισμα του θορύβου, ή σταθεροποίηση του μικροκλίματος, φυσικές περιοχές παρέχουν κοινωνικές και ψυχολογικές υπηρεσίες, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για τις σύγχρονες πόλεις και την ευημερία των κατοίκων των αστικών κέντρων (Ulrich, 1981).

Τα τελευταία χρόνια ο σχεδιασμός και η διαχείριση του αστικού πρασίνου απασχολεί ολοένα και περισσότερο τις κυβερνήσεις, οι απλοί πολίτες που ζουν στις πόλεις πλέον είναι πιο ευαισθητοποιημένοι και οργανώνονται όσον αφορά τα θέματα αστικού πρασίνου, έχοντας ως στόχο να το προστατέψουν και να κάνουν τις πόλεις περισσότερο βιώσιμες. Σε διάφορες Ευρωπαϊκές πόλεις έχει παρατηρηθεί ή τάση που αφορά τον οικολογικό σχεδιασμό των αστικών περιοχών με σκοπό τη προστασία του περιβάλλοντος και τη διατήρηση των αστικών οικοτόπων.

## 2.3 Έννοια Αστικού Ανοιχτού Χώρου Πρασίνου

### 2.3.1 Ελεύθεροι Χώροι Αστικού Πρασίνου

Σε κάθε πόλη υπάρχουν πράσινοι χώροι, αυτοί είναι οι εκτάσεις χωρίς κτίρια, οι δρόμοι, οι πεζόδρομοι, οι πλατείες, οι παιδικές χαρές, οι παραλίες όταν οι πόλεις είναι παραθαλάσσιες, τα ρέματα μέσα στις πόλεις, οι ανοιχτοί αρχαιολογικοί χώροι, τα πάρκα, οι κήποι, οι ανοιχτές και χωρίς κτίρια αθλητικές εγκαταστάσεις. Όλοι αυτοί οι χώροι είναι ανοιχτοί, κατά κανόνα δημόσιοι και σε αυτούς έχουν πρόσβαση όλοι οι πολίτες.

Στα ιδιόκτητα οικόπεδα αφήνονται υποχρεωτικά ακάλυπτοι χώροι. Αυτό γίνεται για τον αερισμό και το φωτισμό των κτιρίων που κτίζονται επάνω τους, για τη λειτουργική συγκρότηση του αστικού χώρου και τη διαφύλαξη φυσικών επιφανειών. Όμως αυτοί δεν είναι ανοικτοί στους κατοίκους, ούτε προσμετρώνται στους ελεύθερους χώρους μιας πόλης. Υπάρχουν ακόμα και ιδιόκτητοι ή κλειστοί ελεύθεροι ή πράσινοι χώροι.

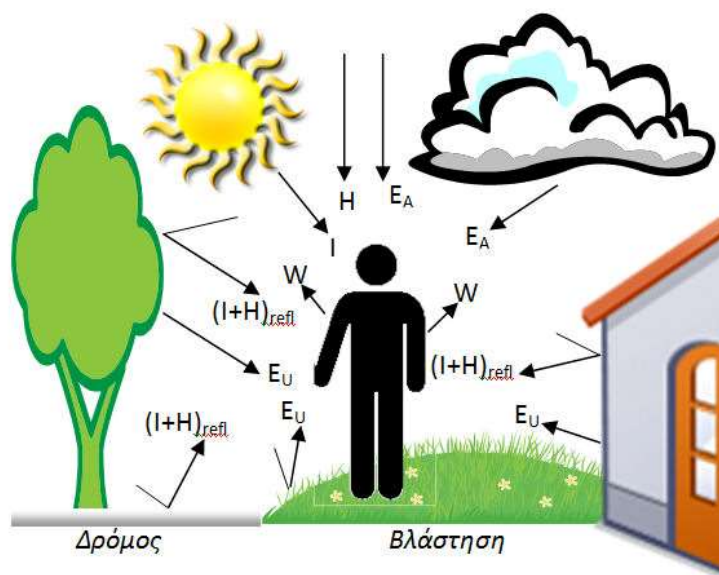
Η σημασία του πρασίνου και των ελεύθερων χώρων στην πόλη είναι εξαιρετικά μεγάλη για την ποιότητα ζωής των κατοίκων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πόλεων με υψηλές πυκνότητες δόμησης, καθώς από την ύπαρξη τους προκύπτουν σημαντικά οικολογικά και κοινωνικά οφέλη.

### 2.3.2 Θερμική Άνεση και Υπαίθριοι Αστικοί Χώροι

Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο είναι η θερμική άνεση. Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση στην οποία ο άνθρωπος αισθάνεται ικανοποίηση με το θερμικό του περιβάλλον και δεν επιθυμεί καμία αλλαγή σε αυτό. Η διερεύνηση και η κατανόηση των παραμέτρων που συνιστούν τη θερμική άνεση σε εξωτερικούς χώρους είναι μια βασική απαίτηση για τον μικροκλιματικά προσανατολισμένο σχεδιασμό αστικών περιοχών. Ο βαθμός, η ένταση καθώς και η αποδοτικότητα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων εξαρτώνται από το επίπεδο άνεσης ή δυσφορίας που βιώνουν οι άνθρωποι όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες. Η θερμοκρασιακή κατανομή σε υπαίθριο αστικό χώρο, όπου τα κόκκινα χρώματα υποδηλώνουν υψηλές τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας και τα μπλε χρώματα χαμηλότερες τιμές. Η διαφοροποίηση ανάλογα με τη θέση είναι προφανής και μπορεί να εξαρτάται τόσο από το υλικό της επιφάνειας στο συγκεκριμένο σημείο όσο και από τη σκίαση. Η θερμική άνεση είναι μια σύνθετη έννοια, καθώς επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Το θερμικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω φυσικές παραμέτρους, οι οποίες καθορίζουν τον βαθμό της αίσθησης θερμικής άνεσης:

- θερμοκρασία αέρα,
- ταχύτητα του ανέμου,
- σχετική υγρασία,
- μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Οι φυσικές παράμετροι όμως δεν είναι οι μόνες που καθορίζουν την θερμική άνεση. Παράγοντες που έχουν να κάνουν με τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα το επίπεδο δραστηριότητας και ο ρουχισμός είναι καθοριστικοί για την θερμική άνεση. Η γνώση των παραμέτρων του εξωτερικού περιβάλλοντος, από την άποψη χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας, η ποικιλία των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, αλλά και άλλες παράμετροι που αναφέρονται παρακάτω καθιστούν την κατανόηση και την πρόβλεψη συνθηκών άνεσης σε εξωτερικούς χώρους σύνθετη και ενδιαφέρουσα. Η έννοια της θερμικής άνεσης στηρίζεται στην αρχή ότι σε σταθερές συνθήκες η παραγωγή θερμότητας θα πρέπει να ισούται με τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία του σώματος στους 37ο C, περίπου. Στην Εικόνα 2.1 δίνεται μια σχηματική παράσταση του ισοζυγίου ενέργειας του ανθρώπινου οργανισμού, όπου παρουσιάζονται όλες οι παράμετροι που καθορίζουν το θερμικό ισοζύγιο στο ανθρώπινο σώμα και άρα το αίσθημα της θερμικής άνεσης. Οι άνθρωποι επιδιώκουν βελτίωση των συνθηκών άνεσής τους προσαρμόζοντας τα επίπεδα ρουχισμού τους αλλά και το μεταβολικό τους ρυθμό. Όταν η δυνατότητα προσαρμογής είναι περιορισμένη προκαλείται στρες και δυσφορία. Αυτό υποδηλώνει ότι ενδογενείς παράγοντες, όπως η εμπειρία, οι προσδοκίες και ο χρόνος έκθεσης είναι παράμετροι που πρέπει να συνεκτιμηθούν στην θερμική άνεση.



Εικόνα 2.1: Το ισοζύγιο ενέργειας του ανθρώπινου σώματος. I: η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, H: η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία,  $(I+H)_{refl}$ : η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία,  $E_A$  και  $E_U$ : θερμική ακτινοβολία από το περιβάλλον και W: η θερμική ακτινοβολία του ανθρώπινου σώματος. (τεχνική οδηγία TEE, 2012)

### 2.3.2.1 Το ισοζύγιο ενέργειας του ανθρώπινου σώματος

Μέσα από τη χρήση του σύνθετου μηχανισμού ρύθμισης της θερμοκρασίας του, το ανθρώπινο σώμα είναι σε θέση να επέλθει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας με το περιβάλλον του, όταν η μεταβολή του θερμικού ισοζυγίου είναι ίση με το μηδέν. Η θερμική ανταλλαγή μεταξύ του υποκειμένου και του περιβάλλοντος ισούται με τη διαφορά μεταξύ της παραγωγής θερμότητας λόγω μεταβολισμού και των θερμικών απωλειών, λόγω της αναπνοής ή της ανταλλαγής θερμότητας μέσω του δέρματος, αλλά και της εκπομπής και απορρόφησης ακτινοβολίας. Η ενέργεια των τροφών που προσλαμβάνονται από τον ανθρώπινο οργανισμό μετατρέπεται σε θερμική μέσω χημικών αντιδράσεων (μεταβολικός ρυθμός). Ένα μέρος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας είναι απαραίτητη για την διατήρηση του ανθρώπινου σώματος σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και για τη διασφάλιση της λειτουργίας των οργάνων (βασικός μεταβολισμός ο οποίος ποικίλει ανάλογα με το ύψος και το βάρος του ανθρώπου). Ένα άλλο μέρος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας είναι αναγκαία για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων του ανθρώπου, μέσω των οποίων μέρος του μεταβολισμού παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε μηχανική ισχύ. Κατά τη διαδικασία της αναπνοής μία ποσότητα αέρα εισπνέεται από το άτομο, η οποία έχει γενικά διαφορετική θερμοκρασία και υγρασία σε σχέση με τον πυρήνα του σώματος. Επιπλέον, ένα τμήμα της εσωτερικής θερμότητας του σώματος μεταφέρεται, ανάλογα και με το επίπεδο δραστηριότητας, στο εξωτερικό περιβάλλον μέσω της εκπνοής. Ως εκ τούτου, οι απώλειες λόγω αναπνοής εξαρτώνται από το επίπεδο της δραστηριότητας του υποκειμένου και από τη θερμοκρασία και την υγρασία του

περιβάλλοντος. Η εξωτερική επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος χαρακτηρίζεται γενικά από συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας διαφορετικές από εκείνες του περιβάλλοντος του. Αυτό προκαλεί θερμικές ανταλλαγές μεταξύ του υποκειμένου και του περιβάλλοντος. Αυτή η ανταλλαγή θερμότητας εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία του αέρα, τη θερμοκρασία του δέρματος, το ποσοστό των καλυμμένων από ρούχα επιφανειών του σώματος, καθώς και από τον τύπο ρουχισμού. Η εξωτερική επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος καθορίζει επίσης την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται, διαμορφώνεται κυρίως από τον τύπο του ρουχισμού. Για παράδειγμα, ανοιχτόχρωμος ρουχισμός έχει σαν συνέπεια τη μικρότερη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας απ' ότι ο σκουρόχρωμος. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από το ανθρώπινο σώμα είναι κυρίως συνάρτηση της θερμοκρασίας της εξωτερικής του επιφάνειας. Μεγάλο ποσοστό των θερμικών απωλειών από το ανθρώπινο σώμα οφείλεται στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.

Τέλος, η ανταλλαγή θερμότητας μέσω εφίδρωσης εξαρτάται από το τύπο ρουχισμού, το επίπεδο υγρασίας του δέρματος και από τη διαφορά πίεσης μεταξύ των υδρατμών στον αέρα και των υδρατμών στη λεπτή επιφάνεια που καλύπτει το δέρμα. Όλες οι ανταλλαγές θερμότητας μέσω του δέρματος, επίσης, εξαρτώνται από το μέγεθος της επιφάνειας του σώματος.

### **2.3.2.2 Δείκτες Θερμικής Άνεσης**

Για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιούνται δείκτες που ενσωματώνουν το σύνολο, ή μέρος, της παραπάνω πληροφορίας. Οι δείκτες αυτοί, αν και αρχικά είχαν στόχο την εκτίμηση της θερμικής άνεσης σε εσωτερικούς χώρους, στην συνέχεια προσαρμόστηκαν για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης σε εξωτερικούς χώρους:

- Ο δείκτης Ισχύος Αποψύξεως (Cooling Power, CP) εκφράζει το ρυθμό της απώλειας θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος που διατηρείται στη θερμοκρασία των 36.5οC 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. 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. Αν και οι παραπάνω δείκτες είναι κατάλληλοι για χρήση σε εξωτερικούς χώρους, ο δείκτης Ισχύος Αποψύξεως προτιμάται για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης γιατί έχει σχεδιαστεί για εφαρμογή σε συνθήκες εξωτερικού χώρου αφού εκφράζει το ρυθμό της απώλειας θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος που διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία όταν η επιφάνεια αυτή εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα.

## 2.4 Επίδραση Χώρων Πρασίνου στο Αστικό Περιβάλλον

Τα κτίρια και τα οδοστρώματα αυξάνουν τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος μέσα στην πόλη. Η ταχεία ανάπτυξη των πόλεων κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών συνδέεται με μια σταθερή αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο της πόλης των περίπου 0,7 ° F (0,4 ° C) ανά δεκαετία. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις πόλεις αυξάνεται περίπου 1-2% ανά ° F (3-4% ανά ° C) την αύξηση της θερμοκρασίας, περίπου το 3-8% της τρέχουσας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την ψύξη για να αντισταθμίσει το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Akbari et al. 1992). Η υψηλότερη θερμοκρασία σε πόλεις σε σύγκριση με τις γύρω αγροτικές περιοχές έχει και άλλες συνέπειες, όπως η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από μονάδες ορυκτών καυσίμων ενέργειας, αύξηση της ζήτησης νερού, ανθυγιεινά επίπεδα του όζοντος και την ανθρώπινη δυσφορία και ασθενειών. Αυτά τα προβλήματα οξύνονται από την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος, η οποία μπορεί να διπλασιάσει το ρυθμό της αστικής θέρμανσης.

Τα δέντρα μέσα στην πόλη τροποποιούν το κλίμα και διατηρούν την ενέργεια των κτιρίων μέσω της σκίασης, η οποία μειώνει την ποσότητα της ακτινοβολίας η οποία απορροφάται και αποθηκεύεται στις επιφάνειες των κτιρίων, της εξατμισοδιαπνοής, η οποία μετατρέπει το υγρό νερό στα φυτά σε ατμούς, ψύχοντας έτσι τον αέρα και μειώνει τη ταχύτητα του ανέμου, η οποία μειώνει τη διείσδυση των εξωτερικού αέρα σε εσωτερικούς χώρους (Simpson 1998). Τα δέντρα και άλλοι χώροι πρασίνου στο εσωτερικό των εργοταξίων μπορεί να μειώσουν τη θερμοκρασία του αέρα 5 ° F (3 ° C) σε σύγκριση με έξω από το χώρο πρασίνου. Κατά την μεγαλύτερη κλίμακα του αστικού κλίματος (6 μίλια ή 10 τετραγωνικά χιλιόμετρα), έχουν παρατηρηθεί διαφορές θερμοκρασίας άνω των 9 ° F (5 ° C) μεταξύ των κέντρων των πόλεων και των ημιαστικών περιοχών με περισσότερη βλάστηση.

Η σχετική σημασία αυτών των επιπτώσεων εξαρτάται από το μέγεθος και τη διαμόρφωση της βλάστησης και των άλλων στοιχείων του τοπίου (McPherson 1993). Σε γενικές γραμμές, οι μεγάλοι χώροι πρασίνου επηρεάζουν το κλίμα σε μεγαλύτερες αποστάσεις (300-1,500 πόδια, ή 100-500 m) από ό, τι κάνουν οι μικροί χώροι πρασίνου. Οι απόσταση των δέντρων, το μέγεθος της κόμης τους και η κατακόρυφη κατανομή της φυλλικής επιφάνειας επηρεάζουν τη μεταφορά του δροσερού αέρα και των ρύπων κατά μήκος των δρόμων και έξω από τις αστικές χαράδρες. Για μεμονωμένα κτίρια, οι ηλιακές γωνίες και η διείσδυση είναι σημαντική. Επειδή ο ήλιος του καλοκαιριού είναι χαμηλά στα ανατολικά και δυτικά για αρκετές ώρες κάθε ημέρα, η σκιά για την προστασία ανατολικά και κυρίως δυτικά τείχη βοηθά στη διατήρηση κτιρίων πιο δροσερά. Ο ρυθμός με τον οποίο ο εξωτερικός αέρας διεισδύει σε ένα κτίριο μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με την ταχύτητα του ανέμου, στο κρύο, σε θυελλώδεις καιρικές συνθήκες, ολόκληρος ο όγκος του αέρα σε ένα κακώς σφραγισμένα σπίτι μπορεί να αλλάξει δύο με τρεις φορές ανά ώρα. Ακόμη και σε νεότερες οικοδομές ή ερμητικά σφραγισμένα σπίτια, ολόκληρος ο όγκος του αέρα μπορεί να αλλάξει κάθε δύο με τρεις ώρες.

### **2.4.1 Περιβαλλοντικά Οφέλη**

Οι επιδράσεις των δέντρων και των χώρων πρασίνου στο αστικό περιβάλλον θα πρέπει να εξετάζονται διαρκώς λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες, πιο κάτω παραθέτονται αναλυτικά οι θετικές επιπτώσεις αυτών.

#### **2.4.1.1 Ατμοσφαιρική Μείωση του Διοξειδίου του άνθρακα**

Τα δέντρα που βρίσκονται στην πόλη μπορούν να μειώσουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) με δύο τρόπους: τα δέντρα δεσμεύουν άμεσα το CO<sub>2</sub> ως ξυλώδη και φυλλώδη βιομάζα ενώ μεγαλώνουν και δέντρα που βρίσκονται κοντά στα κτίρια μπορούν να μειώσουν τη ζήτηση για θέρμανση και κλιματισμό, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές που συνδέονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, το CO<sub>2</sub> απελευθερώνεται από οχήματα, αλυσοπρίονα, τεμαχιστές ξύλου, και άλλο εξοπλισμό κατά τη διαδικασία της φύτευσης και διατήρησης των δέντρων. Τελικά, όλα τα δέντρα πεθαίνουν και το μεγαλύτερο μέρος του CO<sub>2</sub> που έχει συσσωρευτεί σε ξύλινη βιομάζα τους απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω αποσύνθεσης.

#### 2.4.1.2 Βελτίωση της Ποιότητας του Αέρα

Τα δέντρα που βρίσκονται μέσα στην πόλη παρέχουν οφέλη για την ποιότητα του αέρα, απορροφώντας ρύπους όπως το όζον και τα οξειδία του αζώτου μέσω των επιφανειών των φύλλων, αναχαιτούν τα αιωρούμενα σωματίδια (π.χ. σκόνη, τέφρα, γύρη, καπνό), απελευθερώνοντας οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης και διαπνέουν το νερό και τη σκίαση των επιφανειών, η οποία μειώνει τα επίπεδα του όζοντος με τη μείωση των τοπικών θερμοκρασιών του αέρα. Σε περίπτωση απουσίας των επιδράσεων ψύξεως των δέντρων, οι υψηλότερες θερμοκρασίες του αέρα συμβάλουν στο σχηματισμό όζοντος. Τα περισσότερα δέντρα εκπέμπουν διάφορες βιογενείς πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), όπως το ισοπρένιο και μονοτερπένια που μπορούν να συμβάλουν στο σχηματισμό όζοντος. Το δυναμικό σχηματισμού όζοντος διαφορετικών ειδών δέντρων ποικίλλει σημαντικά.

#### 2.4.1.3 Μείωση της απορροής ομβρίων υδάτων

Η αστική απορροή ομβρίων υδάτων είναι μια σημαντική πηγή ρύπανσης που εισέρχονται σε ποτάμια και λίμνες. Ένα υγιές αστικό δάσος μπορεί να μειώσει την ποσότητα της απορροής και των ρύπων που εισέρχονται στα ύδατα αυτά. Τα δέντρα αποθηκεύουν το νερό στην επιφάνεια των φύλλων και των κλαδιών, μειώνοντας έτσι τους όγκους απορροής και καθυστερώντας την εμφάνιση των ροών αιχμής. Η ανάπτυξη των ριζών και της αποσύνθεσης αυξάνει την ικανότητα του ποσοστού διείσδυσης της βροχόπτωσης στο έδαφος και της μείωσης της επιφανειακής απορροής. Ο θόλος που δημιουργείται από την κάλυψη των δέντρων μειώνει την απορροή καθώς και η διάβρωση του εδάφους μειώνοντας την επίδραση της βροχής στις άγονες επιφάνειες.



- Αστικά πλεονεκτήματα. Περισσότερος χώρος πρασίνου εντός των ορίων μιας πόλης μπορεί να βελτιώσει το αστικό περιβάλλον. Μεταξύ των χώρων πρασίνου πλεονεκτήματα που απαριθμούνται στο EcoPlanIT Madison: Green Space Goal (UW-Madison Department of Urban and Regional Planning) είναι: να βοηθήσει τη ρύθμιση της ποιότητας του αέρα και του κλίματος, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του πλανήτη από τις ασφαλτοστρωμένες επιφάνειες, επανατροφοδότηση των υπογείων υδάτων και την προστασία των λιμνών και των ρεύματων από μολυσμένες απορροές.
- Προστασία της ποιότητας των υδάτων. Η σωστή αρχιτεκτονική τοπίου μειώνει την έκπλυση νιτρικών από το έδαφος στο υδάτινο απόθεμα και μειώνει την επιφανειακή απορροή του νερού, κρατώντας το φωσφόρο και άλλους ρύπους έξω από τις πλωτές οδούς και την πρόληψη της υπερφόρτωσης του σηπτικού συστήματος.
- Μείωση της συσσώρευσης θερμότητας. Τα δέντρα σε ένα πάρκινγκ μπορούν να μειώσουν στο χώρο τη συσσώρευση θερμότητας, μειώνουν την απορροή και ενισχύει τη δροσιά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Δοκιμές που έγιναν σε ένα πάρκινγκ εμπορικού κέντρου στο Huntsville, Ala. Έδειξαν διαφορά 31 βαθμούς μεταξύ σκιασμένων και μη σκιασμένων περιοχών.
- Μείωση της διάβρωσης του εδάφους. Ένα πυκνό κάλυμμα των φυτών και σάπια φύλλα κατέχει το έδαφος στη θέση του, κρατώντας τα ιζήματα από λίμνες, ρυάκια, καταγιδα υπονόμους και τους δρόμους και μειώνοντας τις πλημμύρες, κατολισθήσεις και οι θύελλες σκόνης
- Χαμηλότερες θερμοκρασίες στις στέγες των σπιτιών. Τα δέντρα που χρησιμοποιούνται για σκίαση στα σπίτια μπορούν να μειώσουν τη θερμοκρασία όσο 40 βαθμούς. Σύμφωνα με την EPA, τα αστικά δάση μειώνουν τις αστικές θερμοκρασίες του αέρα σημαντικά με τη σκίαση στις εστίες θερμότητας, όπως τα κτίρια και το σκυρόδεμα και την επιστροφή της υγρασίας στον αέρα με ψύξη λόγω εξάτμισης.
- Φυσική διατήρηση των πόρων. Με τη χρήση δένδρων για την τροποποίηση θερμοκρασιών η ποσότητα των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την ψύξη και τη θέρμανση

μειώνεται. Κατάλληλα τοποθετημένα φυλλοβόλα δέντρα μειώνουν τις θερμοκρασίες στο σπίτι το καλοκαίρι, επιτρέποντας στις μονάδες κλιματισμού να αποδίδουν 2 έως 4 τοις εκατό πιο αποτελεσματικά. Τα δέντρα επιτρέπουν επίσης τον ήλιο να ζεστάνει το σπίτι το χειμώνα.

- Τα φυτεμένα δώματα δροσίζουν τα αστικά θερμά σημεία. Με επικεφαλής τις πόλεις όπως το Σικάγο και το Τορόντο, καθώς και μια σειρά από πανεπιστήμια, πληθαίνουν οι αποδείξεις ότι οι πράσινες στέγες (π.χ. στέγες ολικώς ή μερικώς καλυμμένα με βλάστηση) μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση της αστικής θερμικής νησίδας και την προσθήκη περισσότερου χώρου πρασίνου σε ένα δομημένο περιβάλλον.
- Πιο δροσερές ημέρες το καλοκαίρι. Οι χλοοτάπητες θα είναι 30 βαθμούς πιο δροσεροί από την άσφαλτο και 14 βαθμούς πιο δροσερή από ό, τι το γυμνό έδαφος μέσα στη ζέστη του καλοκαιριού.
- Φυσική διατήρηση των πόρων. Οι ιδιοκτήτες σπιτιού μπορεί να κάνουν "grasscycle" αφήνοντας τα αποκόμματα χλόης για το γκαζόν κατά την κοπή. Τα αποκόμματα γρήγορα αποσυντίθενται και απελευθερώνουν πολύτιμες θρεπτικές ουσίες πίσω στο έδαφος για να τροφοδοτήσουν το γρασίδι, μειώνοντας την ανάγκη για άζωτο κατά 25 έως 50 τοις εκατό. Οι σύγχρονες χλοοκοπτικές με την ανακύκλωση του γρασιδιού το κάνει ακόμα πιο εύκολο, και οι ιδιοκτήτες σπιτιού μπορούν να μειώσουν το χρόνο θερισμού τους κατά 30 έως 40 τοις εκατό με το να μην χρειάζεται να κρατούν τα αποκόμματα στη τσάντα της μηχανής.

## 2.4.2 Κοινωνικά και Οικονομικά Οφέλη

Το αστικό και περιαστικό πράσινο συνεισφέρει σημαντικά στην κοινωνική υγεία των κατοίκων μιας πόλης. Η αστική βλάστηση και ειδικά τα αστικά πάρκα όλων των κατηγοριών, συνεισφέρουν τα μέγιστα στην αναψυχή, αισθητική και τη χαλάρωση των κατοίκων. Η βλάστηση στις πόλεις φέρνει τους κατοίκους σε επαφή με τη φύση (αλλαγή εποχών, άνθηση των φυτών, παρουσία πανίδας – π.χ. πουλιά, μικρά θηλαστικά). Κατ' αυτόν τον τρόπο οι πράσινοι χώροι και τα δέντρα προσφέρουν ζεστασιά και ηρεμία στη ζωή των ανθρώπων, σε αντίθεση με την ψυχρότητα του δομημένου χώρου (κτίρια). Επιπλέον, η αστική και περιαστική βλάστηση εξυπηρετεί

εκπαιδευτικούς σκοπούς, παρέχοντας σημαντικές ευκαιρίες για γνώση της φύσης, τις οικολογικές και περιβαλλοντικές διαδικασίες και κατανόηση - παρακολούθηση της βιοποικιλότητας.

Η οικονομική ανάλυση των οικολογικών και κοινωνικών λειτουργιών που μας παρέχει το αστικό και περιαστικό πράσινο, θεωρείται πολύ σημαντική στον αστικό σχεδιασμό. Αν και τα ποιοτικά οφέλη που παρέχει η αστική και περιαστική βλάστηση είναι από καιρό αναγνωρισμένα και επιβεβαιωμένα, όμως οι πληροφορίες για την ποσοτικοποίηση (οικονομική ανάλυση) των οφελών είναι περιορισμένες. Παρόλα αυτά, υπάρχουν οικονομικοί δείκτες που βεβαιώνουν ότι το πράσινο και η βελτίωση του αστικού τοπίου επιδρούν θετικά στις τιμές των ακινήτων. Η χρήση της βλάστησης για μείωση του κόστους ενέργειας για ψύξη των κτιρίων έχει διεθνώς αναγνωρισθεί σαν ένα οικονομικά αποδεκτό κίνητρο για αύξηση του πράσινου και της φύτευσης δέντρων στις πόλεις. Έχει αποδειχθεί, ότι ακόμη και οι μικροί πράσινοι χώροι μπορούν να μειώσουν τις υψηλές θερμοκρασίες στο αστικό περιβάλλον με ποικίλους τρόπους, όπως περιγράφονται παρακάτω:

- Παράγουν μικρά ρεύματα αέρα. Αυτές οι μετακινήσεις του αέρα, λόγω του ανέμου ή λόγω του θερμικού κύματος (προς τα πάνω), δημιουργούν ανακύκλωση και ανανέωση του αέρα.
- Παρόλο, που ένας αστικός πράσινος χώρος (π.χ. πάρκο) εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας, η εξάτμιση από την ποώδη βλάστηση και τα δέντρα μειώνει τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους και συνεπώς μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα στο πάρκο, σε σύγκριση με το γύρω δομημένο χώρο. Όταν επικρατούν άνεμοι (έστω και μικρής έντασης), ένα πάρκο ψυχραίνεται και μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση της ζέστης (υψηλές θερμοκρασίες) στην πόλη. Για παράδειγμα, ένα αστικό πάρκο έκτασης 1,0 km<sup>2</sup> μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη διαφορά (μείωση) της θερμοκρασίας (σε σύγκριση με τις γειτονικές αστικές περιοχές) και η οποία μπορεί να είναι ανιχνεύσιμη μέχρι και 4 km απόσταση από το πάρκο.
- Το αστικό πράσινο (και ειδικά η δενδρώδης βλάστηση) μειώνει την επίδραση της αστικής θερμονησίδας με την παροχή σκιάς. Ακόμη και μεμονωμένα δέντρα (με κατάλληλη κόμη) που φυτεύτηκαν για να παρέχουν σκίαση στα κτίρια, μπορούν να μειώσουν το κόστος ψύξης των κτιρίων σημαντικά. Έρευνα έχει δείξει, ότι μπορούν να εξοικονομηθούν μέχρι και 227 kWh από ένα δέντρο, μέσω της ψύξης λόγω της εξατμισοδια-πνοής και μέχρι 60 kWh, μέσω της άμεσης σκίασης ενός κτιρίου. Η εξοικονόμηση ενέργειας (που προέρχεται από την σκίαση των δέντρων) για ψύξη των κτιρίων μπορεί να φθάσει και μέχρι 40% της συνολικής δαπάνης. Επομένως, το θέμα της κλάδευσης των δέντρων μέσα στις πόλεις θα πρέπει να αναθεωρηθεί ή να περιορισθεί στο

ελάχιστο και αναγκαίο (θέμα ασφάλειας πολιτών) με τη χρήση κατάλληλων δασικών δέντρων (μέγεθος, μορφή κόμης, αύξηση, αντοχή στη σήψη, κ.λπ.).

## 2.5 Μέτρα Προσαρμογής στην Κλιματική αλλαγή για Αστικές Περιοχές

Η αύξηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας που συνδέονται με τις εξαιρετικά θερμές καιρικές συνθήκες και η κακή ποιότητα του αέρα βρίσκονται σε πόλεις σε όλο τον κόσμο. Αυτό είναι ένα σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας για τις πόλεις σήμερα και αναζητούν προς το μέλλον, γιατί οι αλληλεπιδράσεις της αλλαγής κλίματος του πλανήτη, οι αστικές θερμικές νησίδες, και η ρύπανση του αέρα προβλέπεται ότι θα αυξήσουν της επιβάρυνσης της υγείας στις πόλεις. Οι προτεινόμενες στρατηγικές μετριασμού και τα σχέδια διαχείρισης προσαρμογής του κλιματικού κίνδυνου στις πόλεις μπορούν να παράγουν από κοινού οφέλη για την υγεία από τη μείωση των εκπομπών και την μείωση των θερμοκρασιών μέσω αλλαγών στο δομημένο περιβάλλον. Ωστόσο υπάρχουν προκλήσεις, να την εφαρμογή των σχεδίων και η πιο ευρέως διαδεδομένη ευεργετική πολιτική μέχρι σήμερα σε συστήματα ποιότητας συναργему είναι η υιοθέτηση της προειδοποίησης για ψηλές θερμοκρασίες και ανέμους σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Η τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), προέβλεψε ότι οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία θα περιλαμβάνει σημαντικές αυξήσεις σε θανάτους, ασθένειες και δυσκολίες λόγω των αλλαγών στη θερμοκρασία, την βροχόπτωση, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και σε αλλαγές στην οικολογία τα οποία επεκτείνουν το υπάρχον εύρος των μολυσματικών ασθενειών και στη δημιουργία ελλείψεων σε τρόφιμα και νερό. Μελλοντικές εκβάσεις στην υγεία θα διαφέρουν μεταξύ των περιφερειών και των εθνών, εξαρτάται από τις συγκεκριμένες εκφάνσεις της κλιματικής αλλαγής, την ευπάθεια συγκεκριμένων πληθυσμών των τοπικών κοινωνιών και των περιβαλλοντικών παραγόντων, καθώς και την πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη. Δεδομένου ότι η αξιολόγηση της IPCC δημοσιεύτηκε, οι ερευνητές έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην εφαρμογή των ποσοτικών μεθόδων για τον εντοπισμό των τύπων και τα ποσοστά θνησιμότητας και νοσηρότητας σχετικά με τις καιρικές συνθήκες και στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων για την υγεία κάτω από διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Πρόοδος έχει επίσης σημειωθεί με τις προσπάθειες για την άμβλυνση της κλιματικής αλλαγής μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και τις πολιτικές που αποσκοπούν στην αύξηση της προσαρμοστικής ικανότητας των φυσικών και κοινωνικών συστημάτων για την παγκόσμια αλλαγή. Πολλοί τρόποι μετριασμού και προσαρμογής είναι κατάλληλα για τις τοπικές πρωτοβουλίες γιατί τα αποτελέσματα της υγείας είναι ειδικά για τις συνθήκες των χώρων και των κατάλληλων δράσεων και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές οικολογίες, την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη, τις διαθέσιμες τεχνολογίες, τις πολιτικές ικανότητες, τον πλούτο και την ηλικία του πληθυσμού, και την κοινή γνώμη. Οι τοπικές δράσεις μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των ανθρώπινων ευπαθειών από τη διαχείριση των κινδύνων για την υγεία, την ανακούφιση των τρέχοντων προβλημάτων υγείας και την πρόληψη μελλοντικών καταστροφών.

Εξήντα τοις εκατό του παγκόσμιου πληθυσμού θα κατοικεί σε αστικά κέντρα έως το 2030 και η συντριπτική πλειοψηφία της αστικοποίησης αναμένεται να συμβεί σε χώρες με χαμηλό εισόδημα και μεσαίου εισοδήματος. Οι πόλεις αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας από την αλλαγή του κλίματος, που είναι παρόμοια σε ορισμένες απόψεις με την ενδοχώρα τους, αλλά κατά τα άλλα είναι μοναδικά λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του πληθυσμού και την ποικιλομορφία, την πολυπλοκότητα του δομημένου περιβάλλοντος, και την εξάρτηση από τεχνολογικά συστήματα για την επιβίωση. Οι κάτοικοι των αστικών κέντρων είναι πιο απομονωμένοι από το φυσικό περιβάλλον, το οποίο οδηγεί σε έλλειψη κατανόησης σχετικά με τις επιπτώσεις στον άνθρωπο για τα περιβαλλοντικά συστήματα και τις αρνητικές ανατροφοδοτήσεις από το υποβαθμισμένο περιβάλλον για την ανθρώπινη υγεία.

### **2.5.1 Αλλαγή του κλίματος στις πόλεις**

Το ανθρωπογενές και τα φυσικά συστήματα στις πόλεις είναι στενά συνδεδεμένα με τη συνεργιστική και τη δυναμική σχέση η οποία είναι ενσωματωμένη μέσα σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον που αλλάζει ραγδαία. Στα αστικά κοινωνικό-οικολογικά συστήματα, οι ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλούν άνοδο των θερμοκρασιών και άλλες κλιματικές αλλαγές, η οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Οι αστικές περιοχές, ιδιαίτερα σε έθνη με υψηλά έσοδα, αποτελούν σημαντικές πηγές των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τη βιομηχανία, τις μεταφορά, και την εγχώρια κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, οι θερμοκρασίες αυξήθηκαν σημαντικά πιο γρήγορα στις πόλεις σε σύγκριση με τις κοντινές αγροτικές περιοχές λόγω του φαινομένου αστικής θερμικής νησίδας (UHI). Η μετάβαση του φυσικού τοπίου σε

πυκνά αστικά κέντρα θερμότητας με αδιαπέραστες επιφάνειες και οικοδομικά υλικά που αναστέλλουν την νυκτερινή ψύξη είναι ο πιο σημαντικός ανθρωπογενής παράγοντας που προκαλεί την αστική κλιματική αλλαγή στις πόλεις σε όλο τον κόσμο.

Οι θερμοκρασίες στις πόλεις είναι περαιτέρω αυξημένες από ακραία συμβάντα θερμότητας (EHES) ή κύματα θερμότητας, τα οποία προβλέπεται να χτυπήσουν με την αύξηση της συχνότητας και της έντασης στον 21ο αιώνα. Επιπλέον, η μετεωρολογία επηρεάζει την ποιότητα του αέρα, έτσι ώστε οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση που επιδεινώνει τις επιβλαβείς επιπτώσεις της θερμότητας στην υγεία του ανθρώπου. Σε συνδυασμό με το παγκόσμιο και περιφερειακό μοντέλο προσομοίωσης δείχνουν ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη θα οδηγήσει πιθανότατα σε επιδείνωση της ποιότητας του αέρα των πόλεων, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης των επιπέδων της επιφάνειας του όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων (PM) και ο καπνός από τις πυρκαγιές. Οι μεγαλύτερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα του αέρα θα βιώσουν οι πόλεις στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη κατά τη διάρκεια επεισοδίων υψηλής ρύπανσης.

### **2.5.2 Επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση στη θερμότητα και τη ρύπανση του αέρα στις πόλεις**

Οι δημόσιες κρίσεις υγείας στις πόλεις που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή προϋπήρχαν της σύγχρονης εποχής. Αν και η αστική υγεία βελτιώνεται συνολικά, αυτό συμβαίνει άνισα μεταξύ των εθνών των πλούσιων και των φτωχών κατοίκων της. Τα κρούσματα μολυσματικών ασθενειών, η φυματίωση και ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος παραμένουν σοβαρές ανησυχίες σε πόλεις ακόμη και ασθένειες «τρόπου ζωής», όπως ο διαβήτης, η υπέρταση, η στεφανιαία νόσος, ο αλκοολισμός, και εξάρτηση από τα ναρκωτικά αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς. Η νοσηρότητα και η θνησιμότητα, λόγω του εξαιρετικά ζεστού καιρού είναι ένα αναδυόμενο αστικό πρόβλημα δημόσιας υγείας.

### **2.5.3 Ακραίες συνθήκες θερμότητας**

Μελέτες δείχνουν μια ισχυρή σχέση μεταξύ των υψηλών θερμοκρασιών και της αυξημένης θνησιμότητας σε πόλεις ανάλογα με τα κατώτατα όρια τα οποία ποικίλουν ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τις κανονικές μέσες θερμοκρασίες. Το φάσμα των κατώτατων ορίων θερμοκρασίας δείχνει τη μεταβλητότητα στον ανθρώπινη εγκλιματισμό και τη διαθεσιμότητα των προσαρμογών, όπως ο κλιματισμός. Επιπλέον, οι πόλεις που κατοικούνται σχεδόν σε κάθε ήπειρο έχουν βιώσει το EHES στον 21ο αιώνα, που συλλογικά έχει οδηγήσει σε δεκάδες, ίσως

εκατοντάδες, χιλιάδες επιπλέον θανάτους άμεσα λόγω της θερμότητας και τις συνέπειές της, είτε έμμεσα λόγω της νόσου. Στη Βόρεια Αμερική, οι ακραίες θερμοκρασίες είναι η πιο κοινή αιτία θανάτου σε σχέση με τις υπόλοιπες καταστροφικές καιρικές συνθήκες. Επιπλέον απαιτείται περαιτέρω έρευνα για το πώς οι εκτιμήσεις της θνησιμότητας ποικίλλουν ανάλογα με τις ακραίες θερμοκρασίες και αν τα συστήματα προειδοποίησης λειτουργούν στην πρόληψη θανάτων.

#### **2.5.4 Η ατμοσφαιρική ρύπανση**

Οι επιπτώσεις της ποιότητας του αέρα στις εκβάσεις της αστικής υγείας είναι πιο περίπλοκη από ό,τι οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας, λόγω της μεταβλητής κατανομής και της συμπεριφοράς ενός μεγάλου αριθμού των ρύπων που επηρεάζουν διάφορες κατηγορίες ασθενειών, όπως αναπνευστικές και καρδιαγγειακές ασθένειες και αλλεργίες. Αυστηρότερες προδιαγραφές ποιότητας του αέρα έχει βελτιωθεί σε σχέση με την υγεία σε πολλές χώρες υψηλού εισοδήματος. Για παράδειγμα, μεταξύ του 1970 και του 2000, οι μειώσεις του προστίμου PM αντιπροσώπευαν όσο το 15 τοις εκατό της συνολικής αύξησης του προσδόκιμου ζωής σε 51 περιοχές των ΗΠΑ. Σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, όμως, η ποιότητα του αέρα εξακολουθεί να επιδεινώνεται και επιβάλλει ολοένα και μεγαλύτερη επιβάρυνση στην υγεία λόγω της αύξησης του πληθυσμού που χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας για την κάλυψη οικιακών και βιομηχανικών αναγκών.

Προς το παρόν, δεν υπάρχει επιστημονική ομοφωνία ότι η υπερβολική ζέστη και η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί ξεχωριστά σημαντικά προβλήματα αστικής υγείας και η αρνητική επίδραση του καθενός αναμένεται να ενταθεί με την κλιματική αλλαγή. Ωστόσο δεν υπάρχει συναίνεση, σχετικά με το εάν η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί τροποποιητική επιρροή που αλληλεπιδρά με τη θερμοκρασία στο ότι παράγει ένα ακόμη μεγαλύτερο αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία του ανθρώπου. Σε ορισμένες μελέτες, η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένας σημαντικό τροποποιητής της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα, αλλά σε άλλα, οι επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης είναι αμελητέα ή εμφανίζονται μόνο κατά τη διάρκεια ορισμένων εκδηλώσεων θερμότητας. Άλλοι βρίσκουν ανομοιογένεια μεταξύ των πόλεων στο μέγεθος των κοινών αποτελεσμάτων και η σχετική συμβολή της θερμοκρασίας και της ποιότητας του αέρα με τα ποσοστά θνησιμότητας. Απαιτείται περισσότερη έρευνα για να κατανοηθεί ο συνδυασμός σε σχέση μεταξύ των εκπομπών και τις καιρικές συνθήκες σε μια εποχή αύξησης της κλιματικής αλλαγής.

### **2.5.5 Οφέλη στην υγεία μέσω του μετριασμού και της προσαρμογής**

Οι στρατηγικές άμβλυνσης των προσπαθειών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αύξηση της δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, προκειμένου να επιβραδυνθεί ο ρυθμός της κλιματικής αλλαγής, ενώ οι προσαρμογές αποσκοπούν να αυξήσουν την ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται και να μειώνει την ευπάθεια στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι πόλεις μπορούν να συμβάλουν στο μακροπρόθεσμο μετριασμό της αύξησης της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω των πολιτικών που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές, τη βιομηχανία και τα νοικοκυριά, τη βελτίωση του δομημένου περιβάλλοντος ή να αυξήσει τη δέσμευση του άνθρακα μέσω της διατήρησης ή δημιουργίας αστικών δασών. Παραδείγματα προσαρμογών περιλαμβάνουν τη βελτιωμένη πρόγνωση του καιρού, τα συστήματα προειδοποίησης θερμότητας, την ποιότητα του αέρα ειδοποιήσεις, και η ετοιμότητα έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση των ηλικιωμένων και θεσμοθετημένων πληθυσμών κατά τη διάρκεια ακραίων φαινομένων. Τοπικά ενσωματωμένα πλαίσια για κλιματικές πολιτικές που λειτουργούν μέσα σε συγκεκριμένα κοινωνικο-οικολογικά πλαίσια είναι επιτακτική ανάγκη.

Η μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων στις πόλεις έχει σημαντικά παράλληλα οφέλη για την υγεία, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, και το εκτιμώμενο καθαρό κόστος των πολιτικών για το κλίμα θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά αν τα παράλληλα οφέλη από τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα είχε πλήρως αποτιμηθεί. Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες μελέτες που έχουν προσδιοριστεί ποσοτικά για τα οφέλη στην υγεία επικεντρώνονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση και το όζον. Χρησιμοποιώντας μια ποικιλία από την ατμοσφαιρική ρύπανση, επιδημιολογικά μοντέλα και παραδοχές σχετικά με τα σενάρια πολιτικής, οι εκτιμήσεις των οφελών στην υγεία προέρχονται για σενάρια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την οικιακή χρήση ενέργειας και τις μεταφορές.

Ο έλεγχος των εκπομπών στις πόλεις, θα μειώσει επίσης το ποσό της ανθρωπογενές θερμότητας που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, μειώνοντας έτσι στη συμβολή στην υπερθέρμανση του πλανήτη και το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, ενώ έχουν το οφέλος στην πρόληψη ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμότητα και τους θανάτους. Οι πόλεις που προωθούν μια μετάβαση παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα σε ανανεώσιμες πηγές θα καρπωθούν τα οφέλη από ένα καθαρότερο περιβάλλον διαβίωσης και αποκατάστασης των οικοσυστημάτων, η οποία θα ενισχύσει παράλληλα οφέλη σε ένα πιο υγιεινό και πιο ενεργό τρόπο ζωής για τους κατοίκους. Για



παράδειγμα, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα θα μειώσει ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος και η αυξημένη σωματική δραστηριότητα θα μειώσει τις ασθένειες «τρόπου ζωής», όπως η παχυσαρκία, τα καρδιαγγειακά νοσήματα, και η κοινωνική απομόνωση, βελτιώνοντας παράλληλα την ψυχική υγεία.

Πολλές πόλεις έχουν αναπτύξει σχέδια δράσης για τη διαχείριση των κινδύνων που περιλαμβάνουν στρατηγικές μετριασμού και προσαρμογής για τη μείωση των βασικών τρωτών σημείων στην κλιματική αλλαγή. Αν εφαρμοστούν αυτά τα σχέδια, θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και παράλληλα οφέλη για την υγεία που βελτιώνουν την ευημερία των κατοίκων των πόλεων είναι πολύ πιθανό να συμβούν. Σύμφωνα με έρευνες στο διαδίκτυο για τον εντοπισμό πόλεων που έχουν δημοσιευθεί όσον αφορά τη διαχείριση του κινδύνου σχεδίων ή έχουν αναφερθεί στην υιοθέτηση στρατηγικών για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής έγινε μια ανάλυση των κύριων συνιστώσων τους, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και παράλληλα οφέλη για την υγεία. Οι πόλεις αυτές αντιπροσωπεύουν μια άνθηση στα καθιερωμένα αστικά κέντρα υψηλού εισοδήματος και μεσαίου εισοδήματος, με διάφορα συστήματα στο κλίμα, μέγεθος πληθυσμού και δημογραφικά χαρακτηριστικά.

Το κυρίαρχο θέμα των σχεδίων είναι η μείωση των επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας στο φυσικό περιβάλλον, αλλά οι πόλεις χρησιμοποιούν διάφορες τακτικές για να επιτύχουν τους στόχους τους. Το φάσμα των ιδεών που οι πόλεις έχουν εφαρμόσει ή εξετάζουν το ενδεχόμενο για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1. Τα σχέδια παρουσιάζονται στην παρούσα επισκόπηση δεν είναι διεξοδικά. Ωστόσο, παρέχουν ένα δείγμα των στρατηγικών για την αντιμετώπιση των κλιματικών ανησυχιών σε επίπεδο πόλης.

Πίνακας 2.1: Σύνοψη των στρατηγικών διαχείρισης κινδύνων της πόλης για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή με παράλληλα οφέλη για την υγεία (τεχνική οδηγία TEE, 2012)

<b>Σύνοψη των στρατηγικών διαχείρισης κινδύνων της πόλης για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή με παράλληλα οφέλη για την υγεία</b>				
<b>Στρατηγική Διαχείρισης Κινδύνου</b>	<b>Τακτική Προσαρμογής / μετριασμού</b>	<b>Περιβαλλοντικά αποτελέσματα</b>	<b>Παράλληλα οφέλη στην υγεία του ανθρώπου</b>	<b>Παραδείγματα πόλεων</b>
Συμβουλευτική και Πρόληψη	Παρακολούθηση Συστήματος προειδοποίησης Θερμότητα / Υγεία		Μείωση των φαινομένων θερμόπληξιας, που σχετίζονται με θανάτους και ασθένειες	Σαγκάη (Κίνα) χρησιμοποιούν Σύστημα Παρακολούθησης και Προειδοποίησης Θερμότητας / Υγείας για να ελέγχει τις καιρικές συνθήκες

				και να προειδοποιεί τους κατοίκους για τις επερχόμενες περιόδους αυξημένων θερμοκρασιών
Παρακολούθηση Ποιότητα αέρα και Συναγερμός			Μείωση των ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος (Π.χ. άσθμα)	Νέα Υόρκη, Νέα Υόρκη (ΗΠΑ) υιοθετεί σύστημα ποιότητας αέρα και Προειδοποίησης για ενημέρωση των κατοίκων της περιοχής για την κακή ποιότητα του εξωτερικού αέρα και για ημέρες με υψηλές εκπομπές
Οικοδομικά υλικά και Σχεδιασμός	Πράσινες στέγες	Δέσμευση του άνθρακα, διατήρηση νερού, εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και μετριασμό της Αστικής Θερμικής Νησίδας	Μείωση των ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμοπληξία και ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, αύξηση της θερμικής άνεσης	Τορόντο (Καναδάς) χρησιμοποιεί Πράσινες στέγες που βοηθούν να μειωθεί η τοπική εξωτερική θερμοκρασία(από βυθιζόμενο άνθρακα) πέρα από την παροχή ψύξης ικανότητα στο εσωτερικό των κτιρίων
	Αύξηση ανακλαστικότητας	Μείωση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και μετριασμό της Αστικής Θερμικής Νησίδας	Μείωση των ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμοπληξία και ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, αύξηση της θερμικής άνεσης	Πόρτλαντ, Ορεγκον (ΗΠΑ) έχει ως στόχο να μειώσει το ποσοστό απορρόφησης θερμοκρασίας στις αστικές επιφάνειες με την αύξηση της ανακλαστικότητας ή / και εκπομπής των υλικών των κτιρίων
	Κτίρια με πιστοποίηση LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, μείωση της χρήσης ενέργειας και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου	Μείωση των ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμότητα και ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος, θετικές πτυχές της αύξησης φυσικού φωτισμού στο χώρο εργασίας	Κέιπ Τάουν (Νότια Αφρική), χρησιμοποιεί συστήματα αξιολόγησης και κτίρια πιστοποίησης, όπως LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) για να αναγνωρίζουν και επιβραβεύουν τις επιπτώσεις του σχεδιασμού του περιβάλλοντος κτιρίου
	Εσωτερική μόνωση	Αύξηση της	Αυξήσει θερμικής	Σάο Πάολο

		ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, μείωση της χρήσης ενέργειας και αερίων του θερμοκηπίου	άνεσης, μείωση των ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμότητα και αναπνευστικών ασθενειών	(Βραζιλία) βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση της μόνωσης των σπιτιών για να μένουν δροσερά το καλοκαίρι και ζεστά το χειμώνα
Χρήσης Αλλαγής γης	Αστικό δάσος	Δέσμευση του άνθρακα, μετριασμός της Θερμικής Νησίδας, διατήρηση ομβρίων, βελτίωση της ποιότητας του αέρα	Αύξηση της σκιάς και θερμική άνεση, μείωση της θερμότητας που σχετίζονται με ασθένειες, παρέχουν πράσινους χώρους πρασίνου αναψυχής, αύξηση αλλεργιών	Η πολιτική για τα Αστικά δάση υλοποιήθηκε στο Σικάγο του Ιλλινόις (ΗΠΑ) ως ένα μακροπρόθεσμο σχέδιο με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα μετριάζοντας το στρες θερμότητας από την αύξηση της βλάστησης και των αστικών θόλων
	Διαπερατές επιφάνειες	Κατακράτηση νερού, ανταλλαγή υγρασίας, ψύξη επιφάνειας	Εξωτερική ψύξη και θερμική άνεση, μείωση της θερμότητας που σχετίζονται με ασθένειες, αύξηση πράσινων χώρων	Keene, New Hampshire (ΗΠΑ) αντικαθιστώντας την άσφαλο και το σκυρόδεμα με διαπερατές επιφάνειες που επιτρέπουν τη μετάδοση της υγρασίας, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα ψύξης των αστικών επιφανειών
	Κοινόχρηστοι κήποι	Δέσμευση του άνθρακα, διατήρηση του νερού, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα	Βελτίωση της διατροφής, αύξηση της άσκησης, μείωση ασθενειών «τρόπου ζωής», αύξηση συμμετοχή κοινότητας	Βοστώνη, Μασαχουσέτη (ΗΠΑ) χρησιμοποιεί τους αστικούς κήπους που βοηθούν στη σύλληψη άνθρακα, την αύξηση της ψύξης, ενώ παράγει ντόπια φρούτα και λαχανικά
Συστήματα Μεταφορών	Δημόσιες συγκοινωνίες	Μείωση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μείωση της εξόρυξης των ορυκτών καυσίμων, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα	Αύξηση της άσκησης, μείωση της θερμοκρασίας σχετικής με ασθένειες και αναπνευστικών προβλημάτων, αύξηση των δεσμών της κοινότητας	Κοπεγχάγη (Δανία) μειώνει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα παρέχοντας τα μέσα μαζικής μεταφοράς
	Διέλευση προς τους πεζούς, όπως διαδρομές ποδηλάτου και δρόμους βιάδισης	Μείωση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου,	Αύξηση της άσκησης, μείωση της θερμοκρασίας σχετικής με	Ρότερνταμ (Ολλανδία) παρείχε εκτενή φιλικούς τρόπους

		μείωση της εξόρυξης ορυκτών καυσίμων	ασθένειες και αναπνευστικών προβλημάτων, αύξηση των δεσμών της κοινότητας	διαμετακόμισης προς τους πεζούς
Καινοτομία και πειραματισμός	Μετάβαση στις Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, φυσική συγκομιδή για την αιεφόρο ενέργεια πηγών, μείωση της εξόρυξης των ορυκτών καυσίμων, βελτίωση της ποιότητας αέρα	Μείωση των ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμότητα και των αναπνευστικών ασθενειών	Λονδίνο (Αγγλία) πειραματίζεται με τα βιοκαύσιμα, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά και θερμικές ηλιακές συστοιχίες και ταυτόχρονα την προώθηση παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, Οικονομική ανάπτυξη ευκαιριών, της υγείας των οικοσυστημάτων, και μειωμένη εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα
	Αυτοκίνητα που κινούνται με τον άνεμο	Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, φυσική συγκομιδή για την αιεφόρο ενέργεια πηγών, μείωση της εξόρυξης των ορυκτών καυσίμων, βελτίωση της ποιότητας αέρα	Μείωση των ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος	Κοπεγχάγη (Δανία) συγκομιδή του ανέμου ως πρωταρχική πηγή ενέργειας για ηλεκτρικά και υδρογονοκίνητα αυτοκίνητα.
	Κοινοτικό Πρόγραμμα δέσμευσης	Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την προστασία και την αποκατάσταση των παράκτιων οικοτόπων, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα	Ανάπτυξε το κλίμα της εκπαίδευσης για τους κατοίκους της πόλης, την προώθηση του πράσινου τρόπου ζωής	Βοστώνη, Μασαχουσέτη (ΗΠΑ) έχει αναπτύξει μια στρατηγική δέσμευσης πέντε σημείων, την εκπαίδευση, και συλλογική ευθύνη να προετοιμαστούν για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

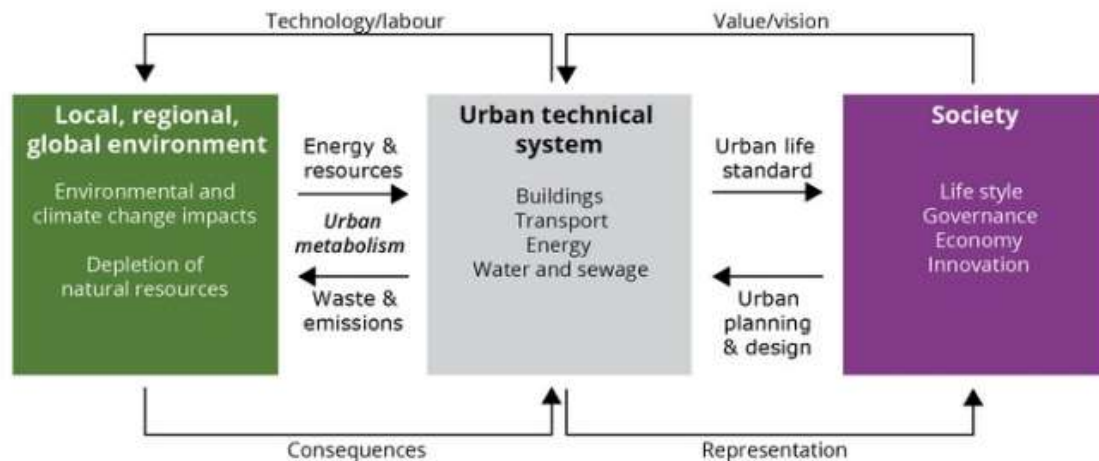
Σημείωση: Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει μια μη διεξοδική περίληψη της τακτικής διαχείρισης κινδύνων και κοινά οφέλη από 18 παγκόσμιες πόλεις. Για κάθε τακτική διαχείρισης κινδύνων, μία πόλη έχει επισημανθεί ως παράδειγμα και οι πόλεις που απασχολούν μια παρόμοια τεχνική είναι επίσης εισηγμένες. Τα σχέδια της πόλης που εξετάζονται είναι: 1 Βοστώνη, Μασαχουσέτη (ΗΠΑ), 2 Κέιπ Τάουν (Νότια Αφρική), 3 Σικάγο, Ιλινόις (ΗΠΑ), 4 Κοπεγχάγη (Δανία), 5 Χο Τσι Μινχ (Βιετνάμ), 6 Keene, New Hampshire (ΗΠΑ)? 7 Σιάτλ, Ουάσιγκτον (ΗΠΑ), 8 Λονδίνο (Αγγλία), 9 Μελβούρνη (Αυστραλία), 10 Πόλη του Μεξικού (Μεξικό), 11 Πόλη της Νέας Υόρκης, Νέα Υόρκη (ΗΠΑ), 12 Philadelphia, Pennsylvania (USA), 13 Φοίνιξ, Αριζόνα (ΗΠΑ), 14 Πόρτλαντ, Όρεγκον (ΗΠΑ), 15 Ρότερνταμ (Ολλανδία), 16 Σάντα Κρουζ, Καλιφόρνια (ΗΠΑ), 17 Σάο Πάολο (Βραζιλία), 18 Τορόντο (Καναδάς).

Τρία βασικά χαρακτηριστικά των σχεδίων είναι:

1. Όλα τα σχέδια δράσης χρησιμοποιούν στόχους και σημεία αναφοράς για τη μείωση της ευπάθειας στην αλλαγή του κλίματος. Οι πόλεις αποτελούν θέσπιση προτύπων για τα συστήματα παροχής συμβουλών / προειδοποίησης καιρού, αυστηρότερους ελέγχους για την ποιότητα του αέρα (τον έλεγχο της σκόνης και των εκπομπών άνθρακα), και τους οικοδομικούς κανονισμούς. Έχουν επικεντρωθεί στους στόχους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εναλλακτικών συστημάτων μεταφοράς (μέσα μαζικής μεταφοράς και των πεζών / φιλικά προς τα ποδήλατα), και νέες πρακτικές χρήσεων γης που προάγουν προσβάσιμα πάρκα, ανοιχτούς χώρους και αστικών δασών.
2. Τα σχέδια δράσης καλούν για ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο των άνω προς τα κάτω και από κάτω προς τα πάνω (εγγύτητας) προσεγγίσεις για να επιτύχουν τους στόχους τους. Τονίζουν επίσης από κοινού ευθύνη μεταξύ των τοπικών κυβερνήσεων, το δημόσιο συμφέρον ομάδων, κοινοτικές ομάδες και μεμονωμένους κατοίκους.
3. Πρόσθετες μελέτες απαιτούνται για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των νέων πρωτοβουλιών, αλλά θα μπορούσε να υπάρχει μια σειρά από κοινά οφέλη άμεσα και έμμεσα για την υγεία και θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επιδίωξη των στρατηγικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και τον μετριασμό. Μείωση θανάτων και ασθενειών από αιτίες που σχετίζονται με τη θερμότητα και την ατμοσφαιρική ρύπανση θα πρέπει να αναμένεται, καθώς και έμμεσα οφέλη από την προώθηση της ενεργού τρόπου ζωής.

## 2.6 Διεθνής και Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο

Σήμερα, το 72% του συνολικού πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) ζουν σε πόλεις, κομποπόλεις και στα προάστια. Η περιβαλλοντική διάσταση της αστικής ζωής είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία και την ευημερία των κατοίκων τους, καθώς και την ποιότητα των γύρω περιοχών. Βάση δεδομένων του «Αστικού Ελέγχου» και του «Urban Atlas» παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα μεγάλα αστικά κέντρα.



Εικόνα 2.2: Το αστικό σύστημα (European briefings, European environment agency 2015)

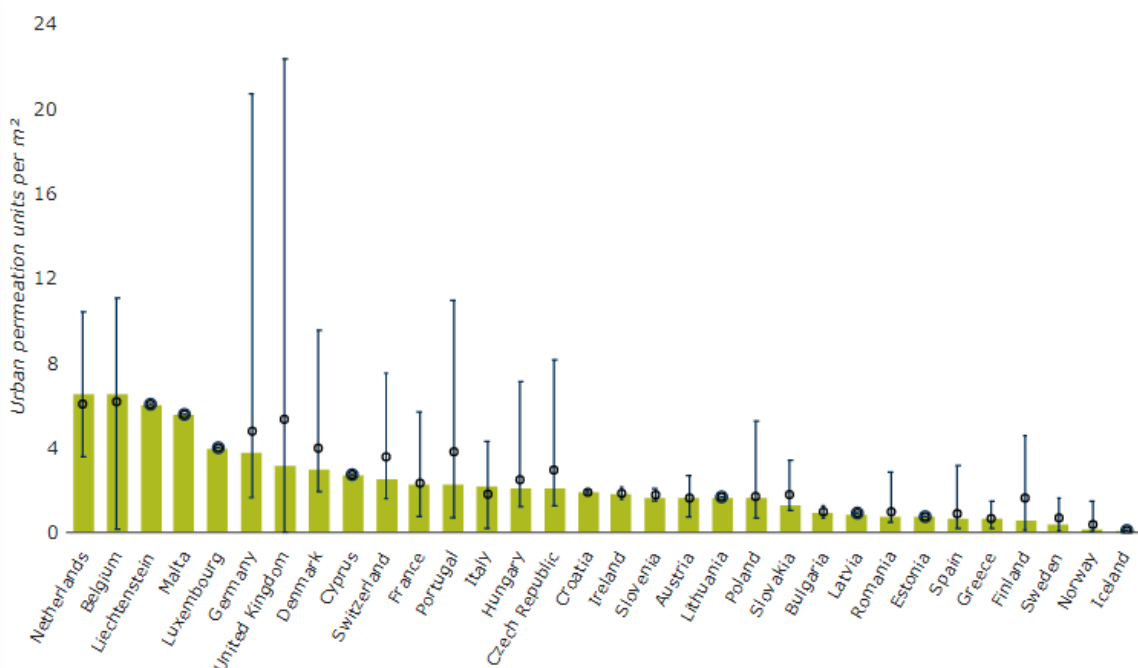
Οι διάφορες θεωρητικές προσεγγίσεις έχουν δημιουργηθεί για να περιγράψουν το πώς πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην αστική διαβίωση (Εικόνα 2.2).

- Ο «αστικός μεταβολισμός» αναφέρεται στις ροές που είναι αναγκαίες για την ικανοποίηση των αναγκών των ατόμων που ζουν στις πόλεις.
- Οι «γκρίζες υποδομές», όπως οι δρόμοι, το μετρό, σιδηρόδρομοι, τα κτίρια και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, καθορίζουν το σχεδιάγραμμα της πόλης. Όμως, χωρίς ολοκληρωμένο αστικό σχεδιασμό, αυτή η αστική «Μηχανική» παράγει τη σφράγιση του εδάφους, θραύσματα φυσικών συστημάτων, αυξάνει την κινητικότητα και την συνακόλουθη ρύπανση, την ενέργεια και την κατανάλωση υλικών.
- Οι «Πράσινες υποδομές» είναι ένας τρόπος για συνεργασία με τη φύση για την παροχή κοινωνικών, οικολογικών και οικονομικών οφελών προς τον αστικό πληθυσμό, όπως το φιλτράρισμα του αέρα, ρύθμιση της θερμοκρασίας, τη μείωση του θορύβου, προστασία από τις πλημμύρες και χώρους αναψυχής.

Η υψηλή συγκέντρωση των ανθρώπων και των οικονομικών δραστηριοτήτων στις πόλεις προκαλούν περιβαλλοντικές πιέσεις. Ωστόσο, στις πόλεις μπορεί να γίνει ένας προγραμματισμός, σχεδιασμός και διαχείριση που διέπει σε ένα πιο αποτελεσματικό τρόπο. Η ΕΕ είχε σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη των πόλεων κατά τις τελευταίες δεκαετίες μέσω της πολιτικής συνοχής της και τις τομεακές πολιτικές (π.χ. νερό, απόβλητα, θόρυβος, αέρα).

Η θεματική στρατηγική για το αστικό περιβάλλον και το πρόσφατο 7<sup>η</sup> Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον (7ο ΠΔΠ) για την προώθηση της ολοκληρωμένης αστικής πολιτικής. Αυτό θα μπορούσε να ισχύει και για τις αρχές της αστικής ανάπτυξης στην ΕΕ, όπως εκφράζεται στην «Εδαφική της Ατζέντα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2020 ».

Μια διακυβερνητική διαδικασία, σε συνδυασμό με την πρακτική εμπειρία που αποκτήθηκε μέσω του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ), έχει οδηγήσει σε σαφείς αρχές των αστικών αναπτύξεων, αυτό είναι γνωστό ως *cquis Urbain*.



Εικόνα 2.3: Η εξάπλωση των πόλεων ανά χώρα και εντός των χωρών (2009), (European briefings, European environment agency 2015)

Οι πόλεις εξαρτώνται από τις γειτονικές τους περιοχές για τις υπηρεσίες εφοδιασμού και διάθεσης. Οι πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές αντιμετωπίζονται ως ένας τρόπος για τη μείωση της χωρικής ανάπτυξης τους και τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

- Η εξάπλωση των πόλεων σε σχέση με την αστική πυκνότητα: Μεταξύ 2000 και 2006, περίπου 1000 χλμ γης καλύπτονται κάθε χρόνο από τεχνητές επιφάνειες. Η επαναχρησιμοποίηση γης (π.χ. αποκατάσταση βιομηχανικών εγκαταστάσεων ή μολυσμένα εδάφη), η οποία προηγουμένως είχε αναπτυχθεί, αλλά δεν είναι επί του παρόντος σε ενεργή χρήση και είναι ένας τρόπος για να μειωθεί η περαιτέρω κατάληψη γης. Περίπου το 2,5%

της αύξησης των τεχνητών επιφανειών δημιουργήθηκαν μεταξύ του 1990 και 2000 και προέκυψαν μέσα από την ανακύκλωση της υπάρχουσας γης. Συνήθως, οι ευρωπαϊκές πόλεις είναι πυκνοκατοικημένες, αλλά γίνονται όλο και λιγότερο στα όρια τους. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) είναι υψηλότερα στις πόλεις από τις μετακινήσεις όχι μόνο λόγω της εξάρτησης από το αυτοκίνητο, αλλά και λόγω των χαρακτηριστικών των κτιρίων.

- Αυτό συμβαίνει επειδή η υψηλής ενέργειας κατοικίες, όπως οι ανεξάρτητες και οι ημι-ανεξάρτητες κατοικίες, είναι κυρίαρχες. Παρ' όλα αυτά ορισμένες ευρωπαϊκές αστικές περιοχές συνεχίζουν να επεκτείνονται. Υπάρχουν μεγάλες διαφορές στο επίπεδο της εξάπλωσης τόσο μεταξύ και εντός των ευρωπαϊκών χωρών (Εικόνα 2.3). Όσο πιο πυκνοκατοικημένες είναι κάποιες περιοχές τόσο χαμηλότερη είναι η ένταση της χρήσης τους, άρα τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός της εξάπλωσης των πόλεων.
- Οι προκλήσεις της υγείας και της ευημερίας: Το ένα τρίτο των Ευρωπαίων που ζουν σε πόλεις που εκτίθενται σε επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων υπερβαίνουν τα πρότυπα ποιότητας του αέρα της ΕΕ, ιδίως για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) και το όζον (O), οι οδικές μεταφορές είναι μια σημαντική πηγή. Το ήμισυ του αστικού πληθυσμού της ΕΕ είναι εκτεθειμένο σε επίπεδα θορύβου από την κυκλοφορία πάνω από 55dB. Σε πυκνούς χώρους πρασίνου στο αστικό περιβάλλον, με σωστό σχεδιασμό και διαχείριση, μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και να μειώσει την υπερβολική θερμότητα.
- Αποδοτική χρήση των πόρων στις πόλεις: Το σύνολο των αστικών στερεών αποβλήτων έχει μειωθεί κατά 2% μεταξύ του 2004 και του 2012. Σημαντική πρόοδος έχει γίνει στην ανακύκλωση γυαλιού, χαρτί, χαρτόνι, μέταλλα και πλαστικά. Χάρη στην καλύτερη διαχείριση των αστικών αποβλήτων, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κύκλου ζωής από τα αστικά απόβλητα μειώθηκαν κατά 57 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>-ισοδύναμη κατά την περίοδο 1990-2012.

Η αστικοποίηση οδηγεί σε αύξηση της αφομοίωσης της γης και τη στεγανοποίηση του εδάφους. Αυτή η μόνιμη κάλυψη από αδιαπέραστα τεχνητά υλικά, όπως η ασφαλτος και το σκυρόδεμα, επηρεάζει, μεταξύ άλλων, την παραγωγή τροφίμων, την απορρόφηση του νερού και την διήθηση.



Οι πόλεις χρειάζονται επαρκείς ποσότητες νερού. Ανταγωνίζονται με γεωργία, τη βιομηχανία και τον τουρισμό και η κατάσταση αυτή θα επιδεινώνεται με την κλιματική αλλαγή. Οι μεγαλύτερες πόλεις ήδη μεταφέρουν νερό σε αποστάσεις που κυμαίνονται από 100-200km.

Οι πόλεις εκπέμπουν το 69% των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ευρώπη. Είναι κρίσιμης σημασίας για τις πόλεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ενίσχυση στην ανθεκτικότητα στις πιθανές επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή.

### **2.6.1 Προοπτικές σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση**

Ο ρόλος των πόλεων είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη μετάβαση προς σε πιο χαμηλές εκπομπές ρυπων άνθρακα, την αποδοτική αξιοποίηση των πόρων και των οικοσυστημάτων για μια καλύτερη κοινωνία. Οι πόλεις του αύριο έχουν τη δυνατότητα να είναι πιο υγιείς, πιο πράσινες και πιο έξυπνες μέσω του καλύτερου αστικού σχεδιασμού και τη διακυβέρνηση.

Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και σε χαμηλότερο κόστος: Η κλιματική αλλαγή θα εκθέσει τις πόλεις σε πιο συχνούς και παρατεταμένους καύσωνες, πλημμύρες, λειψυδρία και δασικές πυρκαγιές. Οι πόλεις πρέπει να γίνουν πιο ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή μέσω του τοπικού και περιφερειακού σχεδιασμού και επενδύσεις για τη διατήρηση της λειτουργίας των αστικών υποδομών και υπηρεσιών (όπως κτίρια, δρόμοι, σιδηρόδρομοι, δίκτυα ενέργειας και συστήματα αποχέτευσης) και την ανάπτυξη της πράσινης υποδομής. Η πλατφόρμα για την προσαρμογή του Ευρωπαϊκού Κλίματος, κλιματικές ADAPT, που ξεκίνησαν από τη Γενική Διεύθυνση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Κλιματική Δράση (DG CLIMA), έχει ως στόχο να υποστηρίξει τις χώρες όσον αφορά την προσαρμογή στην αλλαγή του κλίματος.

Ο εκσυγχρονισμός των «γκρίζων» υποδομών: Χωρίς ανακαίνιση και αναδιάρθρωση, στην υποδομή που στηρίζει την καθημερινή ζωή - που σχετίζονται με τα συστήματα μεταφοράς ενέργειας και ύδρευσης, διαχείρισης αποβλήτων, τη στέγαση μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική χρήση των πόρων και της ενέργειας.

Ο έξυπνος αστικός σχεδιασμός επηρεάζει την ζήτηση των μεταφορών. Οι τοπικές αρχές μπορούν να ενθαρρύνουν τη χρήση των βιώσιμων μορφών μεταφορών με την παροχή αποτελεσματικών, αξιόπιστων και προσιτών μαζικών μεταφορών και υποδομές για τους πεζούς και την ποδηλασία.

Ανάπτυξη πολυλειτουργικών πράσινων υποδομών: Οι πόλεις εξαρτώνται από τα οικοσυστήματα στο εσωτερικό όσο και έξω από το τα όρια της πόλης. Σε κατοικημένες πόλεις οι χώροι πρασίνου, από τα δέντρα σε μεγάλα πάρκα, βελτιώνει την υγεία και την ευημερία των κατοίκων.

Οι πράσινη υποδομή θεωρείται ως ένα αποδοτικό και αποτελεσματικό εργαλείο για την καταπολέμηση των επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος, για την οικοδόμηση της ανθεκτικότητας στις καταστροφές και να παραδώσει τα οφέλη που σχετίζονται με την υγεία.

Εξυπνότερες πόλεις: Οι έξυπνες τεχνολογίες και υπηρεσίες, που συχνά βασίζονται στην τεχνολογία της πληροφορίας και της επικοινωνίας, προσφέρουν τεράστιες ευκαιρίες για να κάνουν το αστικό περιβάλλον καθαρότερο και πιο υγιεινό, να ζουν σε οικολογικές καινοτομίες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς, όπως η ανακύκλωση, στον έλεγχο, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, των μεταφορών κλπ.

Η συμμετοχή της κοινωνίας: Η μετάβαση στην αστική βιωσιμότητα απαιτεί αλλαγές στη συμπεριφορά που πρέπει να γίνει αποδεκτή από την κοινωνία. Οι Δήμοι μπορούν να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση των πολιτών, δημιουργώντας την συμμετοχή και την υποστήριξη των πρωτοβουλιών των πολιτών, όπως η κοινή χρήση αυτοκινήτου, η αστική κηπουρική και οι πρωτοβουλίες συνεργασίας κατανάλωσης. Είναι δυνατόν να ενδυναμώσει τους πολίτες και να δημιουργήσουν κοινότητες μέσω των λύσεων.

## 2.7 Αστικό Κλίμα και Μικροκλίμα

### 2.7.1 Παραμέτροι που επηρεάζουν το φαινόμενο της κλιματικής ποιότητας στον αστικό χώρο

Ο στόχος μιας βιοκλιματικής αναβάθμισης εξωτερικού χώρου είναι να βελτιώσει την κλιματική ποιότητα στο χώρο αυτό, εξοικονομώντας παράλληλα ενέργεια στα γειτονικά της περιοχής παρέμβασης κτήρια. Συνεπώς, η αντίστοιχη μελέτη βιοκλιματικής αναβάθμισης ενός αστικού χώρου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα στοιχεία εκείνα του εξωτερικού περιβάλλοντος τα οποία έχουν επίδραση στην κλιματική ποιότητα και να εκτιμά ποσοτικά την μεταβολή που θα επιφέρει η σχεδιαζόμενη επέμβαση σε καθένα από αυτά.

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται την κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο, εστιάζοντας στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη σε μελέτες αστικών βιοκλιματικών αναβαθμίσεων. Η κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο καθορίζεται από την οικολογική κατάσταση του αστικού ιστού, από τις συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης, καθώς και από την ποιότητα του αέρα. Ακολουθώντας, εξετάζεται καθεμία από τις παραπάνω συνιστώσες τις κλιματικής ποιότητας. Στην συνέχεια, αναλύονται οι βασικές περιβαλλοντικές παράμετροι που καθορίζουν την κλιματική ποιότητα, οι οποίες είναι η αστική μορφολογία, το πεδίο

της ακτινοβολίας και το πεδίο του ανέμου. Από τις παραμέτρους αυτές διαμορφώνεται το πεδίο της θερμοκρασίας στον εξωτερικό χώρο και καθορίζεται η θερμική άνεση που αποτελεί τον κύριο παράγοντα στον οποίο θα πρέπει να στοχεύσει η επέμβαση αστικής αναβάθμισης της κλιματικής ποιότητας.

### **2.7.2 Κλιματολογικά – Μετεωρολογικά Δεδομένα**

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

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

#### **2.7.2.1 Αστική Μορφολογία**

Ο όρος “αστική μορφολογία” εκφράζει την τρισδιάστατη μορφή μιας ομάδας κτηρίων και των χώρων που αυτά δημιουργούν. Η αστική μορφολογία, δηλαδή, εκφράζει την τρισδιάστατη γεωμετρία της αστικής επιφάνειας και είναι από τους βασικούς παράγοντες διαμόρφωσης του μικροκλίματος αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη σκίαση της επιφάνειας και τη ροή του ατμοσφαιρικού αέρα ανάμεσα στα κτήρια. Μεταβολή της αστικής μορφολογίας μπορεί να τροποποιήσει τοπικά τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις τιμές βιοκλιματικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, καθώς και το ισοζύγιο ακτινοβολιών. Η αστική μορφολογία λαμβάνεται υπόψη στις βιοκλιματικές μελέτες με χρήση του συντελεστή θέασης του ουρανού (Sky View Factor, SVF). Μέσω του συντελεστή αυτού η αστική μορφολογία μπορεί να ληφθεί υπόψη σε μαθηματικά μοντέλα κατάλληλα για την ποσοτική εκτίμηση χαρακτηριστικών του αστικού μικροκλίματος.

Καθοριστικός επίσης παράγοντας για την αστική επιφάνεια, εκτός από την τρισδιάστατη γεωμετρία της, αποτελεί και ο τύπος κάλυψής της (κάλυψη γης). Ιδανικό εργαλείο για την αποτύπωση της κάλυψης γης αποτελεί η τηλεπισκόπηση και συγκεκριμένα οι δορυφορικές εικόνες ή οι αεροφωτογραφίες πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (γενικά καλύτερης του 1 m). Για να μπορούν να αξιοποιηθούν τέτοιου τύπου εικόνες στα πλαίσια μιας βιοκλιματικής μελέτης, θα πρέπει να ενσωματώνονται με κατάλληλο τρόπο σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ), συνεπώς απαιτείται η χαρτογραφική προβολή τους σε κατάλληλο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

### 2.7.2.2 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 από τη θερμική ακτινοβολία ή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (long-wave radiation), που εκπέμπεται από το έδαφος, τις επιφάνειες (π.χ. κτήρια) και την ατμόσφαιρα. Η ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται στην περιοχή από 0.2 μέχρι 2.5  $\mu\text{m}$ , όπου το ηλιακό φάσμα κυριαρχεί. 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% 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  $\text{Wm}^{-2}$ .

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το ισοζύγιο ακτινοβολίας σε μία αστική περιοχή είναι:

- Ο συντελεστής θέασης του ουρανού, ο οποίος καθορίζει το ποσοστό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και τη χρονική διάρκεια κατά την οποία υπάρχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία στον υπό μελέτη χώρο.
- Ο συντελεστής θέασης των διαφόρων επιφανειών (π.χ. κτήρια, βλάστηση κλπ.), που επηρεάζουν την ακτινοβολία μέσω ανάκλασης, εκπομπής ή σκίασης. Οι συντελεστές αυτοί ορίζονται με τρόπο ανάλογο με αυτόν του συντελεστή θέασης του ουρανού, και είναι σημαντικοί γιατί καθορίζουν τα ποσοστά, ως προς τη συνολική ακτινοβολία, της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τις διάφορες επιφάνειες προς κάθε σημείο της αστικής επιφάνειας.

- Οι οπτικές και θερμικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται (ανακλαστικότητα, θερμοχωρητικότητα, συντελεστής εκπομπής). Η ανακλαστικότητα εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια, το οποίο ανακλάται από αυτή. Η θερμοχωρητικότητα ορίζεται ως το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία ενός σώματος κατά ένα βαθμό, και πρακτικά εκφράζει την ικανότητα ενός υλικού να αποθηκεύει θερμότητα. Τέλος, ο συντελεστής εκπομπής εκφράζει την ικανότητα ενός σώματος να εκπέμπει θερμότητα μέσω ακτινοβολίας. Για τέλεια εκπομπή (μέλαν σώμα), ο συντελεστής εκπομπής ισούται με τη μονάδα, ενώ για πραγματικά σώματα είναι πάντα μικρότερος της μονάδας.

### **2.7.2.3 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. Ο ελεύθερος, ανεμπόδιστος άνεμος πάνω από την επιφάνεια της γης ονομάζεται γεωστροφικός άνεμος. Το γεωστροφικό ύψος ποικίλει από περίπου 275 m σε περίπου 500 m, ανάλογα με την τραχύτητα ( $\alpha$ ) της επιφάνειας της γης.

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

### **2.7.2.4 Θερμοκρασία και υγρασία**

Η θερμοκρασία στον αστικό χώρο διαμορφώνεται τόσο μέσω της μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία όσο και μέσω της μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά. Η θερμοκρασία του αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι επηρεάζει τις εναλλαγές της υγρασίας και τη μεταφορά θερμότητας από

και προς την αστική επιφάνεια. Συνεπώς το πεδίο της θερμοκρασίας και το πεδίο της υγρασίας καθορίζονται από τα πεδία της ακτινοβολίας και του ανέμου.

Τα πεδία της θερμοκρασίας και της υγρασίας λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης. Σε περιπτώσεις με μικρή ταχύτητα ανέμου, για παράδειγμα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει περίπου την ίδια επίδραση στο ισοζύγιο θερμότητας του ανθρώπινου σώματος, όπως και η θερμοκρασία του αέρα. Σε περιπτώσεις δυνατότερων σε ένταση ανέμων, η θερμοκρασία του αέρα είναι πιο σημαντική από τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, επειδή κυριαρχεί στην ανταλλαγή θερμότητας. Η σχετική υγρασία επιδρά επίσης στη θερμική άνεση επηρεάζοντας την υγρασία του δέρματος και την εφίδρωση.

### **2.7.3 Στοιχεία Αστικής Μορφής**

Με την αξιολόγηση των ευδιάκριτων χαρακτηριστικών του αστικού περιβάλλοντος, προκύπτει κατανόηση της αστικής οικολογίας. Οι αστικές οικολογικές κοινότητες έχουν συχνά ευδιάκριτα χαρακτηριστικά από τις αντίστοιχες αγροτικές κοινότητες. Με την πάροδο του χρόνου, έχουν προσαρμοστεί στην παρουσία συγκεντρωμένων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και δομών και έχουν τροποποιήσει τη συμπεριφορά τους. Για παράδειγμα, μερικά είδη που παραδοσιακά κυνηγούσαν ή προμηθεύονταν τροφή κατά τη διάρκεια της ημέρας έχουν αποκτήσει περισσότερες νυκτερινές συνήθειες για να ταιριάζουν στα αστικά περιβάλλοντά τους και να αποφύγουν την επαφή με τον άνθρωπο.

Στις μέρες μας, οι πόλεις σε πολλές χώρες αποφασίζουν να λάβουν θετικά μέτρα για επανακτήσουν το περιβάλλον των φυσικών συστημάτων μέσα στα αστικά όριά τους. Προσπαθούν να γίνουν οικολογικές πόλεις, στις οποίες οι άνθρωποι και οι φυσικοί πληθυσμοί να ζουν σε αρμονική ισορροπία. Νέες έννοιες στον αστικό σχεδιασμό ενσωματώνουν φυσικά στοιχεία και διασυνδέουν καλύτερα τους ανθρώπους με τον περιβάλλοντα χώρο τους. Η άγρια φύση και το πράσινο αποτελούν ανυπολόγιστη αξία για την κοινωνία. Όχι μόνο βοηθούν να μετριάσουν πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με την αστική διαβίωση, αλλά ασκούν επίσης ουσιαστική οικονομική επίδραση.

### 2.7.3.1 Παράμετροι σχεδιασμού αστικής οικολογίας

Το οικολογικό περιβάλλον μιας πόλης διαφέρει, ανάλογα με το μέγεθός της, από το αντίστοιχο υπαίθριο περιβάλλον σχεδόν σε όλες τις παραμέτρους, κλίμα, σύνθεση και κίνηση αέρα, έδαφος υδρολογία και βιοποικιλότητα. Οι παράμετροι δημιουργίας και ευστάθειας ενός αστικού οικοσυστήματος είναι οι ακόλουθοι:

**Το σταθερό περιβάλλον:** Οι μεταβολές/παρεμβάσεις (ανοικοδομήσεις, διαμορφώσεις κλπ) πρέπει να είναι σε μικρή κλίμακα επιπέδου γειτονιάς και όχι μεγάλου τμήματος πόλης.

**Η ύπαρξη κατάλληλων βιότοπων:** Σημαντικές παράμετροι αποτελούν το ποσοστό της βλάστησης σε σχέση με την έκταση της πόλης, η πυκνότητα της βλάστησης, η παρουσία δένδρων και θάμνων, η ύπαρξη φυσικών διαδρόμων που επιτρέπουν την επικοινωνία των πράσινων χώρων και οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ τους.

**Η φυσικότητα του τοπίου:** Η ύπαρξη των κατάλληλων φυτών (κατά κανόνα αυτών που είναι ιθαγενή), συντελεί στη δημιουργία εύρωστων, ανθεκτικών και πλούσιων οικοσυστημάτων. Επιπλέον η ύπαρξη στην πόλη φυσικών σχηματισμών, όπως π.χ. λίμνες ή ακόμα και η παρουσία κάποιων τεχνητών κατασκευών που μπορούν να παίξουν οικολογικό ρόλο (π.χ. φώλιασμα πουλιών σε ψηλά κτήρια) συντελούν στην ποικιλία του αστικού οικοσυστήματος.

**Η αφθονία τροφής και νερού:** Τα απορρίμματα, τα κάθε είδους απόβλητα και παραπροϊόντα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές τροφής για πολλά ζώα, που με τη σειρά τους χρησιμεύουν ως τροφή στα σαρκοφάγα. Το νερό βρίσκεται συνήθως εύκολα διαθέσιμο στις πόλεις και επαρκεί για τα περισσότερα ζωικά είδη. Η ύπαρξη υψηλού υδροφόρου ορίζοντα αποτελεί ένα πρόσθετο ευνοϊκό παράγοντα για πολλά φυτά.

**Η μειωμένη όχληση από τον άνθρωπο:** Η δομή και η λειτουργία της πόλης δημιουργούν διάφορους αρνητικούς παράγοντες, όπως οι αυτοκινητόδρομοι, οι εντατικές κατασκευαστικές εργασίες, η χρήση δηλητηριωδών ουσιών κ.λπ. (πχ. τα αυτοκινητιστικά ατυχήματα. είναι για πολλά είδη ζώων η σημαντικότερη αιτία θανάτου).

## 2.8 Μικροκλίμα

Η χρησιμοποίηση των κατάλληλων υλικών, ιδιαίτερα των ψυχρών υλικών και η χρήση της βλάστησης -δέντρων, θάμνων, φυτών- στη διαμόρφωση των υπαίθριων χώρων καθώς και στις

επιφάνειες των κτηρίων (δώματα και εξωτερικές τοιχοποιίες) συμβάλλει αφενός στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης του άμεσου περιβάλλοντος και αφετέρου στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος, που συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη των κτηρίων και στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων. Η συμβολή αυτή εξειδικεύεται στα κατωτέρω:

- Στην προστασία των κτηρίων από τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα και κατά συνέπεια στον περιορισμό των απωλειών θερμότητας.
- Στον απρόσκοπτο ηλιασμό του υπαίθριου χώρου και των κτηρίων το χειμώνα για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση.
- Στη μείωση της θερμοκρασίας του υπαίθριου χώρου το καλοκαίρι, και κατ' επέκταση στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για το δροσισμό των κτηρίων.
- Στο σκιασμό των κτηρίων το καλοκαίρι.

### 2.8.1 Φύτευση

Ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι δύο σημαντικότεροι φυσικοί παράγοντες που αντιμετωπίζονται με τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου, τα φυτά και τον αστικό εξοπλισμό. Η κατάλληλη γεωμετρική τοποθέτηση της βλάστησης και των δομικών στοιχείων στους ανοιχτούς χώρους δημιουργεί συνθήκες σκίασης τη θερινή περίοδο και ηλιασμού τη χειμερινή περίοδο, με παράλληλη διοχέτευση ή χειραγώγηση των ανέμων.

Ειδικότερα, ο σχεδιασμός της φύτευσης με δέντρα ή θάμνους ή χαμηλή βλάστηση στους υπαίθριους χώρους λειτουργεί αποτελεσματικά σε σχέση με τα κτήρια στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ως ανεμοφράκτης για το χειμώνα, προστατεύοντας τα κτήρια,
- ως στοιχείο ελέγχου της ανεμορροής, κατευθύνοντας το δροσερό άνεμο το καλοκαίρι,
- ως στοιχείο σκιασμού από την ηλιακή ακτινοβολία των ανοικτών χώρων και των κτηρίων,
- ως πηγή δροσισμού το καλοκαίρι, παρέχοντας δροσιά μέσω της εξατμισοδιαπνοής,
- ως ρυθμιστής της θερμικής άνεσης, με τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας,
- ως φίλτρο του φυσικού φωτός όλο το χρόνο,
- ως φίλτρο της σκόνης και των μικροσωματιδίων.



Επίσης:

- προστατεύει από τη διάβρωση,
- μειώνει το θόρυβο από τον περιβάλλοντα χώρο,
- βελτιώνει την ποιότητα του αέρα και μειώνει τη μόλυνση της ατμόσφαιρας,
- μειώνει την οπτική όχληση και δημιουργεί ιδιωτικότητα.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή της κατάλληλης φύτευσης. Δηλαδή για την προστασία των υπαίθριων χώρων και των κτηρίων από τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα επιλέγονται δέντρα ή φυτά αιθαλή. Αντίθετα, για τη διευκόλυνση του ηλιασμού των υπαίθριων χώρων το χειμώνα επιλέγονται δέντρα και φυτά φυλλοβόλα.

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

### **2.8.2 Έλεγχος της ανεμορροής**

Ο σχεδιασμός για τον έλεγχο του ανέμου σε όλη τη διάρκεια του έτους είναι πολύπλοκος, εφόσον εφαρμόζονται διαφορετικές στρατηγικές για τη χειραγώγηση των ψυχρών ανέμων ή για τη διευκόλυνση της θερινής αύρας.

Κατάλληλη διάταξη της βλάστησης:

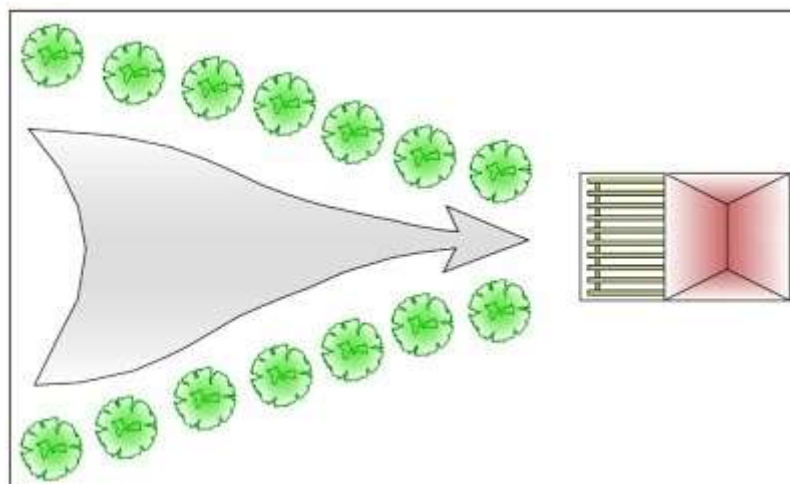
- τροποποιεί την πορεία του ανέμου,
- αλλάζει τη ροή του ανέμου,
- ρυθμίζει την ταχύτητα και την ένταση του ανέμου.

Τα φυτά συνεισφέρουν στη μείωση των θερμικών απωλειών των κτηρίων, γιατί μπορούν να εκτρέψουν τον ψυχρό άνεμο ή να μειώσουν την ταχύτητά του. Συνήθως οι θερμικές απώλειες αερισμού που προκαλούνται από τη διαφυγή από τους αρμούς είναι υπεύθυνες για το 1/3 από τις συνολικές θερμικές απώλειες των κτηρίων. Σε ημέρες με έντονο άνεμο και για κτήρια που βρίσκονται στην ύπαιθρο, οι απώλειες αερισμού μπορεί να φτάσουν και το 50% των συνολικών θερμικών απωλειών (Lechner, 1991). Μικρή μείωση στην ταχύτητα του ανέμου που προσπίπτει στο κτήριο, συμβάλλει σε μεγάλη μείωση των θερμικών απωλειών αερισμού, επειδή οι απώλειες αερισμού είναι ευθέως ανάλογες με το τετράγωνο της ταχύτητας του ανέμου.

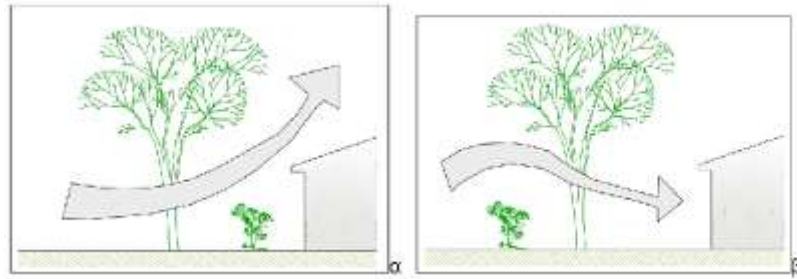
Επίσης, ο ρόλος των φυτών στη μείωση της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι είναι σημαντικός. Βοηθούν στην αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου και πολλές φορές στην αύξηση της ταχύτητάς του, συμβάλλοντας στο φυσικό δροσισμό και στη θερμική άνεση του εσωτερικού χώρου.

Συστάδες δέντρων, δημιουργώντας ένα χωνί, κατευθύνουν τον άνεμο στο κτήριο, ή εάν τοποθετηθούν κάθετα στην όψη βοηθούν ώστε να μη διασκορπιστεί ο αέρας, αλλά ένα τμήμα του να φτάσει ως το κτήριο (Σχήματα 2.4 και 2.5). Συνεπώς είναι απαραίτητη η γνώση της κατεύθυνσης και της έντασης των τοπικών ανέμων στη διάρκεια του έτους. Αυτές οι λύσεις δεν επηρεάζουν τον ηλιασμό της νότιας όψης το χειμώνα.

Δέντρα με υψηλό κορμό και κόμη που προτείνονται για το σκιασμό της νότιας όψης, δεν εμποδίζουν αντίστοιχα τον καλοκαιρινό αερισμό.

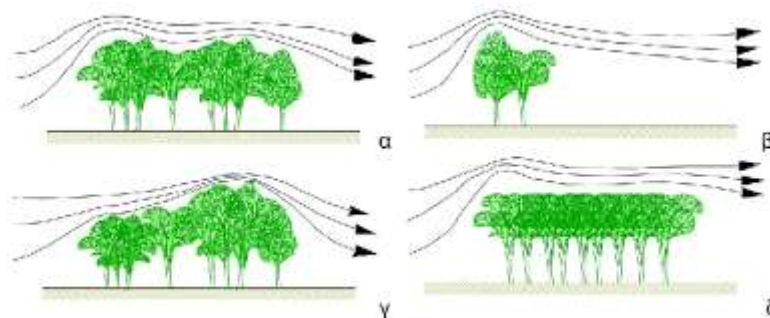


Εικόνα 2.4: Διοχέτευση θερινών ανέμων στο κτίριο με τη βοήθεια σχηματισμού φυλοβόλων δέντρων(τεχνική οδηγία TEE, 2012)



Εικόνα 2.5: (α) ελαχιστοποίηση της επίδρασης του χειμερινού ανέμου (β) βελτιστοποίηση της επιρροής του καλοκαιρινού αερισμού-δροσισμού (τεχνική οδηγία TEE, 2012)

Η αποτελεσματικότητα της φύτευσης εξαρτάται από το σχήμα, την πυκνότητα, τη δομή, το ύψος και άλλα χαρακτηριστικά των φυτών, καθώς και από την απόσταση της φύτευσης από το κτήριο ή από τον προς χρήση υπαίθριο χώρο (Σχήμα 2.6). Ως “βέλτιστη πυκνότητα”, θεωρείται η αναλογία των φύλλων, κλαδιών, κορμού κλπ να είναι 50-60% στο σύνολο της συστάδας των φυτών. Επίσης ο συνδυασμός φυτών ή φυτών και σταθερών στοιχείων διαμόρφωσης των υπαίθριων χώρων επηρεάζει τη μορφή της ανεμορροής. Ένας εμπειρικός κανόνας αναφέρει ότι «τα δέντρα πρέπει να φυτεύονται σε απόσταση από τα κτήρια ίση με το ύψος τους» (Brown et al, 1995).

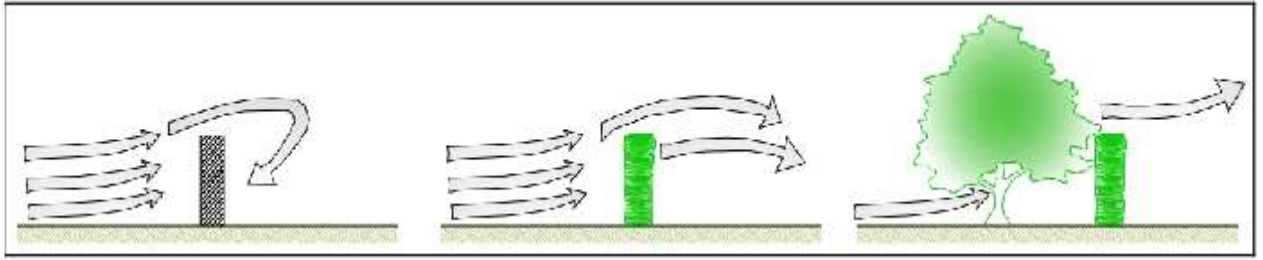


Εικόνα 2.6: Δημιουργία υπήνεμων περιοχών: (α) επιμήκης δασική συστάδα δένδρων δημιουργεί μικρή προστατευόμενη περιοχή (β) μια μικρή συστάδα δένδρων προστατεύει μια μεγαλύτερη περιοχή (γ, δ) μια συστάδα με κεκλιμένη κόμη είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη συστάδα δένδρων με επίπεδη κόμη (τεχνική οδηγία TEE, 2012)

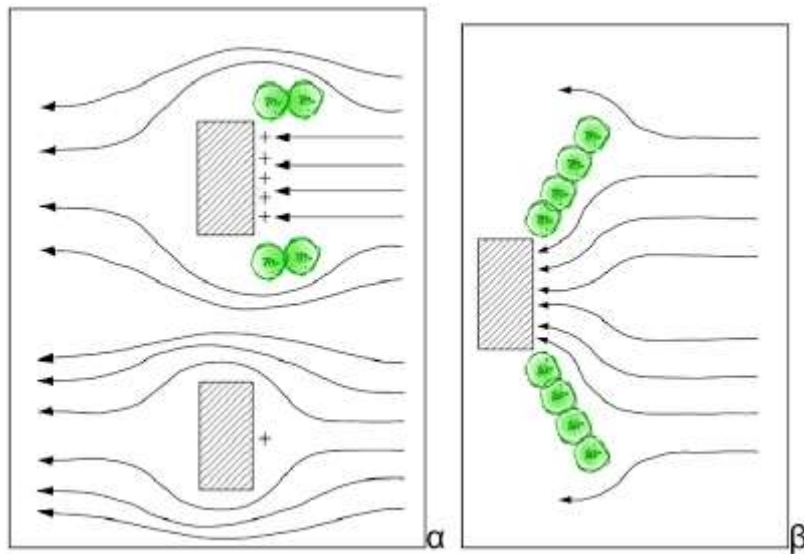
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ερευνών (Brown et al, 1995, Lechner, 1991, Boutet, 1987, Givoni, 1994):

- Η πυκνή βλάστηση, όταν βρίσκεται κοντά στο κτήριο, είναι αποτελεσματική για τη δημιουργία ανεμοφράκτη σε μικρά οικοπέδα, ενώ η ενδιάμεσης πυκνότητας φύτευση ενδείκνυται για μεγαλύτερες αποστάσεις από το κτήριο, όσο 4 φορές το ύψος της φύτευσης, ή και μεγαλύτερη.

- . Οι θάμνοι εμποδίζουν τον αέρα κοντά στο έδαφος, ενώ μεμονωμένα δέντρα με ψηλή κόμη βελτιώνουν τον αερισμό κοντά στο έδαφος, κάτω από το φύλλωμα.
- . Οι φράκτες από πυκνά δέντρα ανακόπτουν τον άνεμο και μειώνουν την ταχύτητα.
- . Όσο υψηλότερη είναι η συστάδα της βλάστησης, τόσο μεγαλύτερη υπήνεμη περιοχή δημιουργείται. Επίσης μια συστάδα δένδρων με κεκλιμένη κόμη είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη συστάδα δένδρων με επίπεδη κόμη (Εικόνα 2.6).
- . Μια επιμήκης δασική συστάδα δένδρων δημιουργεί μικρή προστατευόμενη περιοχή, ενώ μια μικρή συστάδα δένδρων προστατεύει μια μεγαλύτερη περιοχή.
- . Για τη βέλτιστη δημιουργία υπήνεμης περιοχής θα πρέπει το μήκος του ανεμοφράκτη να είναι τουλάχιστον 10 φορές το ύψος του.
- . Η πυκνότητα της φύτευσης προσδιορίζει το μέγεθος της υπήνεμης περιοχής και τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου.
- . Μια ανομοιογενής συστάδα δέντρων (αποτελούμενη από διάφορα είδη) είναι πλέον αποτελεσματική για τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου, από μια ομοιόμορφη συστάδα δέντρων.
- . Οι συμπαγείς φράκτες προκαλούν στροβιλισμούς, ενώ οι διάτρητοι αυξάνουν τη ζώνη ηρεμίας. Οι πορώδεις φράκτες (δέντρα και θάμνοι) δημιουργούν μια ευρύτερη ζώνη ηρεμίας και περιορίζουν τους στροβιλισμούς στο ελάχιστο, επειδή επιτρέπουν τη διέλευση ενός μέρους του αέρα (Σχήμα 2.6).
- . Οι φράκτες με ξυλώδεις θάμνους λειτουργούν με διπλό τρόπο. Ο αέρας που περνά πάνω από το φύλλωμα επιταχύνεται, ενώ η ποσότητα του αέρα που περνά μέσα από το φύλλωμα, φιλτράρεται και επιβραδύνεται. Στο επίπεδο του κορμού, ο αέρας απλώς διαπερνά το φράκτη της φύτευσης. Την ίδια συμπεριφορά με τους ξυλώδεις θάμνους εμφανίζουν και τα δέντρα, μόνον που το ύψος τους διαφέρει. Η χαμηλή φύτευση εμφανίζει τη μικρότερη αντίσταση στον άνεμο και συμβάλλει στον καλό αερισμό.
- . Οι καλύτεροι ανεμοφράκτες από την άποψη του περιορισμού της ταχύτητας του ανέμου είναι στοιχεία των οποίων το πορώδες τμήμα κυμαίνεται από 25-60%.



Εικόνα 2.6: Οι συμπαγείς φράκτες δημιουργούν στροβιλισμούς, ενώ συνδυασμός δέντρων και θάμνων αυξάνει την ηρεμία (τεχνική οδηγία TEE, 2012)



Εικόνα 2.7: Τα δέντρα (α) εκτρέπουν τον αέρα και (β) τον διευθύνουν προς το κτήριο (τεχνική οδηγία TEE, 2012)

### 2.8.3 Προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία

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

Το είδος του φυτού, και ιδιαίτερα το σχήμα της κόμης (π.χ. στρογγυλό, πυραμιδοειδές κοκ) ρυθμίζουν το ποσοστό του σκιασμού. Όταν επιζητείται ηλιασμός το χειμώνα και σκιασμός το καλοκαίρι, τα φυλλοβόλα φυτά είναι τα πλέον κατάλληλα. Για παράδειγμα, ένα μεγάλο φυλλοβόλο δέντρο που σκιάζει το νότιο τοίχο τη θερινή περίοδο συνεισφέρει στο δροσισμό του κτηρίου το καλοκαίρι, χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τον ηλιασμό του το χειμώνα (Σχήμα 5.6). Επίσης τα ψηλά δέντρα με ψηλή πυκνή κόμη (αιθαλή ή φυλλοβόλα), φυτεμένα κοντά στη νότια όψη προστατεύουν

το κτήριο από το θερινό ήλιο, ενώ δεν εμποδίζουν το χαμηλό χειμερινό ήλιο. Συγχρόνως δεν εμποδίζουν τον καλοκαιρινό αερισμό. Αν τα δέντρα είναι χαμηλά (με κόμη στο ύψος των νότιων ανοιγμάτων) θα πρέπει οπωσδήποτε να είναι φυλλοβόλα.

Στην ανατολική και δυτική όψη προτείνονται φυλλοβόλα ή αειθαλή δέντρα μικρού ύψους και μικρής πυκνότητας, φυτεμένα κοντά στο κτήριο. Φιλτράρουν τον ήλιο το χειμώνα και συγχρόνως προσφέρουν ολοκληρωμένη ηλιοπροστασία το καλοκαίρι.

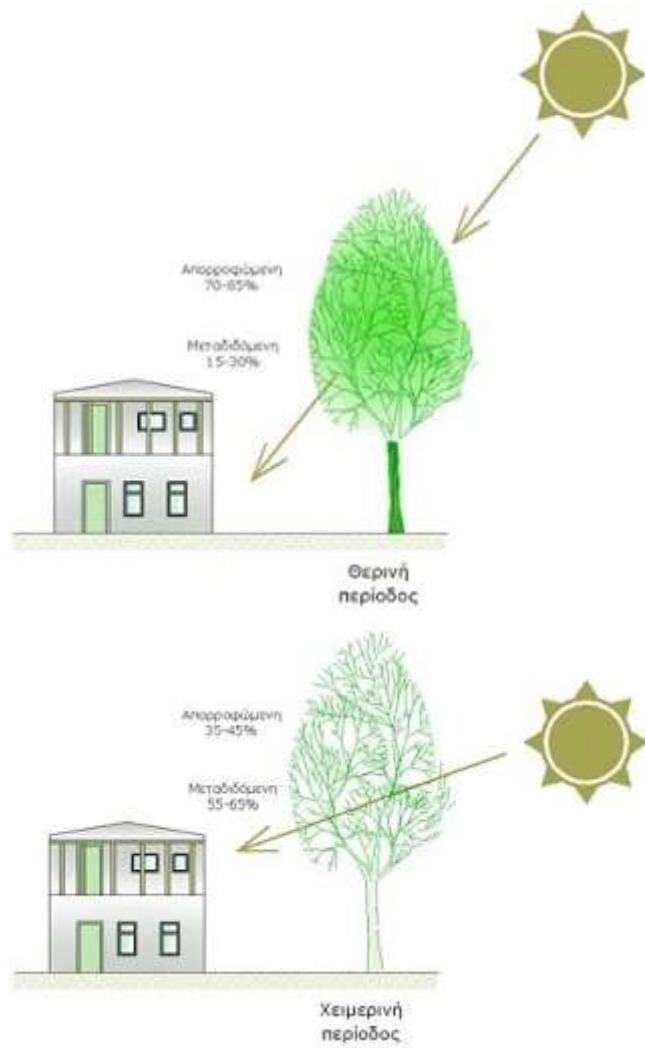
Επίσης η απόσταση της φύτευσης από το κτήριο είναι καθοριστικής σημασίας (Εικόνα 2.7). Για τη βέλτιστη τοποθέτηση των δέντρων πρέπει να προηγείται μελέτη ηλιασμού-σκιασμού.

Στον πίνακα 2.2 δίνονται στοιχεία που αφορούν στο σκιασμό που παρέχουν ορισμένα δέντρα του ελληνικού χώρου.

Ο σκιασμός των συμπαγών τμημάτων του κελύφους των κτηρίων επιτυγχάνεται επίσης με την εφαρμογή φυτεμένων δωμάτων και τη χρησιμοποίηση αναρριχώμενων φυτών ή με υδροπονικούς φυτεμένους τοίχους (κατακόρυφοι κήποι). Επιπλέον, οριζόντιες προεξοχές για τη σκίαση νοτίων ανοιγμάτων μπορεί να καλυφθούν με φυτά, αποτρέποντας έτσι την αποθήκευση θερμότητας στα δομικά υλικά της προεξοχής (Εικόνα 2.8).

Πίνακας 2.2: Ποσοστό σκιασμού δέντρων του ελληνικών χώρου ανάλογα με το σχήμα, και τα χαρακτηριστικά της κόμης (τεχνική οδηγία ΤΕΕ, 2012)

Λατινική ονομασία δέντρου	Σχήμα	Ύψος περιόδου ωρίμανσης (m)	Διάμετρος κόμης (m)	Ανάπτυξη	Χειμερινός - Θερινός Φθινοπωρινή - Εαρινή σκίασμός (%)			
					σκίασμός (%)	σκίασμός (%)	φυλλορροή (%)	φυλλώματος (%)
Acer platanoides	Στρογγυλό	15	12	Μέτρια	37	69	Μέση	Πρόωρη
Quercus palustris	Πυραμιδοειδές	23	12	Μέτρια	53	55	Όψιμη	Όψιμη
Robinia pseudoacacia	Επίμηκες	21	9	Μέτρια/ γρήγορη	60	62	Πρόωρη	Όψιμη
Tilia cordata	Στρογγυλεμένη πυραμίδα	21	12	Μέτρια/ αργή	43	83	Πρόωρη	Όψιμη



Εικόνα 2.8: Σκίαση νότιας όψης κτηρίου από φυλλοβόλο δέντρο τη θερινή περίοδο, χωρίς να παρεμποδίζεται σημαντικά ο ηλιασμός του τη χειμερινή περίοδο (τεχνική οδηγία TEE, 2012)



Εικόνα 2.9: Προτεινόμενα ύψη φύτευσης, αναλόγως με την απόσταση, για νότιο προσανατολισμό (τεχνική οδηγία TEE, 2012)



Εικόνα 2.10: Οριζόντιο σκίαστρο με πέργκολα με φυτά (τεχνική οδηγία TEE, 2012)

#### 2.8.4 Εξατμισοδιαπνοή

Η σχετική υγρασία του αέρα κάτω από το φύλλωμα των δέντρων ή σε επαφή με αυτά αυξάνεται λόγω της εξατμισοδιαπνοής, ενώ συγχρόνως μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα. Σε ζεστά και ξηρά κλίματα η αύξηση της υγρασίας βελτιώνει περαιτέρω την αίσθηση της θερμικής άνεσης το καλοκαίρι.

Γενικά τα φυτά με το παχύ φύλλωμα απορροφούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας και ο αέρας γίνεται πιο δροσερός. Παράλληλα η επικάλυψη με φυτά, αντί της επίστρωσης με σκληρά υλικά, μειώνει σημαντικά την άμεση απορροή των ομβρίων, με αποτέλεσμα τη βελτίωση του μικροκλίματος λόγω βραδείας εξάτμισης του νερού και συγχρόνως συνεισφέρει στον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και στην αποφόρτιση του δικτύου ομβρίων.

Ενδείκνυται επιλογή τοπικών φυτών, προσαρμοσμένων στο μικροκλίμα της περιοχής, για αποφυγή αλόγιστων ποσοτήτων νερού για άρδευση.

#### 2.8.5 Οπτική άνεση

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

Ο έλεγχος της φωτεινής ακτινοβολίας από τα φυτά που βρίσκονται κοντά στα κτήρια ή στον περιβάλλοντα χώρο ή διαμορφώνουν ηλιοπροστατευτικές διατάξεις, επιτρέπει στο μελετητή να



αυξήσει το μέγεθος των ανοιγμάτων των κτηρίων, χωρίς να προκαλούνται προβλήματα στην οπτική άνεση (Σχήμα 5.8).

### **2.8.6 Ηχοπροστασία**

Η ικανότητα των φυτών να ρυθμίζουν τον ήχο (με απορρόφηση, ανάκλαση και διάχυση) καθορίζεται από την ένταση, τη συχνότητα και την κατεύθυνση του ήχου, όπως επίσης κι από τη θέση, το ύψος, το πλάτος και την πυκνότητα των φυτών.

Η βλάστηση αποκόπτει ευκολότερα ήχους υψηλής συχνότητας. Φυτικές μάζες με ποικιλία φυτικών ειδών είναι αποτελεσματικότερες ως στοιχεία ηχοπροστασίας, λόγω της διαφορετικής ικανότητας των διαφόρων ειδών στη μείωση χαμηλών, μέσων και υψηλών συχνοτήτων. Γενικά ενδείκνυται δέντρα που το φύλλωμά τους αρχίζει χαμηλά από τη βάση του κορμού και είναι σχετικά πυκνό.

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

Εκτός από τα δέντρα και τους θάμνους, η παρουσία χλοοτάπητα μειώνει επίσης το θόρυβο, σε σύγκριση με τις επιστρωμένες με σκληρά οικοδομικά υλικά επιφάνειες.

### **2.8.7 Ποιότητα περιβάλλοντος**

Σημαντική είναι η συμβολή των φυτών στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την υδατική οικονομία.

Η βλάστηση καθαρίζει τον αέρα:

- α) Με μηχανικό τρόπο: συγκράτηση σκόνης από το φύλλωμα δέντρων/ θάμνων ή/και από τη χλόη, έως 85% για φυτά με πλήρες φύλλωμα.
- β) Με βακτηριακό τρόπο: επιτυγχάνεται με την έκλυση βακτηριοκτόνων ουσιών από ορισμένα είδη φυτών (κυρίως κωνοφόρων).
- γ) Με χημικό τρόπο: συνδέεται ιδιαίτερα με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών. Υπολογίζεται ότι ένα δώμα 200μ<sup>2</sup> περίπου, φυτεμένο με γρασίδι, μπορεί να καλύψει τις ετήσιες ανάγκες οξυγόνου για 100 περίπου ανθρώπους.

Επίσης, οι φυτεμένες επιφάνειες συμβάλλουν στη συγκράτηση, εξυγίανση και πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών, καθώς και στη ρύθμιση της ροής των ομβρίων, με αποτέλεσμα μια σειρά

πλεονεκτημάτων, όπως τη συγκέντρωση και χρήση των ομβρίων, τη μείωση διοχέτευσης νερού στα δίκτυα αποχέτευσης έως και 50% και την αποφυγή πλημμυρών.

## 2.9 Υλικά επίστρωσης υπαίθριων χώρων

Το είδος των υλικών επίστρωσης των επιφανειών του υπαίθριου χώρου επηρεάζει καθοριστικά τόσο το θερμικό όσο και το οπτικό περιβάλλον. Υλικά με ανοιχτά χρώματα ή/και ανακλαστικές επιφάνειες αποτρέπουν την υπερθέρμανση τη θερινή περίοδο, αλλά παράλληλα μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση και ανάκλαση της θερμότητας προς τους χρήστες του χώρου και τις επιφάνειες των γύρω κτηρίων. Αντιθέτως, υλικά με σκουρόχρωμες επιφάνειες υπερθερμαίνονται, όταν εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία.

Η επικάλυψη των επιφανειών του υπαίθριου χώρου με βλάστηση παρεμποδίζει τις ανακλάσεις, ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής του φυλλώματος. Έρευνες σχετικά με την αναπτυσσόμενη επιφανειακή θερμοκρασία υπαίθριων χώρων σε αστικές περιοχές στην Αθήνα τη θερινή περίοδο αναφέρουν διαφορά στην επιφανειακή θερμοκρασία των επικαλύψεων με γρασίδι και άσφαλτο έως και  $35,7^{\circ}\text{C}$  ενώ για γρασίδι και πλάκες πεζοδρομίου έως και  $27,6^{\circ}\text{C}$  (Alexandri, 2001 και Χατζηδημητρίου et al, 2008) (Εικόνα 2.11). Όταν η επιφάνεια που καλύπτεται με πράσινο είναι σημαντικού μεγέθους, τότε παρατηρούνται διαφορές της θερμοκρασίας του αέρα, έως και  $8^{\circ}\text{C}$  ανάμεσα σε φυτεμένες περιοχές και περιοχές με συμπαγή δομικά υλικά (Givoni, 1994).

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



Εικόνα 2.11: Μετρήσεις επιφανειακών θερμοκρασιών σε φυτεμένη επιφάνεια με γρασίδι και σε άσφαλτο κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι (τεχνική οδηγία TEE, 2012)

Στον πίνακα 2.3 καταγράφονται η ανακλαστικότητα και η εκπεμψιμότητα των πιο συνήθων οικοδομικών υλικών που χρησιμοποιούνται ως επιστρώσεις υπαίθριων χώρων.

Πίνακας 2.3: Ιδιότητες υλικών που χρησιμοποιούνται σε δαπεδοστρώσεις. Οι τιμές με (\*) προέρχονται από επιτόπιες μετρήσεις σε υπαίθριους χώρους στη Θεσσαλονίκη (Χατζηδημητρίου et al, 2008).

Υλικό δαπέδου	Ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία	Συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας
Άσφαλτος	0,05-0,26 (*)	0,95
Σχιστόπλακες	0,08-0,10	0,90
Κυβόλιθοι γρανίτη γκρι	0,27 (*)	
Μάρμαρο λευκό	0,53 (*)	
Πλάκες τσιμέντου γκρι	0,34 (*)	
Γαρμπιλομωσαϊκό γκρι	0,38 (*)	
Γαρμπιλομωσαϊκό (βοτσαλωτό) -με τεχνολογία ψυχρών υλικών	0,87-0,90	0,82-0,84
Προϊόντα τσιμέντου (κυβόλιθοι)-με τεχνολογία ψυχρών υλικών	0,10-0,35	0,90
Προϊόντα ξύλου-σανίδες	0,30-0,40	0,95
Κεραμικά πλακίδια, κόκκινα	0,21(*)	
Γρασίδι και βλάστηση	0,15-0,30	0,67-0,69
Χώμα –άμμος (στεγνό)	0,25-0,30	0,90
Νερό	0,10-0,47	0,96

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

Η χρήση συμπυκνωμένου χώματος, είτε στη φυσική του κατάσταση, είτε με σταθεροποιητές αδρανών (κατά προτίμηση φυσικής προέλευσης) ή κεραμικών δαπέδων τύπου «κουρασάνι», εκτός από αυξημένη ανακλαστικότητα σε σχέση με τις ασφαλτικές επικαλύψεις έχουν επίσης και αυξημένη υδατοπερατότητα, μειώνοντας την αστική θερμοκρασία όπου εφαρμόζονται (πεζόδρομοι, ποδηλατόδρομοι, αθλητικές εγκαταστάσεις, κηπευτικές επιφάνειες κοκ).

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

### 2.9.1 Ψυχρά υλικά

Η χρήση ψυχρών υλικών στον περιβάλλοντα χώρο και στις εξωτερικές επιφάνειες των κτηρίων είναι επίσης πολύ σημαντική για τη μείωση των αυξημένων θερμοκρασιών που παρατηρούνται στο δομημένο περιβάλλον.

Με τον όρο «ψυχρά υλικά» νοούνται υλικά που δεν απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και δεν αποθηκεύουν στη μάζα τους μεγάλα ποσά θερμότητας. Πρόκειται δηλαδή για υλικά με υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (εκπέμπουν με ταχύ ρυθμό τα ποσά της θερμότητας που έχουν απορροφήσει), χωρίς να χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, οπότε και δεν προκαλούν έντονα προβλήματα θάμβωσης. Αναλόγως με το πού τοποθετείται το ψυχρό υλικό, έχουν θεσπισθεί όρια ως προς την ανακλαστικότητα και το συντελεστή εκπομπής του. Σύμφωνα με την υπάρχουσα ΠΕΤΕΠ, προτείνεται η ανακλαστικότητά τους για την εφαρμογή τους σε επίπεδο δρόμου να είναι τουλάχιστον 0,60 για έγχρωμα επιφανειακά υλικά και τουλάχιστον 0,75 για υλικά λευκού χρώματος (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2010).

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

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα ψυχρά επιφανειακά υλικά είναι το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου μειώνεται η ανακλαστικότητά τους (γήρανση του υλικού, επικάθιση σκόνης κοκ). Αναλόγως με τη φύση του υλικού, τη χρήση και τη συντήρησή του, η μείωση αυτή μπορεί να κυμαίνεται από 0% έως 30%.

Σε κάθε περίπτωση εφαρμογής ψυχρών υλικών τόσο σε κατακόρυφες όσο και σε οριζόντιες επιφάνειες πρέπει να δίνεται προσοχή στην οπτική και θερμική όχληση που μπορεί να προκαλέσουν στα γύρω κτήρια και τον περιβάλλοντα χώρο τους. Συνδυασμός ψυχρών υλικών με κατάλληλους όγκους φύτευσης για σκίαση και εξαμισοδιαπνοή λειτουργούν πολύ θετικά στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος τη θερινή περίοδο.

Η ανάπλαση ενός υφιστάμενου ή ο σχεδιασμός ενός νέου υπαίθριου χώρου με βιοκλιματικά κριτήρια συμβάλλει στη διαμόρφωση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης αφενός στον ίδιο τον υπαίθριο χώρο και αφετέρου στη διαμόρφωση μικροκλιματικών συνθηκών που συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στα κτήρια.

Συνοψίζοντας, δεν υπάρχουν μονοσήμαντες λύσεις, καθώς κάθε επιλογή προς μια κατεύθυνση επηρεάζει άλλες παραμέτρους της θερμικής και οπτικής άνεσης. Ουσιαστικά ο σχεδιασμός του υπαίθριου χώρου προκύπτει από το συνδυασμό των επί μέρους επιδιώξεων, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους άνεσης, καθώς και τα ιδιαίτερα μορφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας.

## 2.10 Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Περιβαλλοντικοί παραμέτροι

Για να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός μιας περιοχής με βιοκλιματικά κριτήρια, πρέπει να γίνει μια μελέτη των παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος της υπό μελέτη περιοχής. Οι περιβαλλοντικοί παράμετροι είναι: κλιματικοί όπως η ακτινοβολία, θερμοκρασία αέρα, υγρασία, άνεμος, βροχόπτωση κ.α., τοπογραφικοί όπως η γεωγραφική θέση και φυσιογνωμία περιοχής και γεωλογικοί (Κοσμάκη, 2005).

### 2.10.1 Ηλιακή ακτινοβολία – Ηλιασμός – Ηλιοπροστασία

Ο ηλιασμός και η ηλιοπροστασία αποτελούν τους δύο σημαντικούς στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο περιλαμβάνει όλο το εύρος του μήκους κύματος, από τη μεγαλύτερη θερμική ακτινοβολία ως τη μικρότερη υπεριώδη ακτινοβολία. Ένα ποσοστό της τάξεως του 35% ανακλάται από την ατμοσφαιρική σκόνη και τα σύννεφα, ενώ η υπόλοιπη φθάνει στο έδαφος. Το ποσό της ακτινοβολίας αυτής εξαρτάται από τη σύνθεση της ατμόσφαιρας αλλά και από το μήκος τροχιάς της ηλιακής δέσμης (ανδρεαδάκη, 2006, ευρωπαϊκή επιτροπή, 1994).

Η ακτινοβολία φτάνει στη γη με τη μορφή της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας. Η άμεση ηλιακή δέσμη, εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζει η γωνία πρόσπτωσης της με τον κατακόρυφο άξονα της επιφάνειας, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία προέρχεται από τον ουρανό αφού ανακλαστεί από τα σύννεφα. Σε αυτήν ανήκει η ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος και τα κτίρια αλλά και που απορροφάται από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας. Επακόλουθο αυτού το σύνολο των δύο ακτινοβολιών σε μια δεδομένη επιφάνεια ονομάζεται ολική ακτινοβολία ή συνολικά διαθέσιμη ενέργεια. Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει σε ένα τετραγωνικό μέτρο μιας επιφάνειας σε μια τυχαία στιγμή, μετριέται σε Watts ανά τετραγωνικό μέτρο.

Επιπλέον η ακτινοβολία που φθάνει στη γη διαφέρει από στιγμή σε στιγμή και προσδιορίζεται από τη γεωγραφική περιοχή, το γεωγραφικό πλάτος, τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν αλλά και την ώρα της ημέρας.

Στη περιοχή της Μεσογείου, η ετήσια μέση ημερήσια ακτινοβολία μπορεί να φθάσει τις 6 kWh ανά τετραγωνικό μέτρο και έτσι συγκριτικά με άλλες γεωγραφικές περιοχές μπορούμε να διαπιστώσουμε το πλεονέκτημα των μεσογειακών χωρών στον ηλιασμό αλλά και την ανάγκη για τη καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της ενέργειας αυτής. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι οι κεκλιμένες επιφάνειες δέχονται διαφορετικά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας απ' ότι οι οριζόντιες.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το ισοζύγιο ακτινοβολίας σε μια αστική περιοχή είναι:

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

Όσον αφορά τις πολεοδομικές παραμέτρους, που παίζουν ρόλο στον ηλιασμό-ηλιοπροστασία μιας περιοχής είναι (Γιάννας, 2001, Πολυχρονόπουλος, 1999):

- Ο προσανατολισμός των διαφόρων επιφανειών (κτίρια, δρόμοι, ελεύθεροι χώροι κτλ.)

- Η πυκνότητα και το σύστημα δόμησης της αστικής περιοχής
- Η γεωμετρική μορφή του πολεοδομικού ιστού
- Οι κτιριολογικές και κτιριοδομικές παραμέτροι

Ο προσανατολισμός των επιφανειών (όπως η φυσική κλίση του εδάφους) μιας πόλης επηρεάζει έντονα την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και τη δημιουργία αλληλοσκιασμού. Η πυκνότητα και το σύστημα δόμησης επηρεάζουν καθοριστικά τον ηλιασμό, την ορατότητα του ουράνιου θόλου και κατ' επέκταση την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αλλά και την οπτική άνεση. Έτσι, η πιο αραιή δόμηση που παρατηρείται έξω από την πόλη, με πιο ελεύθερο σύστημα δόμησης, προσφέρει καλύτερες συνθήκες ηλιασμού απ' ό,τι στο κέντρο της πόλης που υπάρχει μεγαλύτερη πυκνότητα και συνεχές σύστημα δόμησης. Παρ' όλα αυτά η πιο αραιή δόμηση αφήνει μεγαλύτερο ποσοστό επιφανειών εκτρηθειμένο στον ήλιο με αποτέλεσμα, να αυξάνεται το θερμικό φορτίο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Επιπλέον, μια άλλη κύρια πολεοδομική παράμετρος συνιστά η γεωμετρική μορφή του ιστού της πόλης, με κύριο εργαλείο το γεωμετρικό λόγο υ/π αλλά και οι κτιριολογικές και κτιριοδομικές παραμέτροι. Τα πιο πάνω αποτελούνται από τα εξής στοιχεία (Γιάννας 2001):

- Τη γεωμετρική μορφή των κτιρίων
- Τους μεταβατικούς και ενδιάμεσους χώρους
- Τους ακάλυπτους χώρους των οικοδομικών τετραγώνων
- Τις ιδιότητες των εξωτερικών επιφανειών

### **2.10.2 Ανεμοπροστασία – Αερισμός - Φυσικός Δροσισμός**

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες, που επηρεάζουν την ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος αλλά και κλίματος σε μία πόλη είναι ο άνεμος. Η δημιουργία του ανέμου έγκειται στη μετακίνηση αέριων μαζών από περιοχές υψηλής πίεσης σε περιοχές με χαμηλότερη πίεση.

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τον άνεμο είναι: η διαύθυνση του, η ένταση, η ταχύτητα και η συχνότητα του. Στο μεσογειακό εύκρατο κλίμα, κατά τη χειμερινή περίοδο οι ψυχροί ανέμοι που πνέουν έχουν, συνήθως, βορειοανατολική ή βορειοδυτική κατεύθυνση. Στη θερινή περίοδο, οι δροσεροί ανέμοι έχουν βορειοανατολική διεύθυνση, ενώ οι θαλάσσιες αύρες έχουν νότια ή βορειοανατολική διεύθυνση (ανδρεαδάκη 2006).

Παρ' όλα αυτά, οι θερμοκρασιακές διαφορές και τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής (υψόμετρο, ανάγλυφο, θέση, προσανατολισμός, υδατικοί πόροι κ.α.) επιδρούν καταλυτικά στα προσδιοριστικά στοιχεία του ανέμου προσδιορίζοντας και μεταβάλλοντας τη μορφή του. Έτσι, τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να εξασφαλίσουν προστασία από τους ανέμους σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, ενώ αλλού μπορούν να εκθέτουν την τοποθεσία σε υπέρμετρο βαθμό στους ψυχρούς χειμερινούς ανέμους.

Εστιάζοντας στην πόλη και το αστικό περιβάλλον, το οποίο εξετάζει η παρούσα διατριβή, πρέπει να αναφερθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου ελαττώνεται, συγκριτικά με την ανοικτή ύπαιθρο, λόγω της παρουσίας κυρίως του κτιριακού όγκου, το οποίο αποτελεί αμώδιο στον άνεμο. Ως συνέπεια αυτού είναι να εντείνεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας και να συσσωρεύονται οι ρύποι, αφού δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί άνετα φυσικός αερισμός (γιαννάς 2001).

Η αεροπερατότητα μιας πόλης συνδέεται άρρηκτα με τις πολεοδομικές παραμέτρους του αστικού ιστού. Τα διάφορα αστικά μικροκλίματα που δημιουργούνται είναι ιδιαίτερα περίπλοκα λόγω των πολλών παραγόντων που επιδρούν στην κίνηση και τη ροή του ανέμου. Οι πολεοδομικές παράμετροι, που επηρεάζουν την κίνηση του ανέμου στον αστικό ιστό μιας περιοχής, είναι (όπως και στον ηλιασμό-ηλιοπροστασία):

- Ο προσανατολισμός των διαφόρων επιφανειών (κτίρια, δρόμοι, ελεύθεροι χώροι κτλ.)
- Η πυκνότητα και το σύστημα δόμησης της αστικής περιοχής
- Η γεωμετρική μορφή του πολεοδομικού ιστού
- Οι κτιριολογικές και κτιριοδομικές παράμετροι

Έτσι, βάσει των προσανατολισμών του οδικού δικτύου, τη διάταξη του κτιριακού όγκου αλλά και όλων των παραπάνω στοιχείων μπορεί να καθοριστεί η αεροπερατότητα της πόλης. Και στην περίπτωση του αερισμού, εξέχοντα ρόλο κατέχει η γεωμετρική μορφή του αστικού ιστού. Εξετάζοντας, έτσι, τις γεωμετρικές σχέσεις που υφίστανται, μπορούμε να προβούμε στον προσδιορισμό της ροής του ανέμου και συνεπώς να συμπεράνουμε πόσο καλά πραγματοποιείται ο φυσικός αερισμός ενός δρόμου, αλλά μιας ολόκληρης πόλης έμμεσα, του αστικού ιστού. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί βάσει της γωνίας πρόπτωσης του ανέμου στον δρόμο και με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου όπως είναι: το μέσο ύψος των κτιρίων (H), το πλάτος του δρόμου (W) και το μήκος του δρόμου (L).



### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1 Σκοπός Μελέτης

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει τη συμβολή του περιβαλλοντικού σχεδιασμού στο αστικό μικροκλίμα και συγκεκριμένα τους χώρους πρασίνου σε μία πόλη, για το σκοπό αυτό έχει επιλεγεί ο χώρος πρασίνου περιμετρικά του δημαρχείου στην πόλη της Πάφου. Βρίσκεται στην κεντρική εμπορική περιοχή της πόλης το οποίο χαρακτηρίζεται ως ειδικού χαρακτήρα και αυτό οφείλεται στην ποικιλία των στοιχείων που περιλαμβάνει, όπως οι παραδοσιακοί εμπορικοί δρόμοι, οι παλιές γειτονιές και πλατείες, τα αξιόλογα παραδοσιακά κτήρια, οι πιο σύγχρονες βιομηχανίες εμπορίου, γραφείων και οι χώροι πρασίνου.

Στη μελέτη αυτή στόχος είναι να ερευνηθούν οι επιπτώσεις των αστικών χώρων πρασίνου όσον αφορά το μικροκλίμα και την εφαρμογή βιώσιμων μεθόδων ενός χώρου πρασίνου στον περιβάλλοντα χώρο.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που θα χρησιμοποιηθεί θα στηρίζεται αρχικά στην ανάλυση του τοπίου, θα γίνει συλλογή πληροφοριών και καταγραφή συνθηκών και παραγόντων όπως επίσης και βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στόχος είναι να ερευνηθούν οι επιπτώσεις των αστικών χώρων πρασίνου όσον αφορά το μικροκλίμα και τον περιβάλλοντα χώρο και η εφαρμογή βιώσιμων μεθόδων σε αυτούς τους χώρους. Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση του συγκεκριμένου θέματος είναι δύο: Η μία είναι να γίνει μέτρηση των καιρικών (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή και υπέρυθη ακτινοβολία) και περιβαλλοντικών παραγόντων που καθορίζουν την κλιματική ποιότητα και η δεύτερη θα είναι η προσομοίωση στις κλιματολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής που έχει επιλεγεί για την μελέτη, χρησιμοποιώντας το αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης μικροκλίματος το ENVI-met.

Χρησιμοποιώντας το τρισδιάστατο αυτό αριθμητικό μοντέλο το οποίο έχει την ιδιότητα να προβάλλει από μικρής έως μεγάλης κλίμακας κλιματικές επιπτώσεις, μπορεί να αξιολογήσει μελλοντικές επιπτώσεις σε πάρκα όσον αφορά την υπαίθρια άνεση, τη βέλτιστη χρήση από τους πολίτες και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών βλαβών. Ως μη υδροστατικό μοντέλο προσομοιώνει τις αλληλεπιδράσεις στην επιφάνεια των φυτών και του αέρα στο εσωτερικό του

αστικού περιβάλλοντος σε ένα τρισδιάστατο ορθογώνιο πλέγμα με μεταβλητή απόσταση x-, y- και Z-, το μοντέλο λειτουργεί σε ένα εύρος χωρικών κλιμάκων (Bruse 2004).

## 3.2 Εργαλεία Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Παραμέτρων

### 3.2.1 Λογισμικό ENVI-met

Το λογισμικό ENVI-met είναι ένα ολιστικό τρισδιάστατο μη υδροστατικό μοντέλο για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης των επιφανειών-φυτών-αέρα δεν περιορίζεται βέβαια μόνο σε αυτά, αλλά πολύ συχνά χρησιμοποιείται για την προσομοίωση αστικού περιβάλλοντος και για να αξιολογήσει τις επιπτώσεις της αρχιτεκτονικής πρασίνου. Είναι σχεδιασμένο για μικροκλίμακα με μία τυπική οριζόντια ανάλυση από 0,5 έως 10 m και ένα τυπικό χρονικό πλαίσιο από 24 έως 48 ώρες με ένα χρονικό βήμα από 1 έως 5 δευτερόλεπτα. Αυτό επιτρέπει την ανάλυση των αλληλεπιδράσεων μικρής κλίμακας μεταξύ μεμονωμένων κτιρίων, επιφανειών και φυτών. (Bruse, M., 2004)

Οι υπολογισμοί του μοντέλου περιλαμβάνουν:

- Βραχέα κύματα και ακτινοβολία μεγάλου μήκους ροές κύματος σε σχέση με την σκίαση, την αντανακλαση και την εκ νέου ακτινοβολία από την κατασκευή των συστημάτων και της βλάστησης.
- Διαπνοή, εξάτμιση και λογική ροή θερμότητας από τη βλάστηση στον αέρα, συμπεριλαμβανομένης της πλήρους προσομοίωσης όλων των φυσικών παραμέτρων των φυτών (π.χ. ρυθμός φωτοσύνθεσης).
- Δυναμική θερμοκρασία της επιφάνειας και τον υπολογισμό της θερμοκρασίας τοιχώματος για κάθε πρόσοψη και τα στοιχεία της οροφής που υποστηρίζει μέχρι 3 στρώσεις των υλικών και 7 μονάδες υπολογισμού στον τοίχο / οροφή.
- Νερό και ανταλλαγή θερμότητας μέσα στο σύστημα του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της πρόσληψης νερού από τα φυτά.
- 3D αναπαράσταση της βλάστησης συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής μοντελοποίησης του υδατικού ισοζυγίου των μεμονωμένων ειδών.
- Διασπορά των αερίων και σωματιδίων. Το μοντέλο υποστηρίζει σωματίδια (συμπεριλαμβανομένων της καθίζησης και της εναπόθεσης σε φύλλα και επιφάνειες), αδρανή αέρια και τα αντιδραστικά αέρια του κύκλου αντίδρασης NO-NO<sub>2</sub>-όζοντος.

- Υπολογισμός των βιομετεωρολογικών δεικτών Mean Radiant θερμοκρασίας, PMV / PPD, PET ή UTCI. (Bruse, M., 2004)

### 3. 3 Περιγραφή ενοτήτων Μοντέλου

#### 3.3.1 Το Ατμοσφαιρικό Μοντέλο

Αυτή η ενότητα περιγράφει τις κύριες προγνωστικές μεταβλητές στο ατμοσφαιρικό μοντέλο. Αυτές οι μεταβλητές είναι η κύρια ροή του ανέμου, η θερμοκρασία, η υγρασία και οι αναταράξεις:

- Μέση ροή ανέμου

Η τρισδιάστατη τυρβώδης ροή αέρα στο μοντέλο δίνεται από τις μη υδροστατικές ασυμπίεστες εξισώσεις Navier-Stokes (1-a) - (1-c):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u_i \frac{\partial u}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x} + K_m \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2} \right) + f(v - v_g) - S_u \quad (1 a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u_i \frac{\partial v}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial y} + K_m \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x_i^2} \right) - f(u - u_g) - S_v \quad (1 b)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u_i \frac{\partial w}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial z} + K_m \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x_i^2} \right) + g \frac{\theta(z)}{\theta_{ref}(z)} - S_w \quad (1 c)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

όπου  $f$  ( $= 104 \text{ sec}^{-1}$ ) είναι η παράμετρος Coriolis,  $p$  είναι η τοπική πίεση αναταραχής και  $\theta$  το δυναμικό θερμοκρασίας στο επίπεδο  $z$ . Η θερμοκρασία αναφοράς  $\theta_{ref}$  αντιπροσωπεύει τις μετεωρολογικές συνθήκες μεγαλύτερης κλίμακας και υπολογίζεται ως ο μέσος όρος της θερμοκρασίας πάνω από όλες τις κυψελίδες σε ύψος  $z$ , με εξαίρεση εκείνα που καταλαμβάνονται από κτίρια. Η πυκνότητα  $\rho$  του αέρα αφαιρέθηκε από τις αρχικές συμπιεστές εξισώσεις Navier-Stokes, χρησιμοποιώντας τη Boussinesq-προσέγγιση, η οποία οδηγεί σε ένα επιπλέον όρο πηγής στην  $w$ -εξίσωση να περιλαμβάνει θερμική αναγκαστική κατακόρυφη κίνηση και ένα συνεχές (φίλτρο) η εξίσωση (2), η οποία πρέπει να πληρούνται για κάθε χρονικό βήμα, προκειμένου να διατηρηθεί η μάζα εξοικονόμησης πεδίου ροής. (Σημειώστε ότι όλα τα τρισδιάστατα μεταγωγικά και οι όροι διάδοσης είναι γραμμένα σε Αϊνστάιν άθροισμα ( $u_i = u, v, w$ ;  $x_i = x, y, z$  για  $i = 1,2,3$  για εξοικονόμηση χώρου). (Bruse, M., 2004)

Οι τοπικές πηγές / όροι βύθισης  $S_u$ ,  $S_v$  και  $S_w$  περιγράφουν την απώλεια της ταχύτητας του ανέμου λόγω σύρτε τις δυνάμεις που συμβαίνουν σε στοιχεία της βλάστησης. Ακολουθώντας Liu (1996) και Yamada (1982) αυτή η επίδραση μπορεί να παραμετροποιηθεί ως

$$S_{u(i)} = \frac{\overline{\partial p'}}{\partial x_i} = c_{d,f} LAD(z) \cdot W \cdot u_i \quad (3)$$

όπου  $W = (u^2 + v^2 + w^2)^{0.5}$  είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$ ,  $LAD(z)$  είναι η πυκνότητα φυλλική επιφάνεια σε  $[M^2M^{-3}]$  του φυτού σε αυτό το ύψος. Το μηχανικό συντελεστή οπισθέλκουσας στο εργοστάσιο στοιχεία  $c_d, f$  είναι ορίζεται σε 0,2.

Οριακές συνθήκες: Μια αντιολισθητική κατάσταση που χρησιμοποιείται για όλες τις στερεές επιφάνειες. Το προφίλ εισροής λαμβάνεται από το μονοδιάστατο μοντέλο αναφοράς και μια προϋπόθεση μηδενικής κλίση Neumann που χρησιμοποιείται στην εκροή και στα πλευρικά όρια. Στο άνω σύνορο όλες οι κατακόρυφες κινήσεις υποτίθεται ότι είναι μηδέν. Οι ειδικές οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται για την αναταραχή της πίεσης σε όλα τα όρια εκροής διατηρούν το μοντέλο μαζικής εξοικονόμησης. (Bruse, M., 2004)

- Θερμοκρασία και Υγρασία

Η κατανομή της θερμοκρασία του αέρα  $\theta$  και η ειδική υγρασία  $q$  δίνεται από τη συνδυασμένη εξίσωση μεταφοράς - διάχυσης με εσωτερική τροφοδότηση / δεξαμενές:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} = K_h \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x_i^2} \right) + \frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial R_{n,lw}}{\partial z} + Q_h \quad (4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u_i \frac{\partial q}{\partial x_i} = K_q \left( \frac{\partial^2 q}{\partial x_i^2} \right) + Q_q \quad (5)$$

Παρόμοια με τις εξισώσεις δυναμικής,  $Q_h$  και  $Q_q$  χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τη θερμότητα και την ανταλλαγή ατμού στα εργοστάσια με το ατμοσφαιρικό μοντέλο. Η ποσότητα των  $Q_h$  και  $Q_q$  παρέχεται από το μοντέλο βλάστησης που περιγράφεται αργότερα.  $\partial R_n, LW / \partial z$  είναι η κάθετη απόκλιση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, λαμβάνοντας υπόψη την ψύξη και θέρμανση επίδραση της ακτινοβολίας ροών.

Οριακές συνθήκες: Η θερμοκρασία της επιφάνειας των επιφανειών του εδάφους, των οροφών και

των τοίχων χρησιμοποιούνται ως πραγματικά φυσικά όρια. Για το προφίλ εισροής, Dirichlet, Neuman ή κυκλικές οριακές συνθήκες μπορούν να επιλεγούν. Στην εκροή και στα πλευρικά όρια χρησιμοποιείται μια κατάσταση μηδενικής κλίσης. Οι τιμές για την κορυφή του τρισδιάστατου μοντέλου λαμβάνονται από το οριακό στρώμα μονοδιάστατου μοντέλου, το οποίο εκτείνεται μέχρι και 2500 μ. (Bruse, M., 2004)

- Ατμοσφαιρικές αναταράξεις

Οι αναταράξεις παράγονται όταν η ροή του αέρα διασπάται στους τοίχους του κτιρίου ή στοιχεία βλάστησης. Κάτω από συνθήκες ανέμου, το μέγεθος της παραγωγής τοπικών αναταράξεων ξεπερνά συνήθως την απαγωγή του, έτσι ώστε οι στροβιλώδεις δίνες μεταφέρονται από τη μέση ροή του αέρα. Ανάλογα με τη δομή της ροής, αυτή οδηγεί σε αυξημένη αναταραχή μακριά από την αρχική πηγή της διαταραχής. Για την προσομοίωση αυτό το αποτέλεσμα, το λεγόμενο μοντέλο κλείσιμο αναταράξεων 1.5 χρησιμοποιείται στο ENVI-met. Βασισμένο στο έργο των Mellor και Yamada (1975) δύο επιπλέον προγνωστικές μεταβλητές, ο τοπικός στροβιλισμός (E) και ο ρυθμός διάχυσης του (ε) προστίθενται στο μοντέλο. Η κατανομή τους δίνεται από τη προγνωστική εξίσωση του συνόλου:

Οι όροι Pr και Th περιγράφουν την παραγωγή και διάχυση της τυρβώδους ενέργειας λόγω της διάτμησης του ανέμου και της θερμικής διαστρωμάτωσης, Qe και Qe είναι οι τοπικοί όροι πηγές για την παραγωγή των αναταράξεων και της απαγωγής στη βλάστηση. Η μηχανική παραγωγή Pr παραμετροποιείται χρησιμοποιώντας την τρισδιάστατη παραμόρφωση του τοπικού πεδίου ανέμου:

$$Pr = K_m \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad \text{with } i,j=1,2,3 \quad (8)$$

Η παραγωγή της άνωσης Th δίνεται από τη σχέση:

$$Th = \frac{g}{\theta_{ref}(z)} K_h \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (9)$$

Για τη βαθμονόμηση της ε-εξίσωσης, κατ'αποκοπή τιμών  $c1 = 1.44$   $c2 = 1.92$  και  $C3 = 1.44$  δίνεται από τους Launder και Spalding (1974) έχουν χρησιμοποιηθεί. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η εφαρμογή του μοντέλου κλεισίματος 1,5 για ένα ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα έχει ορισμένες

αβεβαιότητες. Ανάλογα με τη συγκεκριμένη κατάσταση, διαφορετικές τιμές βαθμονόμησης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και η παραγωγή τυρβώδους ενέργειας πρέπει κανονικά να περιορίζεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Ακολουθώντας τον Liu et al. (1996) και Wilson (1988), δύο επιπλέον όροι πηγές έχουν προστεθεί στο σύστημα e-ε για να εξεταστούν οι πρόσθετες αναταράξεις που παράγονται στη βλάστηση, καθώς και την καταστροφή αναταράξεων λόγω της αλληλουχίας από μεγαλύτερες δίνες διάτμησης που προκαλούνται σε μικρότερες και ασθενέστερες δίνες:

$$Q_E = c_{d,f}LAD(z) \cdot W^3 - 4c_{d,f}LAD(z) \cdot |W| \cdot E \quad (10)$$

$$Q_\varepsilon = 1.5c_{d,f}LAD(z) \cdot W^3 - 6c_{d,f}LAD(z) \cdot |W| \cdot \varepsilon \quad (11)$$

όπου  $W$  είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου, όπως στο (3). Η έννοια για την εξίσωση απαγωγής (11) που βασίζεται στη σχέση Kolmogorov (Launder και Spalding, 1974) και θα πρέπει να προσαρμόζεται με στοιχεία μετρήσεων, εάν διατίθεται. Από την υπολογιζόμενη E-ε πεδίου οι στροβιλώδης συντελεστές ανταλλαγής υπολογίζονται υποθέτοντας ισότροπη τοπική αναταράχνη, χρησιμοποιώντας τις πιο κάτω σχέσεις:

$$K_m = c_\mu \frac{E^2}{\varepsilon}; K_H, K_q = 1.35 \cdot K_m; K_E = \frac{K_m}{\sigma_E}; K_\varepsilon = \frac{K_m}{\sigma_\varepsilon} \quad (12 \text{ a-d})$$

with  $c_\mu=0.09$ ,  $\sigma_E=1$  and  $\sigma_\varepsilon=1.3$ .

Οριακές συνθήκες: Είναι καθόλου στερεές επιφάνειες  $E$  και  $\varepsilon$  και υπολογίζονται ως συνάρτηση της τοπικής εφαπτόμενης ταχύτητας τριβής  $U^*$  και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις συνιστώσες ροής εφαπτόμενη προς την υπό εξέταση επιφάνεια:

$$E(z=0), E_w = \frac{(u_*^2)^{\tan}}{\sqrt{c_\mu}}, \quad \varepsilon(z=0), \varepsilon_w = \frac{(u_*^3)^{\tan}}{k \cdot z_0}$$

με  $k$ : είναι η von-Kármán σταθερά που ισούται με  $(= 0,4)$  και  $z_0$ : είναι η μικροκλίμακα του μήκους τραχύτητας της επιφάνειας.

- Ροές ακτινοβολίας

Ως οριακές συνθήκες, οι εισερχόμενες ροές βραχέων και μακρών κυμάτων που απαιτούνται στο κορυφαίο μοντέλο. Εκείνα που διατίθενται χρησιμοποιώντας διπλή ροή ακτινοβολίας για την προσέγγιση της ροής για τις ροές μεγάλου μήκους κύματος και ένα σύνολο εμπειρικών εξισώσεων για τα βραχέα φάσματα κύματος (Taesler και Anderson 1984, Gross 1991). Μέσα στο τρισδιάστατο μοντέλο, οι ροές ακτινοβολίας τροποποιούνται από τα φυτά και τα κτίρια. Για να εκτιμηθεί η επίδρασή τους στις συνθήκες ακτινοβολίας, η έννοια της ροής συντελεστών μείωσης ( $\sigma \dots$ ) που κυμαίνονται από 1 για ανενόχλητες ροές σε 0 για μια συνολική απορρόφηση χρησιμοποιείται (Bruse 1995). Συνολικά, πέντε διαφορετικοί συντελεστές μείωσης καθορίζονται:

$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad \sigma_{sw,dir}(z) &= \exp(-F \cdot LAI^*(z)) \\
 \text{(II)} \quad \sigma_{sw,dif}(z) &= \exp(-F \cdot LAI(z, z_p)) \\
 \text{(III)} \quad \sigma_{lw}^\downarrow(z) &= \exp(-F \cdot LAI(z, z_p)) \\
 \text{(IV)} \quad \sigma_{lw}^\uparrow(z) &= \exp(-F \cdot LAI(0, z)) \\
 \text{(V)} \quad \sigma_{svf}(z) &= 1/360 \sum_{\pi=0}^{360} \cos \lambda(\pi)
 \end{aligned}
 \tag{13 a-e}$$

Οι συντελεστές αυτοί περιγράφουν την επίδραση της βλάστησης στην άμεση και διάχυτη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (I και II) και σχετικά με την προς τα κάτω και προς τα άνω ροή του μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (III και IV). Συντελεστής (V) παραμετροποιήσετε την τοπική απόφραξη του ουρανού από τα κτίρια ("Sky-View-Factor») και κυμαίνεται από 1 (ελεύθερης ουρανό) σε 0 (δεν υπάρχει ορατό ουρανό) όπου  $\lambda$  είναι η μέγιστη γωνία θωράκισης εντόπισε το ανίχνευση ακτίνων ενότητα στην κατεύθυνση  $\pi$ . Το LAI είναι ο μονοδιάστατος δείκτης κατακόρυφης φυλλικής επιφάνειας του φυτού από το επίπεδο  $z$  προς την κορυφή του φυτού σε ZP ή το έδαφος  $z = 0$ :

$$LAI(z, z + \Delta z) = \int_z^{z+\Delta z} LAD(z') dz'$$

Για τον υπολογισμό της μείωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, ο τρισδιάστατος δείκτης LAI \* χρησιμοποιείται αντί της μονοδιάστατης κατακόρυφης LAI. Ο δείκτης LAI \* υπολογίζεται σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης από τις εισερχόμενες ακτίνες του ήλιου και αναλύει το μοντέλο περιβάλλοντος για αντικείμενα που τέμνονται με τη διαδρομή των ακτίνων (Bruse, M., 2004). Αν ένα κτήριο βρίσκεται μεταξύ του σημείου ενδιαφέροντος και τον ήλιο, τότε ορίζεται σε μηδέν (= σκίαση), εάν βρεθεί βλάστηση, η ένταση ρυθμίζεται όπως φαίνεται στο (13 α). Τα άμεσα και

διάχυτα βραχέα κύματα των ροών ακτινοβολίας σε οποιοδήποτε σημείο μπορεί στη συνέχεια να υπολογιστεί ως

$$\begin{aligned} R_{sw,dif}(z) &= \sigma_{sw,dif}(z) R_{sw,dif}^0 \\ R_{sw,dif}(z) &= \sigma_{sw,dif}(z) \sigma_{svf}(z) R_{sw,dif}^0 + (1 - \sigma_{svf}(z)) R_{sw,dif}^0 \cdot \bar{a} \end{aligned} \quad (14 \text{ a,b})$$

όπου RSW, dir0 και DIF RSW, 0 είναι τα άμεσα και διάχυτα βραχέα κύματα ροών ακτινοβολίας στο κορυφαίο μοντέλο. Ο πρόσθετος τελευταίος όρος για τη διάχυτη συνιστώσα θεωρεί την αντανάκλαση των βραχέων κυμάτων ακτινοβολίας στο εσωτερικό του περιβάλλοντος με βάση τη μέση ανακλαστικότητα τοίχου ( $\alpha$ ) ως δείκτης ανακλαστικότητας. (Bruse, M., 2004)

Στην περίπτωση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (14 c-e) γίνεται δεκτό ότι τα προστατευτικά στρώματα βλάστησης θα απορροφήσουν τα τμήματα της ροής και να τα αντικαταστήσουν με τη δική τους ακτινοβολία κύματος μεγάλου μήκους. Οι οριζόντιες ροές ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από τοίχους των κτιρίων (14 ε) υπολογίζονται με τη στάθμιση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας των τοίχων με τον παράγοντα ορατότητας του ουρανού. Χρησιμοποιώντας την έννοια των συντελεστών μείωσης, οι ροές μεγάλου μήκους κύματος στο επίπεδο z είναι:

$$\begin{aligned} R_{lw}^{\downarrow}(z) &= \sigma_{lw}^{\downarrow}(z) R_{lw}^{\downarrow,0} + (1 - \sigma_{lw}^{\downarrow}(z)) \epsilon_f \sigma_B \bar{T}_{f+}^4 \\ R_{lw}^{\uparrow}(z) &= \sigma_{lw}^{\uparrow}(z) \epsilon_s \sigma_B T_0^4 + (1 - \sigma_{lw}^{\uparrow}(z)) \epsilon_f \sigma_B \bar{T}_{f-}^4 \\ R_{lw}^{\leftrightarrow}(z) &= (1 - \sigma_{svf}(z)) \epsilon_w \sigma_B \bar{T}_w^4 \end{aligned} \quad (14 \text{ c,d,e})$$

με:

$T_{f+}$ ,  $T_{f-}$ : είναι η μέση θερμοκρασία φύλλωματος του υπερκείμενου (+) και των υποκείμενων (-) στρωμάτων βλάστησης,

$T_0$ : θερμοκρασία της επιφάνειας εδάφους

$T_w$ : είναι η μέση επιφάνεια θερμοκρασίας των τοιχωμάτων των κτηρίων

$\epsilon_f$ ,  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_w$ : είναι η ακτινοβολία του φύλλωματος, η επιφάνεια του εδάφους και των τοίχων

$\sigma_B$ : η σταθερά Stefan-Boltzman.



### 3.3.2 Μοντέλο Εδάφους

Είναι χαρακτηριστικό για το αστικό περιβάλλον να υπάρχουν διαφορετικοί τύποι εδάφους και επιφανειών σε φυσική μορφή εδάφη και σε εντελώς τεχνητά υλικά. Η προσομοίωση αυτών των ανομοιογενών καταστάσεων, όπως οι ατομικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η θερμοδυναμική και υδραυλικής αγωγιμότητας ή αντακλαστικότητα, μπορεί να ανατεθεί σε κάθε κελί του πλέγματος του μοντέλου επιφάνειας / έδαφος. Το μοντέλο εδάφους είναι οργανωμένο σε 14 στρώσεις μεταξύ της επιφάνειας και το κατώτερο όριο του είναι σε 2 m βάθος. Η κάθετη ανάλυση κυμαίνεται μεταξύ 0,01 m κοντά στην επιφάνεια και 0,5 m στα βαθύτερα στρώματα. Οι διεργασίες ανταλλαγής προσομοιώνονται από την μεταφοράς της θερμότητας και του νερού μεταξύ των στρωμάτων. Εκτός του ανώτερου στρώματος του εδάφους στο οποίο η μεταφορά θερμότητας υπολογίζεται σε τρεις διαστάσεις, το χώμα αντιμετωπίζεται ως μονοδιάστατη κάθετη στήλη. Η κατανομή της θερμότητας  $T$  και του εδάφους η ογκομετρική περιεκτικότητα του σε υγρασία δίνονται από τις μονοδιάστατες προγνωστικά εξισώσεις:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa_s \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (15)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = D_\eta \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} + \frac{\partial K_\eta}{\partial z} - S_\eta(z) \quad (16)$$

Για τα φυσικά εδάφη, η θερμική διαχυτότητα ( $\kappa_s$ ) είναι συνάρτηση της διαθέσιμης η υγρασία του εδάφους και υπολογίζεται κατόπιν του Tjernström (1989). Οι υδραυλικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο (16) είναι: η ογκομετρική περιεκτικότητα του σε νερό, ( $\eta_s$ ) είναι η τιμή κορεσμού της, η υδραυλική αγωγιμότητα ( $K_\eta$ ) και η υδραυλικό διαχυτότητα ( $D_\eta$ ). Όλοι οι συντελεστές που υπολογίζονται χρησιμοποιούν τις εξισώσεις που έδωσαν οι Clapp και Hornberger (1978).

Ως πρόσθετος παράγοντας, η πρόσληψη νερού από τις ρίζες των φυτών ( $S_\eta$ ) παρέχονται από το μοντέλο βλάστησης θεωρείται ως εσωτερική δεξαμενή υγρασίας. Επιπλέον, η εξάτμιση της επιφάνειας του εδάφους, όπως δίνεται από την εξίσωση (26 γ) πρέπει να θεωρηθεί ως μια εξωτερική δεξαμενή (ή πηγή σε περίπτωση συμπύκνωσης) στην κορυφή των στρωμάτων του μοντέλου εδάφους. (Bruse, M., 2004)

### 3.3.3 Μοντέλο Βλάστησης

Η βλάστηση αντιμετωπίζεται ως μια μονοδιάστατη στήλη με ύψος ZP στην οποία το προφίλ της πυκνότητας της φυλλικής επιφάνειας (LAD) χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ποσό και την κατανομή των φύλλων. Η ίδια έννοια χρησιμοποιείται στο εσωτερικό του συστήματος του εδάφους: η κατανομή των ριζών αντιπροσωπεύεται από το προφίλ πυκνότητας περιοχής της ρίζας (RAD) που εκτείνεται από την επιφάνεια προς τα κάτω στο βάθος της ρίζας -zr (Bruse, M., 2004). Το καθεστώς αυτό είναι γενικής χρήσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα μικρά φυτά όπως γρασίδι ή και καλλιέργειες, καθώς και για μεγάλα δέντρα, εάν ZP και -zr αναπροσαρμόζονται ανάλογα.

- Η τυρβώδης ροή θερμότητας και ατμού

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των φύλλων των φυτών και του περιβάλλοντα αέρα μπορεί να εκφραστεί σε όρους λογικής ροής θερμότητας (Jf, h), η εξάτμιση ροή του υγρού νερού στα φύλλα (Jf, EVAP) και η ροή ελέγχεται από την διαπνοή των στόματα των φύλλων (Jf, trans):

$$\begin{aligned} J_{f,h} &= 1/r_a^{-1}(T_f - T_a) \\ J_{f, \text{evap}} &= r_a^{-1} \Delta q \delta_c f_w + r_a^{-1} (1 - \delta_c) \Delta q \\ J_{f, \text{trans}} &= \delta_c (r_a + r_s)^{-1} (1 - f_w) \Delta q \end{aligned} \quad (17a,b,c)$$

Τα  $r_a$  και  $r_s$  είναι η θερμοκρασία και η ειδική υγρασία του αέρα γύρω από το φύλλο,  $\Delta q$  είναι ο έλλειψη υγρασίας του φυλλώματος στον αέρα με  $\Delta q = q^* (T_f) - q_a$ .  $T_f$  είναι η θερμοκρασία του φυλλώματος και  $q^*$  η τιμή κορεσμού του  $q$  στην επιφάνεια των φύλλων. Ακολουθώντας τον Barden (1982), η αεροδυναμική αντίσταση  $RA$  είναι μία συνάρτηση της γεωμετρίας του φύλλου και της ταχύτητας του ανέμου:

$$r_a = A \sqrt{\frac{D}{\max(W, 0.05)}} \quad (18)$$

όπου η ταχύτητα  $W =$  άνεμο στην επιφάνεια των φύλλων. Η παράμετρος  $A$  είναι  $87 \text{ sec}^{0.5} \text{m}^{-1}$  για τα κωνοφόρα και το γρασίδι και  $200 \text{ sec}^{0.5} \text{m}^{-1}$  για τα φυλλοβόλα δέντρα.  $D$  είναι η τυπική

διάμετρος των φύλλων όπου κυμαίνεται από 0,02 m για τα κωνοφόρα έως 0,5 m ή περισσότερο για τροπικά φυτά (Schilling, 1990). Η μέγιστη προϋπόθεση διασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν μη έγκυρες τιμές που να εμφανίζονται στην περίπτωση των πολύ χαμηλών ανέμων. Ο δε παράγοντας έχει οριστεί σε 1, αν η εξάτμιση και η διαπνοή μπορεί να προκύψει ( $\Delta q \geq 0$ ), αλλιώς  $\Delta O$  είναι 0 και μόνο η συμπύκνωση είναι δυνατή. Υποθέτοντας ότι μόνο τα υγρά μέρη της βλάστησης μπορούν να εξατμιστούν (17b) και, από την άλλη πλευρά, μόνο τα ξηρά μέρη θα προκύψουν (17c), το κλάσμα των υγρών φύλλων μέσα σε ένα κουτί πλέγματος απαιτείται. Ακολουθώντας τον Deardorff (1978) το υγρό κλάσμα μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$f_w = \left( \frac{W_{dew}}{W_{dew,max}} \right)^{2/3} \quad (19)$$

όπου  $W_{dew}$  είναι η πραγματική ποσότητα της δροσιά στις επιφάνειες των φύλλων και  $W_{dew,max}$  είναι η μέγιστη δυνατή τιμή (0,2 kgm.-2).

- Ανθεκτικότητα στομάτων

Η στοματική αντίσταση  $r_s$  μιας ζωτικής εγκατάστασης υπολογίζεται σε σχέση με την πραγματική και τη μέγιστη είσοδο ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος ( $R_{sw}$  και  $R_{sw,max}$ ) και της διαθέσιμης περιεκτικότητα του σε νερό του εδάφους μέσα στο ριζικό σύστημα ( $\eta$ ) όπως περιγράφεται από τον Deardorff (1978):

$$r_s = r_{s,min} \left[ \frac{R_{sw,max}}{0.03R_{sw,max} + R_{sw}} + \left( \frac{\eta_{wilt}}{\eta} \right)^2 \right] \quad (20)$$

Η ελάχιστη στοματική αντίσταση  $r_{s,min}$  εξαρτάται από το είδος του φυτού και κυμαίνεται από 200 s0.5m-1 για γρασίδι μέχρι 400 s0.5m-1 για τα φυλλοβόλα φύλλα. Εναλλακτικά με την απλή προσέγγιση του Deardorff, η αντίσταση των στομάτων μπορούν επίσης να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο φωτοσύνθεσης που επιτρέπει μια πιο δυναμική περιγραφή των διαδικασιών φυτών (Jacobs 1994).

- Ενεργειακή ισορροπία φυλλώματος

Εάν η εσωτερική αποθήκευση ενέργειας στο εσωτερικό του φύλλου είναι παραμελημένη, η  $T_f$  θερμοκρασία του φυλλώματος μπορεί να ληφθεί από την αποθηκευμένη ενέργεια της σταθερής κατάστασης των φύλλων:

$$0 = R_{sw,net}(z) + R_{lw,net}(z) - c_p \rho J_{f,h} - \rho L (J_{f,evap} + J_{f,tran}) \quad (21)$$

όπου  $c_p$  είναι η ειδική θερμότητα του αέρα και  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα, το  $L$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.  $R_{sw,net}$  είναι η καθαρή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος που απορροφάται από την επιφάνεια του φύλλου υπολογίζεται ως εξής:

$$R_{sw,net}(z) = (F \cdot R_{sw,dif}(z) + R_{sw,dif}(z)) (1 - a_f - \tau_f)$$

Το,  $F$  είναι μια μη-διαστάσεων παραμέτρος που περιγράφει τον προσανατολισμό των φύλλων προς τον ήλιο ( $= 0.5$  για τυχαία προσανατολισμένα φύλλα),  $a_f$  είναι η ανακλαστικότητα του φυλλώματος και  $TRF$  είναι ένας παράγοντας μετάδοσης (σύνολο  $0,3$ ). Ο προϋπολογισμός μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας για (21) δίνεται από:

$$R_{lw,net}(z, T_f) = \epsilon_f R_{lw}^{\downarrow}(z) + R_{lw}^{\leftrightarrow}(z) + \epsilon_f R_{lw}^{\uparrow}(z) - 2\epsilon_f \sigma_B T_f^4 - (1 - \sigma_{svf}(z)) \sigma_B T_f^4$$

Οι όροι πηγές / δεξαμενές για το ατμοσφαιρικό μοντέλο μπορεί τελικά να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την (17 a-c) με την  $T_f$  να λαμβάνεται από την επίλυση (21):

$$Q_h(z) = LAD(z) J_{f,h} \quad (22)$$

$$Q_q(z) = LAD(z) (J_{f,evapo} + J_{f,trans}) \quad (23)$$

όπου  $LAD$  είναι η πυκνότητα της φυλλικής επιφάνειας σε ύψος  $z$ . Οι εξισώσεις υποθέτουν, ότι μόνο μία πλευρά του φύλλου συμμετέχει στις στροβιλώδης διεργασίες ανταλλαγής θερμότητας και ατμού (η πλευρά  $LUV$ ) απορροφά ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος, ενώ στα φάσματα μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας, και οι δύο πλευρές του φύλλου λαμβάνουν μέρος στην ακτινοβολίας διεργασίας ανταλλαγής.

- Ισορροπία του νερού στο σύστημα των φυτών / εδάφους

Για να εξασφαλιστεί μια ρεαλιστική προσομοίωση των μηχανισμών ανατροφοδότησης μεταξύ διαπνοής του νερού από το φυτό και παροχής νερού από το έδαφος, το νερό διαρρέει από το φυτό λαμβάνοντας από το έδαφος μέσω της πρόσληψης της ρίζας του νερού, με αποτέλεσμα την απώλεια της περιεκτικότητας σε νερό του εδάφους. Αν το χώμα δεν παρέχει αρκετό νερό, η η στοματική ανθεκτικότητα θα αυξηθεί και ο ρυθμός διαπνοής μειώνεται. Η συνολική μάζα του νερού ( $m_{trans}$ ) διέρρευσε από το φυτό δίνεται από την κατακόρυφη ολοκλήρωμα επί των ροών διαπνοή στα διάφορα φυτικά στρώματα:

$$m_{trans} = \rho \int_0^{z_t} LAD(z) J_{f,trans}(z) dz \quad (24)$$

Σύμφωνα με την πρόταση του Pielkes »(1984), το νερό λαμβάνεται από διάφορα στρώματα του εδάφους μέσα στο ριζικό σύστημα του φυτού ανάλογα με την ποσότητα των ριζών στο στρώμα ( $RAD(z)$  αξία) και της υδραυλικής διαχυτότητας του στρώματος του εδάφους ( $D_\eta(z)$ ):

$$S_\eta(-z) = \frac{m_{trans}}{\rho_w} (RAD(-z)D_\eta(-z)) \left( \int_{-z_t}^0 RAD(-z)D_\eta(-z) dz \right)^{-1} \quad (25)$$

- Επιφάνεια του εδάφους και οικοδομικών επιφανειών

Η θερμοκρασία  $T_0$  της επιφάνειας του εδάφους σε ισορροπία μπορεί να υπολογιστεί από το ενεργειακό ισοζύγιο

$$0 = R_{sw,net} + R_{lw,net} - c_p \rho J_h^0 - \rho L \cdot J_v^0 - G \quad (26)$$

στην οποία το  $R_{sw}$ , είναι η καθαρή ροή και  $R_{lw}$ , είναι η καθαρή ακτινοβολία της ενέργειας ροών,  $J_h$  και  $J_v$  είναι οι στροβιλώδης ροές θερμότητας και ατμού και  $G$  είναι η ροή θερμότητας εδάφους. Σε περίπτωση επιφανειών κτιρίων (τοίχοι, οροφές), η ροή θερμότητας από το έδαφος αντικαθίσταται από τη μετάδοση της θερμότητας διαμέσου του τοιχώματος ή της οροφής ( $QW$ ).

- Ροές ακτινοβολίας

Το  $R_{sw}$ , είναι η καθαρή ροή και το  $R_{lw}$ , είναι η καθαρή ροή των βραχέων κυμάτων και μεγάλου μήκους κύματος της ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια που υπολογίζεται σε σχέση

με τις θερμοκρασίες του επιφανειών και των τοίχων από το έδαφος. Χρησιμοποιώντας το σύστημα ρών ακτινοβολίας, η καθαρή ροή των βραχέων κυμάτων μπορεί να γραφτεί ως:

$$R_{sw,net} = (R_{sw,dir}(z=0) \cos \beta + R_{sw,dif}(z=0))(1 - a_s)$$

όπου  $\beta$  είναι η γωνία πρόσπτωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας βραχέα κύματα σε σχέση με την επιφάνεια έκθεση και  $a_s$  είναι η επιφάνεια ανακλαστικότητα. Ο υπολογισμός της καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος πρέπει να λάβει υπόψη την επίδραση των δυνητικών στρωμάτων βλάστησης πάνω από την επιφάνεια, καθώς και τις ροές μεγάλου μήκους κύματος από τα κτίρια και την αντανάκλαση της ακτινοβολίας μεταξύ των κτιρίων και της επιφάνειας. Για λόγους απλότητας, ο προϋπολογισμός μεγάλου μήκους κύματος χωρίζεται σε ένα κλάσμα που είναι αθωράκιστο από τα κτίρια (μας  $R_{lw}$ , καθαρό) και ένα μέρος παρεμποδίζεται από κτίρια ( $sR_{lw}$ , καθαρή ροή):

$$R_{lw,net}(T_0) = \sigma_{svf} R_{lw,net}^{us}(T_0) + (1 - \sigma_{svf}) R_{lw,net}^s$$

όπου ο παράγοντας θέασης του ουρανού  $\sigma_{svf}$  χρησιμοποιείται για τη στάθμιση της ενέργειας προϋπολογισμού για το θωρακισμένο και αθωράκιστο κλάσμα ανάλογα με την κατάσταση. Μετά τον Deardorff (1978) η ανταλλαγή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας μεταξύ του εδάφους και της βλάστησης και μεταξύ του εδάφους και των κτιρίων μπορεί να γραφτεί ως:

$$R_{lw,net}^{us} = \sigma_{lw}^{\downarrow}(0) (R_{lw}^{\downarrow,0} - \epsilon_s \sigma_B T_0^4) + (1 - \sigma_{lw}^{\downarrow}(0)) \frac{\epsilon_f \epsilon_s}{\epsilon_f + \epsilon_s - \epsilon_f \epsilon_s} (\sigma_B \bar{T}_f^4 - \sigma_B T_0^4) \quad (27)$$

$$R_{lw,net}^s = \frac{\epsilon_w \epsilon_s}{\epsilon_w + \epsilon_s - \epsilon_w \epsilon_s} \left[ \max(\sigma_B \bar{T}_w^4, \sigma_B T_0^4) - \sigma_B T_0^4 \right]$$

$T_w$  είναι η μέση θερμοκρασία των τοίχων των κτιρίων και  $\epsilon_w$  η ακτινοβολία των τείχων. Για το θωρακισμένο κλάσμα του ενεργειακού ισοζυγίου υποτίθεται, ότι η ροή ενέργειας από τους τοίχους έχει σημασία μόνο αν οι τοίχοι είναι πιο θερμοί από την επιφάνεια του εδάφους. Εάν η επιφάνεια του εδάφους είναι θερμότερη, η αντανάκλαση του μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας της επιφάνειας στους τοίχους αποτελεί το κυρίαρχο αποτέλεσμα.

Στην περίπτωση των τοίχων των κτιρίων, το σύστημα ακτινοβολίας είναι λιγότερο πολύπλοκο. Εδώ, οι επιπτώσεις της βλάστησης παραβλέπονται διότι μόνο λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με τις οριζόντιες ροές μεγάλου μήκους κύματος από τα στρώματα βλάστησης. Για τους κάθετους τοίχους, υποτίθεται, ότι το αθωράκιστο κλάσμα θα λάβει το 50% του μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας από τον ουρανό και το άλλο 50% από το έδαφος. Για το θωρακισμένο κλάσμα, 2/3 της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που υποτίθεται ότι προέρχονται από την εκπομπή των άλλων τοιχωμάτων και το υπόλοιπο ένα τρίτο της ακτινοβολίας υποτίθεται ότι είναι ακτινοβολία από το έδαφος που ανακλάται από τους τοίχους. Για τις οροφές τα συστατικά ακτινοβολίας είναι τα ίδια όπως και για την επιφάνεια του εδάφους, εκτός του ότι  $z \neq 0$  και ότι επιπλέον στρώματα βλάστησης πάνω από την οροφή δεν λαμβάνονται υπόψη.

- Η τυρβώδης ροές αισθητής θερμότητας και ατμού

Οι στροβιλώδης ροές  $J_{0h}$  θερμότητας και  $J_{0v}$  ατμού στην επιφάνεια του εδάφους και σε τοίχους του κτιρίου και στέγες υπολογίζεται ως.

$$\begin{aligned}
 J_{h}^0 &= -K_h^0 \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = -K_h^0 \frac{\theta(k=1) - T_0}{0.5\Delta z(k=1)} \\
 J_{v}^0 &= -K_v^0 \left. \frac{\partial q}{\partial z} \right|_{z=0} = -K_v^0 \frac{q(k=1) - q_0}{0.5\Delta z(k=1)}
 \end{aligned}
 \tag{28 a,b}$$

όπου  $k = 1$  υποδεικνύει το πρώτο στρώμα υπολογισμού των πιο πάνω ή δίπλα στην επιφάνεια και  $K_{0h}$ ,  $K_{0v}$  είναι οι συντελεστές ανταλλαγής θερμότητας και ατμού μεταξύ της επιφάνειας και του αέρα. Και οι δύο υπολογίζονται σε σχέση με τη θερμική διαστρωμάτωση μεταξύ της επιφάνειας και την υπερκείμενη στρώση αέρα (Asaeda et al. 1993). Στην περίπτωση των τοίχων, οι συμβολισμοί (28 a, b) πρέπει να υιοθετηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό του τοίχου. Σε περίπτωση χαμηλών ταχυτήτων ανέμου οδηγεί σε ελεύθερες συνθήκες μεταφοράς, ο αποκαλούμενος  $z^{-1/3}$  νόμος χρησιμοποιείται για να περιγράψει την κάθετη μεταφορά από τα θερμικά (Panhans και Schrodin 1980). Η υγρασία επιφάνειας  $q_0$  μπορεί να ληφθεί από την περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους σε επίπεδο  $z = -1$  χρησιμοποιώντας την  $\beta$ -προσέγγιση από Deardorff (1978):

$$\begin{aligned}
 q_0 &= \beta q_*(T_0) + (1-\beta)q(z=1) \\
 \beta &= \min(1, \eta(z=-1)/\eta_{\text{crit}})
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

όπου η είναι η ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους στο πρώτο στρώμα του εδάφους και ηfc είναι η αξία του σε χωρητικότητα πεδίου. Η ροή του νερού συνδέεται με το υδραυλικό μοντέλο εδάφους χρησιμοποιώντας ένα πρόσθετο όρο  $S_{\eta,0}$ , 0 που σχετίζεται με την εξάτμιση στην επιφάνεια με

$$S_{\eta,0}(k=-1) = -\frac{\rho}{\rho_w} J_v^0 \frac{1}{\Delta z(k=-1)} \quad (30)$$

στο οποίο  $k = -1$  είναι το πρώτο στρώμα του μοντέλου εδάφους με πάχος  $\Delta z$  και  $\rho_w$  είναι η πυκνότητα του νερού. Η πρακτική εφαρμογή έχει δείξει ότι είναι πιο ρεαλιστικό για να κατανεμηθεί η απώλεια νερού πάνω από τα δύο άνω στρώματα του εδάφους και επίσης να χρησιμοποιηθούν αυτά τα δύο στρώματα για να εκτιμηθεί  $\beta$  σε (29) και όχι χρησιμοποιώντας μόνο το ανώτατο στρώμα. Σε αντίθετη περίπτωση, λόγω ότι τα στρώματα είναι πολύ λεπτά, θα στεγνώσει πολύ γρήγορα.

- Ροή θερμότητας του εδάφους και της ροής θερμότητας μέσω του τοίχους των κτιρίων

Η ροή θερμότητας εδάφους υπολογίζεται από την θερμοκρασία της επιφάνειας και της θερμοκρασίας του πρώτου επιπέδου του μοντέλου εδάφους κάτω από την επιφάνεια:

$$G = \lambda_s(k=-1) \frac{T_0 - T(k=-1)}{0.5\Delta z(k=-1)} \quad (31)$$

όπου  $\lambda_s$  είναι η θερμική αγωγιμότητα του πρώτου στρώματος του εδάφους το οποίο εξαρτάται από το υλικό του εδάφους και την περιεκτικότητα σε νερό. Για τα κτίρια,  $Z$  αντικαθίσταται από  $Q_w$ :

$$Q_w = k(T_w - T_{a,i}) \quad (32)$$

στην οποία  $k$  είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του υλικού του τοιχώματος και  $T_a, i$  είναι η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου. Η προσέγγιση αυτή είναι αρκετά απλή και δεν λαμβάνει υπόψη την αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό του υλικού του τοιχώματος.



### 3.3.4 Αριθμητικές Πτυχές

- Τεχνικές Λύσης

Οι διαφορικές εξισώσεις του μοντέλου επιλύονται σε ένα κλιμακωτό σύστημα δικτύου με τη χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών. Οι τρισδιάστατες εξισώσεις μεταφοράς-διάχυσης ε-σε συνδυασμό με τη χρήση της έμμεσης μεθόδου εναλλασσόμενων κατευθύνσεων (ADI) σε συνδυασμό με ένα ανοδικό σχήμα μεταγωγής. Το σύστημα αυτό συνεπάγεται μία σχετικά υψηλή αριθμητική διάχυση αλλά επιτρέπει μια γρήγορη και έμμεση λύση των εξισώσεων και ως εκ τούτου έχουν επιλεγεί στο μοντέλο ENVI-met. Για την επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes, χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος διαχωρισμού από τους Πατρινός και Kistler (1977). Εδώ, οι προγνωστικές εξισώσεις για μια μαζική διατήρηση του πεδίου ανέμου  $t$  TUI +  $\Delta$  χωρίζεται σε ένα πεδίο βοηθητικής ροής ( $u_{aux}$ ) και ένα πεδίο πίεσης ( $p$ ):

$$\frac{\partial u_i^{t+\Delta t}}{\partial t} = \frac{\partial u_i^{aux}}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \nabla p \quad (33)$$

Η μεταβλητή πίεση στη συνέχεια απομακρύνεται από τις προγνωστικές εξισώσεις (1 a-c) που οδηγούν σε ένα σύνολο τριών προγνωστικών εξισώσεων για ένα βοηθητικό πεδίο ροής:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^{aux}}{\partial t} + u_i \frac{\partial u^{aux}}{\partial x_i} &= K_m \left( \frac{\partial^2 u^{aux}}{\partial x_i^2} \right) + f(v - v_g) - S_u \\ \frac{\partial v^{aux}}{\partial t} + u_i \frac{\partial v^{aux}}{\partial x_i} &= K_m \left( \frac{\partial^2 v^{aux}}{\partial x_i^2} \right) - f(u - u_g) - S_v \\ \frac{\partial w^{aux}}{\partial t} + u_i \frac{\partial w^{aux}}{\partial x_i} &= K_m \left( \frac{\partial^2 w^{aux}}{\partial x_i^2} \right) + g \frac{\theta(z)}{\theta_{ref}(z)} - S_w \end{aligned} \quad (34 \text{ a-c})$$

Αυτό το πεδίο ροής περιέχει το σωστό στροβιλισμό, αλλά δεν είναι μάζα διατήρηση, πράγμα που σημαίνει ότι δεν πληροί την προϋπόθεση του φίλτρου (2).

Το πεδίο αντίστοιχης πίεσης μπορεί να ληφθεί με την επίλυση της εξίσωσης Poisson:

$$\nabla^2 p = \frac{\rho}{\Delta t} \nabla u_i^{aux} \quad (35)$$

χρησιμοποιώντας την επαναληπτική ταυτόχρονη πάνω μέθοδο χαλάρωσης (SOR). Τέλος, η σωστή και κατά προσέγγιση ροή πεδίου μάζας-διατήρησης μπορεί να υπολογιστεί από

$$u_i^{t+\Delta t} = u_{aux}^i - \frac{\Delta t}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (36)$$

Οι απότομες κλίσεις πίεσης που συμβαίνουν σε προσομοιώσεις μικροκλίμακας με εμπόδια απαιτούν πολύ μικρά χρονικά βήματα για την επίλυση του συνόλου των εξισώσεων του πεδίου ανέμου. Ως εκ τούτου, το πεδίο του ανέμου δεν αντιμετωπίζεται ως μια "κανονική" προγνωστική μεταβλητή στο ENVI-met, αλλά ενημερώνεται κατόπιν ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος για να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στις αναταράξεις και τη θερμική διαστρωμάτωση. Χρησιμοποιώντας το πεδίο του ανέμου ως κανονική μεταβλητή είναι τεχνικά δυνατό, αλλά πολύ χρονοβόρο για τις πρόσφατες υπολογιστές.

- Τομέας υπολογισμού και Δομή Πλέγματος

Ανάλογα με το πρόβλημα, το συνολικό μέγεθος του τρισδιάστατου μοντέλου X, Y και Z, καθώς και η ανάλυση του πλέγματος μπορεί να επιλεγεί μέσα σε ένα ευρύ φάσμα. Από προεπιλογή η απόσταση Δx, Δy και Δz είναι σε ίση απόσταση σε κάθε κατεύθυνση. Το τρισδιάστατο μοντέλο μέσα σε ένα μονοδιάστατο μοντέλο το οποίο εκτείνεται έως 2500 m ύψος. Οι τιμές του μονοδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιείται ως τιμή αναφοράς καθώς και η εισροή των κορυφαίων οριακών συνθηκών για το τρισδιάστατο μοντέλο.

### 3.4 Εισαγωγή στο λογισμικό ENVI-MET V4

Εφόσον γίνει η εγκατάσταση του λογισμικού Envi-met v4, ανοίγοντας το εικονίδιο του προγράμματος εμφανίζει το παράθυρο διαλόγου εικόνα 3.1, στο οποίο παρουσιάζονται οι επιλογές για την έναρξη της προσομοίωσης της εργασίας.



Εικόνα 3.1: Παράθυρο διαλόγου έναρξης Envi-met

- Η επιλογή Spaces είναι εκεί που θα δημιουργηθεί το μοντέλο τη περιοχής ενδιαφέροντος.
- Στη συνέχεια εφόσον σχεδιαστεί η περιοχή, ανοίγουμε το παράθυρο διαλόγου Configuration Wizard (σημείο 2), σε αυτό το χώρο επιλέγεται το αρχείο που έχει δημιουργηθεί και ενσωματώνονται όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής για να μπορεί να ξεκινήσει η προσομοίωση.
- Στην επιλογή Envi-met run, (σημείο 3), ξεκινά η προσομοίωση για τα δεδομένα και την περιοχή μελέτης που έχουν σχεδιαστεί πιο πριν. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πάρει αρκετό χρόνο ανάλογα με το μέγεθος του χώρου που έχει σχεδιαστεί και με τις δυνατότητες του έκαστοτε υπολογιστή. (Στην παρούσα διατριβή ο χρόνος προσομοίωσης διήρκησε τέσσερις εβδομάδες).
- Το εικονίδιο Leonardo χρησιμεύει στην τριδιάστατη παρουσίαση των αποτελεσμάτων μετά την λήξη της προσομοίωσης. Από εκεί θα γίνει η εξαγωγή όλων των οπτικών γραφημάτων.
- Το σημείο 5 στην πιο πάνω εικόνα είναι για την δημιουργία .bmp file από το Google Earth.
- Και, το σημείο 6 για τον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων.

### 3.4.1 Έναρξη προσομοίωσης

#### 3.4.1.1 Αρχείο εισαγωγής περιοχής .IN

Για τη δημιουργία του μοντέλου της περιοχής που θα χρησιμοποιηθεί στη προσομοίωση τόσο της παρούσας κατάστασης του χώρου αλλά και της προτεινόμενης αναβάθμισης, στο μοντέλο πεδίου έχουν οριστεί τα πιο κάτω δεδομένα σύμφωνα με το μέγεθος του χώρου μελέτης το οποίο ανέρχεται στα 25.000,000 τ.μ.

Κύρια περιοχή μοντέλου:

- 70 κελιά στον άξονα x, με μέγεθος κελιού πλέγματος σε μέτρα  $dx = 2m$
- 70 κελιά στον άξονα y, με μέγεθος κελιού πλέγματος σε μέτρα  $dy = 2m$  και
- 20 κελιά στον άξονα z, με μέγεθος κελιού πλέγματος σε μέτρα  $dz = 2m$

Επιπλέον έχουν οριστεί 4 κελιά πλέγματος γύρω από την κύρια περιοχή του μοντέλου, αυτό επιτρέπει την μετακίνηση των συνόρων του μοντέλου πιο μακριά από τον πυρήνα χωρίς απώλεια πολλών κελιών υπολογισμού. Επίσης ο τύπος εδάφους που έχει οριστεί στο A και B σημείο είναι το τυπικό που ορίζει το λογισμικό και στον άξονα z για την κάθετη δημιουργία του πλέγματος έχει οριστεί η επιλογή equidistant η οποία κρατεί σταθερό το ύψος των κελιών εκτός από τα χαμηλότερα πλέγματα. Παράλληλα στην επιλογή των υλικών των κτιρίων για τους τοίχους και τις οροφές έχει οριστεί το σκυρόδεμα. Τα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής και άλλα στοιχεία απεικονίζονται στην πιο κάτω εικόνα:

Change or create model Domain

Number of grids and nesting properties

**Model type: Detailed Design**

Main model area:

x-Grids: 70 y-Grids: 70 z-Grids: 20

Nesting grids around main area:

Nr of nesting grids: 4

Set soil profiles for nesting grids

Soil A: [00] Default Unsealed Soil (\*\* do no

Soil B: [00] Default Unsealed Soil (\*\* do no

Grid size and structure in main area

Size of grid cell in meter:

dx= 2.00 dy= 2.00 dz= 2.00 (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, ▾

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

Model area description: municipality area proposed

Geographic Properties

**Model rotation out of grid north:** 0.00

**Location on earth**

Name of location: paphos/cyprus ▾

Position on earth: Latitude (deg. +N, -S): 53.00

Longitude (deg. -W, +E): 7.00

Reference time zone:

Name: CET/UTC+1

Reference longitude: 15.00

**Georeference**

Co-ordinate of lower left grid x-value: 0.00

y-value: 0.00

Reference system: <plane> ▾

Reference level above sea level for DEM=0: 0.00

Maximum Model Size is 100x100x40 in ENVI-met Basic and 250x250x25 in ENVI-met Pro

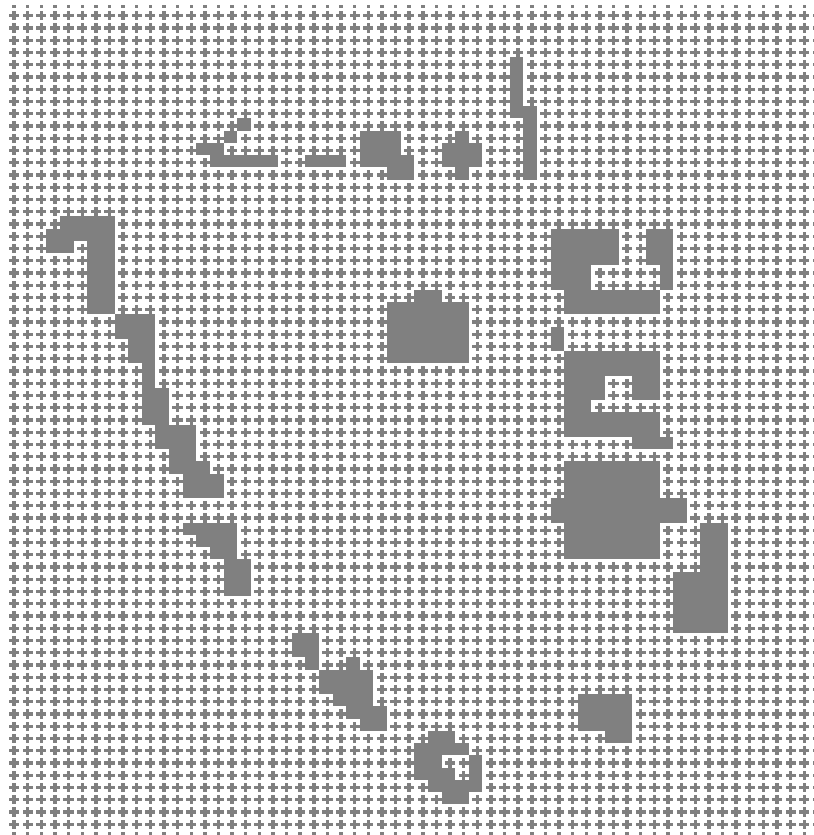
Create new area

Apply changes

Cancel

Εικόνα 3.2: Παράθυρο διαλόγου Spaces

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης παρατίθεται πιο κάτω:



Εικόνα 3.3: Μοντέλο προσομοίωσης υφιστάμενης κατάστασης - .SIM File

Για την καλύτερη αποτύπωση του πιο πάνω μοντέλου έχει γίνει εισαγωγή αρχιτεκτονικού σχεδίου σε μορφή .btp της περιοχής μελέτης στο λογισμικό Envi-met-Spaces.

#### **3.4.1.2 Μετεωρολογικά δεδομένα – Δημιουργία αρχείου .CF**

Μετά τη δημιουργία της αποτύπωσης του σχεδίου της περιοχής μελέτης .SIM File, θα πρέπει να δημιουργηθεί το κύριο αρχείο .CF, γίνεται ενσωμάτωση των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής στο παράθυρο ConfigWizard (Εικόνα 3.4). Τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής τα οποία έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο σύμφωνα με το [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com), έχει επιλεγθεί ως μια από τις πιο ζεστές μέρες του καλοκαιριού για την πόλη της Πάφου η 22 Ιουλίου 2016. Τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση για τη μέση μέγιστη θερμοκρασία και τη μέση θερινή θερμοκρασία για την πιο θερμή ημέρα και της τυπικής θερινής μέρας προκύπτει με βάση τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Έτσι για την πιο θερμή ημέρα η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 32.4° C , υγρασία 58%, ταχύτητα ανέμου 11.1 km/h / 3.1 m/s και νοτιοδυτικό προσανατολισμό ανέμου. Τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό είναι

ωριαία δηλ. από τις 7.00 το πρωί μέχρι και τις 6.00 το απόγευμα, τα οποία είναι η θερμοκρασία, υγρασία και ταχύτητα ανέμου.

Πίνακας 3.1: Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής για τις 22/7/2016, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση. ([www.wunderground.com](http://www.wunderground.com))

Time (EEST)	Temp.	Heat Index	Dew Point	Humidity	Pressure	Visibility	Wind Dir	Wind Speed	Gust Speed	Precip	Events	Conditions
12:00 AM	26 °C	-	22 °C	70%	1011 hPa	15 km	NNE	7.4 km/h /	-	-	-	Partly Cloudy
12:00 AM	26.0 °C	-	22.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	7.4 km/h / 2.1 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
12:30 AM	25.0 °C	-	21.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	7.4 km/h / 2.1 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
1:00 AM	24.0 °C	-	20.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	9.3 km/h / 2.6 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
1:30 AM	24.0 °C	-	20.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	7.4 km/h / 2.1 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
2:00 AM	24.0 °C	-	20.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	9.3 km/h / 2.6 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
2:30 AM	23.0 °C	-	20.0 °C	83%	1010 hPa	10.0 km	NNE	9.3 km/h / 2.6 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
3:00 AM	23 °C	-	20 °C	76%	1010 hPa	12 km	NNE	9.3 km/h /	-	-	-	Partly Cloudy
3:00 AM	23.0 °C	-	20.0 °C	83%	1010 hPa	10.0 km	NNE	9.3 km/h / 2.6 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
3:30 AM	23.0 °C	-	20.0 °C	83%	1010 hPa	10.0 km	NNE	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	N/A	-	Scattered Clouds
4:00 AM	23.0 °C	-	19.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	N/A	-	Unknown
4:30 AM	23.0 °C	-	19.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	13.0 km/h / 3.6 m/s	-	N/A	-	Unknown
5:00 AM	22.0 °C	-	19.0 °C	83%	1010 hPa	10.0 km	NNE	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	N/A	-	Unknown
5:30 AM	22.0 °C	-	18.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	13.0 km/h / 3.6 m/s	-	N/A	-	Unknown
6:00 AM	22 °C	-	18 °C	74%	1010 hPa	20 km	NNE	9.3 km/h /	-	-	-	Scattered Clouds
6:00 AM	22.0 °C	-	18.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	N/A	-	Partly Cloudy
6:30 AM	22.0 °C	-	18.0 °C	78%	1010 hPa	10.0 km	NNE	13.0 km/h / 3.6 m/s	-	N/A	-	Partly Cloudy

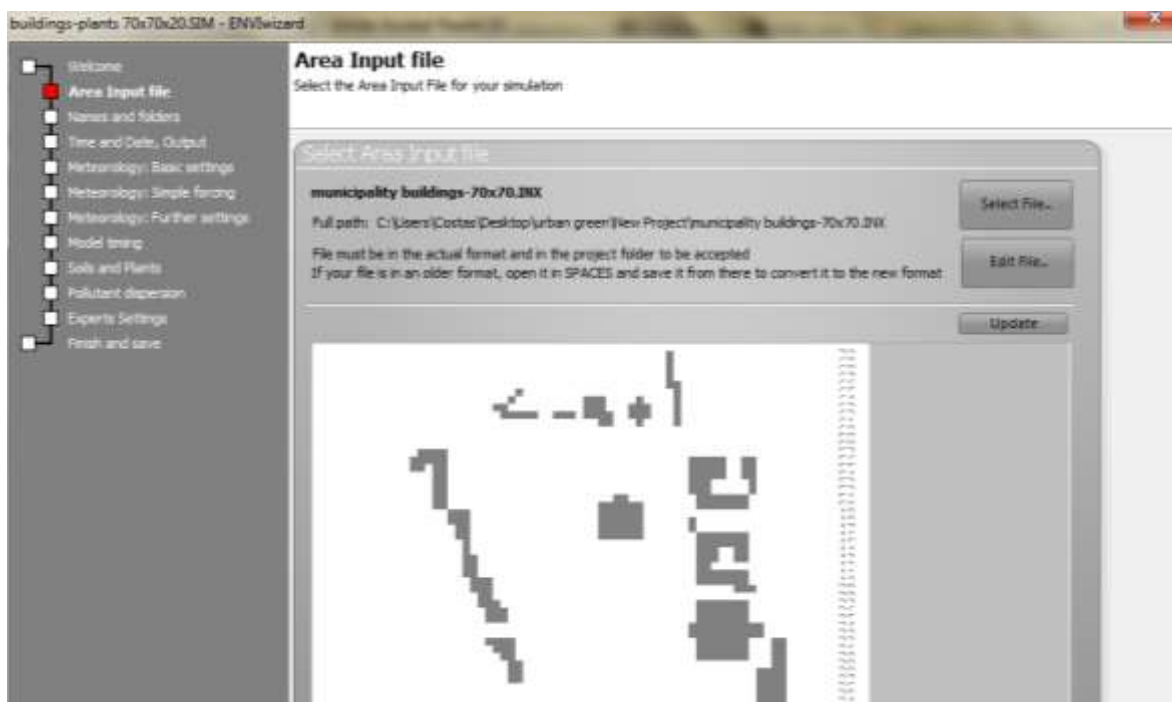
7:00 AM	23.0 °C-	18.0 °C	73%	1010 hPa	10.0 km NNE	13.0 km/h / 3.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy	
7:30 AM	25.0 °C-	19.0 °C	69%	1010 hPa	10.0 km NNE	11.1 km/h / 3.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy	
8:00 AM	26.0 °C-	18.0 °C	61%	1010 hPa	10.0 km ENE	9.3 km/h / 2.6 m/s -	N/A	Partly Cloudy	
8:30 AM	28.0 °C	29.2 °C	19.0 °C	58%	1011 hPa	10.0 km East	5.6 km/h / 1.5 m/s -	N/A	Partly Cloudy
9:00 AM	28 °C -	20 °C	52%	1011 hPa	20 km SE	7.4 km/h / -	-	Scattered Clouds	
9:00 AM	28.0 °C	29.7 °C	20.0 °C	62%	1011 hPa	10.0 km SE	7.4 km/h / 2.1 m/s -	N/A	Partly Cloudy
9:30 AM	28.0 °C	30.2 °C	21.0 °C	66%	1011 hPa	10.0 km SSE	9.3 km/h / 2.6 m/s -	N/A	Partly Cloudy
10:00 AM	28.0 °C	30.2 °C	21.0 °C	66%	1011 hPa	10.0 km SSE	9.3 km/h / 2.6 m/s -	N/A	Partly Cloudy
10:30 AM	29.0 °C	31.3 °C	21.0 °C	62%	1011 hPa	10.0 km South	11.1 km/h / 3.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
11:00 AM	29.0 °C	30.7 °C	20.0 °C	58%	1011 hPa	10.0 km South	11.1 km/h / 3.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
11:30 AM	30.0 °C	32.4 °C	21.0 °C	58%	1011 hPa	10.0 km SSW	11.1 km/h / 3.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
12:00 PM	29 °C -	20 °C	51%	1012 hPa	20 km South	11.1 km/h / -	-	Scattered Clouds	
12:00 PM	29.0 °C	30.7 °C	20.0 °C	58%	1011 hPa	10.0 km South	11.1 km/h / 3.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
12:30 PM	30.0 °C	31.9 °C	20.0 °C	55%	1012 hPa	10.0 km SW	11.1 km/h / 3.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
1:00 PM	31.0 °C	34.4 °C	22.0 °C	58%	1012 hPa	10.0 km SW	13.0 km/h / 3.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
1:30 PM	31.0 °C	33.7 °C	21.0 °C	55%	1011 hPa	10.0 km WSW	13.0 km/h / 3.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
2:00 PM	31.0 °C	33.7 °C	21.0 °C	55%	1011 hPa	10.0 km WSW	13.0 km/h / 3.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
2:30 PM	31.0 °C	33.7 °C	21.0 °C	55%	1011 hPa	10.0 km SW	14.8 km/h / 4.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy



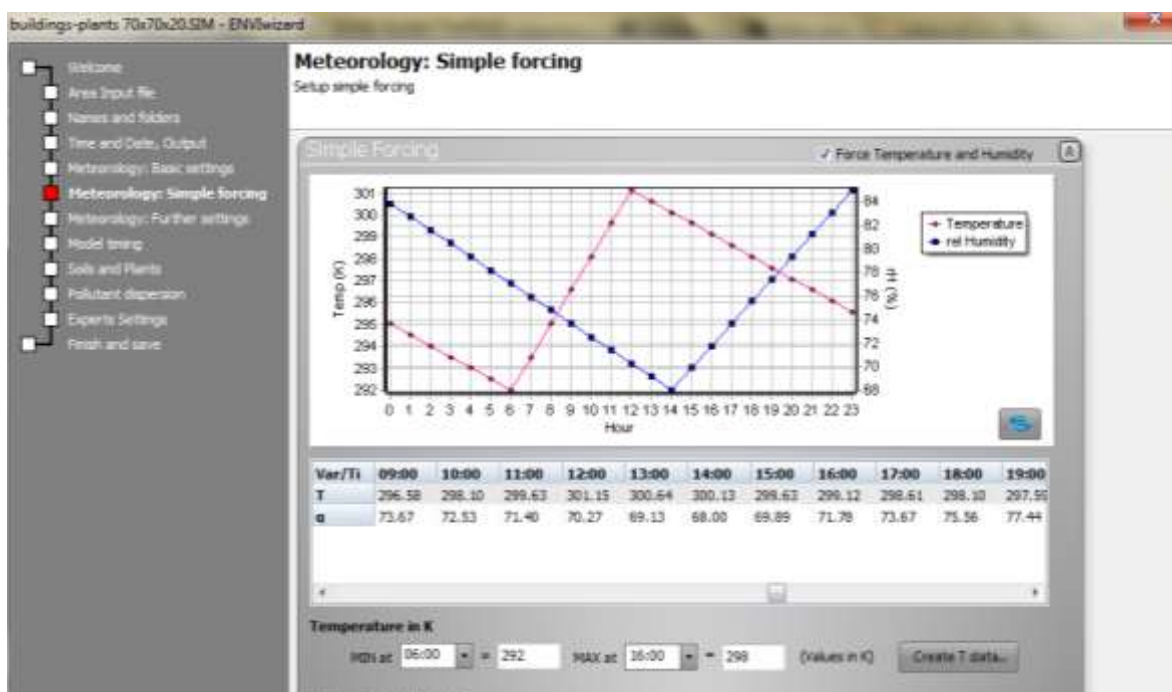
3:00 PM	30 °C -	21 °C	49%	1011 hPa	20 km WSW	14.8 km/h /	-	-	Scattered Clouds
3:00 PM	30.0 °C	32.4 °C	21.0 °C	58%	1011 hPa	10.0 km WSW	14.8 km/h / 4.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
3:30 PM	31.0 °C	33.7 °C	21.0 °C	55%	1011 hPa	10.0 km WSW	14.8 km/h / 4.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
4:00 PM	30.0 °C	31.9 °C	20.0 °C	55%	1011 hPa	10.0 km WSW	16.7 km/h / 4.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
4:30 PM	30.0 °C	31.9 °C	20.0 °C	55%	1011 hPa	10.0 km West	16.7 km/h / 4.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
5:00 PM	30.0 °C	32.4 °C	21.0 °C	58%	1011 hPa	10.0 km West	18.5 km/h / 5.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
5:30 PM	30.0 °C	32.4 °C	21.0 °C	58%	1010 hPa	10.0 km West	18.5 km/h / 5.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
6:00 PM	30 °C -	22 °C	54%	1011 hPa	20 km West	18.5 km/h /	-	-	Scattered Clouds
6:00 PM	30.0 °C	33.2 °C	22.0 °C	62%	1010 hPa	10.0 km West	18.5 km/h / 5.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
6:30 PM	29.0 °C	32.0 °C	22.0 °C	66%	1010 hPa	10.0 km West	18.5 km/h / 5.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
7:00 PM	29.0 °C	31.3 °C	21.0 °C	62%	1010 hPa	10.0 km West	16.7 km/h / 4.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
7:30 PM	28.0 °C	30.2 °C	21.0 °C	66%	1010 hPa	10.0 km West	18.5 km/h / 5.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
8:00 PM	28.0 °C	30.2 °C	21.0 °C	66%	1010 hPa	10.0 km WNW	16.7 km/h / 4.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
8:30 PM	27.0 °C	28.5 °C	20.0 °C	65%	1010 hPa	10.0 km WNW	16.7 km/h / 4.6 m/s-	N/A	Partly Cloudy
9:00 PM	27 °C -	20 °C	58%	1011 hPa	12 km WNW	14.8 km/h /	-	-	Scattered Clouds
9:00 PM	27.0 °C	28.5 °C	20.0 °C	65%	1010 hPa	10.0 km WNW	14.8 km/h / 4.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
9:30 PM	27.0 °C	28.5 °C	20.0 °C	65%	1011 hPa	10.0 km WNW	14.8 km/h / 4.1 m/s-	N/A	Partly Cloudy
10:00 PM	26.0 °C-	20.0 °C	69%	1011 hPa	10.0 km NW	11.1 km/h / 3.1 m/s-	N/A	N/A	Partly Cloudy

10:30 PM	26.0 °C-	20.0 °C	69%	1011 hPa	10.0 km NW	7.4 km/h / 2.1 m/s -	N/A	Partly Cloudy
11:00 PM	25.0 °C-	20.0 °C	74%	1011 hPa	10.0 km North	7.4 km/h / 2.1 m/s -	N/A	Partly Cloudy
11:30 PM	25.0 °C-	19.0 °C	69%	1011 hPa	10.0 km NNE	5.6 km/h / 1.5 m/s -	N/A	Partly Cloudy

Ακολουθεί η δημιουργία του αρχείου .CF όπου έχει γίνει η εισαγωγή των πιο πάνω μετεωρολογικών δεδομένων.



Εικόνα 3.4: Αρχείο διαμορφωσης .CF, εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων



Εικόνα 3.5: Εισαγωγή θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας ανέμου ανά ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας

Πέρα από τα βασικά μετεωρολογικά δεδομένα υπάρχουν και άλλοι παραμέτροι που μπορούν να συμπληρωθούν. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την επεξεργασία του αρχείου διαμόρφωσης

(configuration file), όπου εισάγονται πληροφορίες για τη θέση της περιοχής, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα ανέμου, την υγρασία, παράμετροι για τον υπολογισμό δεικτών θερμικής άνεσης, καθώς και βάσεις δεδομένων για τύπους εδάφους και βλάστησης.

Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την έναρξη της προσομοίωσης είναι:

- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου στα 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
- Μήκος τραχύτητας (roughness length).
- Αρχική θερμοκρασία αέρα.
- Αρχική θερμοκρασία και υγρασία εδάφους.
- Σχετική υγρασία στα 2 m.

Κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης χρησιμοποιούνται τόσο ο υπολογισμός χαρακτηριστικών δυναμικών ροής, όσο και οι θερμοδυναμικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια του εδάφους, τους τοίχους, τις στέγες και τα φυτά. Το λογισμικό ENVI-met μπορεί να παράξει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Ροές ακτινοβολίας (μικρού και μεγάλου μήκους κύματος), λαμβάνοντας υπόψη τη σκίαση, την ανάκλαση και την εκπομπή ακτινοβολίας από συστήματα κτηρίων και από τη βλάστηση.
- Ροή αέρα, λαμβάνοντας υπόψη την αστική μορφολογία.
- Διαπνοή, εξάτμιση και ροή αισθητής θερμότητας από τη βλάστηση στον αέρα, συμπεριλαμβανομένης πλήρους προσομοίωσης των φυσικών παραμέτρων των φυτών (π.χ. ρυθμό φωτοσύνθεσης).
- Θερμοκρασία εδάφους, επιφανειών και τοίχων για κάθε σημείο του πλέγματος και κάθε τοίχο.
- Ανταλλαγή θερμότητας και νερού με το σύστημα του εδάφους.
- Δείκτες θερμικής άνεσης (αναμενόμενη μέση αποδοχή, φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία και κανονική ενεργός θερμοκρασία).

Ακολούθως όταν όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα εισαχθούν στο λογισμικό ξεκινά η προσομοίωση, η οποία ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων που έχει να αναλύσει μπορεί να πάρει αρκετό χρόνο.

### 4. Μελέτη Περίπτωσης: Πάρκο περιμετρικά του Δημοτικού Μεγάρου στη Πάφο

#### 4.1 Περιγραφή του χώρου και υφιστάμενη κατάσταση περιμετρικά του δημόσιου πάρκου

Το πάρκο βρίσκεται στο μέσο τριών κύριων οδών και περιβάλλεται κυρίως από κτίρια ιστορικού χαρακτήρα και τριών πλατειών με έκταση 25.000 τ.μ. Ο συγκεκριμένος χώρος βρίσκεται σε διαδικασία ανάπλασης στα πλαίσια της Πολιτιστικής Πρωτεύουσας. Στόχος του έργου είναι η ενοποίηση, ανάδειξη και προβολή του δημόσιου αστικού χώρου γύρω από το δημόσιο πάρκο της Πάφου, το οποίο θα δώσει ώθηση στην αναβίωση και επαναδραστηριοποίηση του ιστορικού κέντρου, που σήμερα παρουσιάζεται υποβαθμισμένο.

Οι χώροι που θα ενταχθούν στη μελέτη αυτή για την προσομοίωση του μοντέλου είναι οι εξής:

- Πλατείες 28<sup>ης</sup> Οκτωβρίου και Κωστή Παλαμά με τον ενδιάμεσο χώρο (οδοί Χρ. Γαλατόπουλου και Ι. Ιακωβίδη).
- Λεωφόρος Γρίβα Διγενή
- Πλατεία Διονύσιου Σολωμού
- Οδός 25<sup>ης</sup> Μαρτίου
- Οδοί Ιωάννη Αγρότη, Γράμμου
- Πλατεία Κένεντι και
- Συμβολή των οδών Παύλου Μελά, Αγίου Θεοδώρου και Φ. Αντωνιάδη με την πλατεία Κωστή Παλαμά.



Εικόνα 4.1: Περιοχή Μελέτης (Google Earth)

## 4.2 Περιοχή Έρευνας

### 4.2.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

Η Πάφος αποτελεί το σημαντικότερο αστικό κέντρο της δυτικής Κύπρου και για το λόγο αυτό λειτουργεί σαν το κέντρο της ανωτέρω περιοχής. Η Πάφος συγκεντρώνει ένα δυναμικό σύνολο δραστηριοτήτων, λειτουργιών και υπηρεσιών. Η δομή της περιοχής έχει επηρεαστεί σημαντικά από διάφορους παράγοντες όπως η ύπαρξη του αερολιμένα και το λιμάνι στην περιοχή της Κάτω Πάφου, επίσης σημαντική επίδραση στη δομή ανάπτυξης της πόλης είχε η διαχρονική εξέλιξη της και των περιχώρων της χωρίς πολεοδομικό σχέδιο με αποτέλεσμα οι δύο ενότητες Κάτω Πάφου και Άνω Πάφου να ενωθούν.

Οι παράγοντες στο σύνολο τους που είχαν άμεση επίδραση στη σταδιακή διαμόρφωση της δομής της πόλης είναι οι ακόλουθοι:

- α) Η διαμόρφωση ενός οδικού δικτύου που οδηγεί στην κεντρική εμπορική περιοχή της πόλης.
- β) Η συγκέντρωση των περισσότερων αστικών λειτουργιών και δραστηριοτήτων στην Κεντρική Εμπορική Περιοχή, είχε ως αποτέλεσμα την ανάμειξη ασυμβίβαστων χρήσεων γης και της κυκλοφοριακής φόρτισης ορισμένων δρόμων πέραν των δυνατοτήτων τους.
- γ) Η τουριστική ανάπτυξη κατά μήκος του παραλιακού μετώπου.

δ) Η μη οργανωμένη επέκταση της πόλης και των περιχώρων της, είχε ως αποτέλεσμα οι περιοχές αυτές να εξαπλωθούν κάθετα και οριζόντια χωρίς στοιχειώδη πολεοδομικό σχεδιασμό με αποτέλεσμα η ανάπτυξη αυτή να είναι διασκορπισμένη.

ε) Η κατασκευή του Διεθνούς Αερολιμένα.

Η δομή της Κεντρικής Εμπορικής Περιοχής χρειάζεται ουσιαστική αναδιάρθρωση, έτσι ώστε το αστικό συγκρότημα να ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις τις ζώης, στις νέες πραγματικότητες και στον πολυλειτουργικό ρόλο που πρέπει να διαδραματίζει. Θα πρέπει να υπάρξει μια αναδιάρθρωση που πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη τα υφιστάμενα χαρακτηριστικά και τις ιδιοτυπίες της περιοχής και ιδιαίτερα το γεγονός ότι η Πάφος αποτελεί Μνημείο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς λόγω της ιστορίας και της διαχρονικότητας ως πόλη.

Πιο κάτω παρουσιάζονται οι φωτογραφίες από την περιοχή μελέτης που έχει επιλεγεί στην παρούσα διατριβή.



Εικόνα 4.2: Λεωφόρος Γρίβα Διγενή



Εικόνα 4.3: Ο χώρος μπροστά από το Δημοτικό Μέγαρο που ενώνεται με την Λεωφόρο Γρίβα Διγενή και την Χριστοδούλου Παπαδοπούλου



Εικόνα 4.4: Λεωφόρος Γρίβα Διγενή



Εικόνα 4.5: Εντός του πάρκου πίσω από το Δημοτικό Μέγαρο



Εικόνα 4.6: Οδός 25<sup>ης</sup> Μαρτίου





Εικόνα 4.7: Οδοί Χριστοδούλου Γαλατοπούλου και Ιακ. Ιακωβίδη



Εικόνα 4.8: Μπροστά από το Δημοτικό Μέγαρο

#### 4.2.2 Προτάσεις για αναβάθμιση της περιοχής μελέτης

Η υφιστάμενη περιοχή μελέτης βρίσκεται υπό εξέλιξη λόγω των εργασιών που γίνονται για αναδιαμόρφωση του χώρου, εκτός από τα δέντρα που υπάρχουν κεντρικά του χώρου πίσω από το δημορχείο στο πάρκο, στα υπόλοιπα δέντρα περιμετρικά των οδών μεταξύ των κτιρίων έχει γίνει αυστηρό κλάδεμα για την πιο ομαλή εξέλιξη των εργασιών, με συνέπεια αυτό να έχει αυξήσει την θερμοκρασία του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η αναβάθμιση της περιοχής μελέτης βασίζεται στα εξής κριτήρια:

- Η ενοποίηση, ανάδειξη και προβολή του δημόσιου χώρου γύρω από τον δημόσιο κήπο και το δημορχείο της Πάφου, το οποίο θα δώσει ώθηση στην αναβίωση και επαναδραστηριοποίηση του χώρου, που σήμερα παρουσιάζεται υποβαθμισμένο.

- Βελτίωση μικροκλίματος περιοχής μέσω της δεντροφύτευσης νέων φυτών.
- Δημιουργία χώρου αναψυχής στο δημόσιο πάρκο.
- Ανάδειξη των ιστορικών στοιχείων της περιοχής.

Οι ανωτέρω προτάσεις έγιναν με βάση την υφιστάμενη κατάσταση και την στρατηγική βιοκλιματικού σχεδιασμού αστικού πρασίνου εντός της πόλης. Πιο αναλυτικότερα περιγράφονται πιο κάτω:

Η χρησιμοποίηση των κατάλληλων υλικών, ιδιαίτερα των ψυχρών υλικών και η χρήση της βλάστησης -δέντρων, θάμνων, φυτών- στη διαμόρφωση του χώρου καθώς και στις επιφάνειες των κτηρίων (δώματα και εξωτερικές τοιχοποιίες) συμβάλλει αφενός στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης του άμεσου περιβάλλοντος και αφετέρου στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος, που συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη των κτηρίων και στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων. Η συμβολή αυτή εξειδικεύεται στα κατωτέρω:

- . Στην προστασία των κτηρίων από τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα και κατά συνέπεια στον περιορισμό των απωλειών θερμότητας.
- . Στον απρόσκοπτο ηλιασμό του υπαίθριου χώρου και των κτηρίων το χειμώνα για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση.
- . Στη μείωση της θερμοκρασίας του υπαίθριου χώρου το καλοκαίρι, και κατ' επέκταση στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για το δροσισμό των κτηρίων, όπως αναπτύχθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.
- . Στο σκιασμό των κτηρίων το καλοκαίρι.

Ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι δύο σημαντικότεροι φυσικοί παράγοντες που αντιμετωπίζονται με τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου, τα φυτά και τον αστικό εξοπλισμό. Η κατάλληλη γεωμετρική τοποθέτηση της βλάστησης και των δομικών στοιχείων στους ανοιχτούς χώρους δημιουργεί συνθήκες σκίασης τη θερινή περίοδο και ηλιασμού τη χειμερινή περίοδο, με παράλληλη διοχέτευση ή χειραγώγηση των ανέμων.

Ειδικότερα, ο σχεδιασμός της φύτευσης με δέντρα ή θάμνους ή χαμηλή βλάστηση στους υπαίθριους χώρους λειτουργεί αποτελεσματικά σε σχέση με τα κτήρια στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- . ως ανεμοφράκτης για το χειμώνα, προστατεύοντας τα κτήρια,
- . ως στοιχείο ελέγχου της ανεμορροής, κατευθύνοντας το δροσερό άνεμο το καλοκαίρι,
- . ως στοιχείο σκιασμού από την ηλιακή ακτινοβολία των ανοικτών χώρων και των κτηρίων,

- ως πηγή δροσισμού το καλοκαίρι, παρέχοντας δροσιά μέσω της εξατμισοδιαπνοής,
- ως ρυθμιστής της θερμικής άνεσης, με τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας,
- ως φίλτρο του φυσικού φωτός όλο το χρόνο,
- ως φίλτρο της σκόνης και των μικροσωματιδίων.

Επίσης:

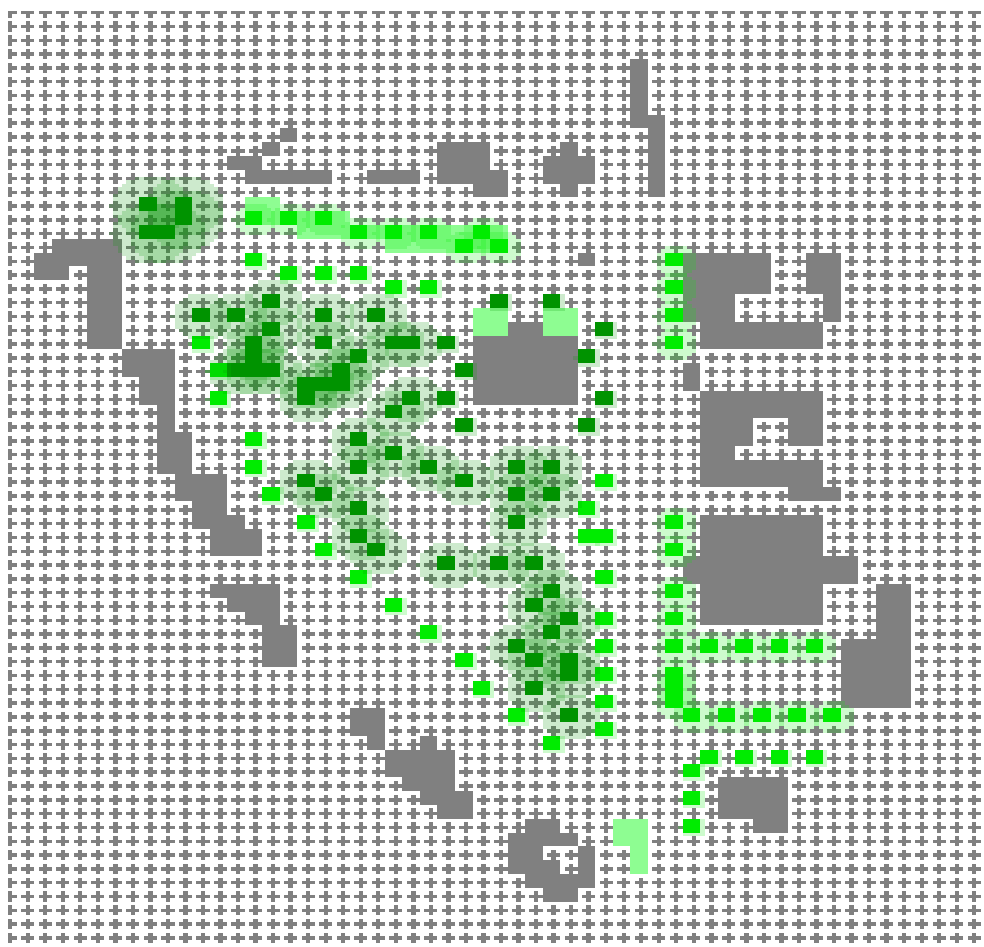
- προστατεύει από τη διάβρωση,
- μειώνει το θόρυβο από τον περιβάλλοντα χώρο,
- βελτιώνει την ποιότητα του αέρα και μειώνει τη μόλυνση της ατμόσφαιρας,
- μειώνει την οπτική όχληση και δημιουργεί ιδιωτικότητα.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή της κατάλληλης φύτευσης. Δηλαδή για την προστασία των υπαίθριων χώρων και των κτηρίων από τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα επιλέγονται δέντρα ή φυτά αειθαλή. Αντίθετα, για τη διευκόλυνση του ηλιασμού των υπαίθριων χώρων το χειμώνα επιλέγονται δέντρα και φυτά φυλλοβόλα.

Το είδος του φυτού (θάμνοι, δένδρα, αναρριχόμενα, κλπ), το μέγεθος και το σχήμα του φυτού, όταν αυτό είναι πλήρως αναπτυγμένο, η αναλογία μεταξύ κορμού και κόμης, η πυκνότητα του φυλλώματος, η ταχύτητα της ανάπτυξης, η δυνατότητα διατήρησης ή όχι του φυλλώματος όλες τις εποχές (αειθαλή, φυλλοβόλα), ο χρόνος έναρξης ανάπτυξης του φυλλώματος, είναι μερικοί από τους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε σχέση και με τον κύριο σκοπό της φύτευσης, για την επιλογή των πλέον κατάλληλων φυτικών ειδών. Η ποιότητα του εδάφους και οι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την ανάπτυξη και διατήρηση της φύτευσης (ανάγκες σε νερό, ευκολία συντήρησης κοκ) πρέπει επίσης να αξιολογούνται. Πάντως τα τοπικά φυτικά είδη που ευδοκούν στην περιοχή θα πρέπει να είναι η βάση για την οποιαδήποτε επιλογή.

### 4.2.3 Προσομοίωση πρότασης περιοχής μελέτης

Η προτεινόμενη παρέμβαση παρουσιάζεται πιο κάτω όπως έχει σχεδιαστεί στο Spaces, οι διαφορετικές αποχρώσεις του πράσινου συμβολίζουν τα διαφορετικά είδη δέντρων, θάμνων και χλοοτάπητα. Κατά μήκος των οδών προτείνεται η φύτευση δέντρων ανά 5-6 μέτρα, ενώ εντός του πάρκου θα φυτευτούν νέα θαμνοειδή και εδαφοκαλυπτικά φυτά. Επιπλέον μπροστά από το δημαρχείο, απέναντι κατά μήκος της οδού και στην πλατεία πίσω προτείνεται τοποθέτηση χλοοτάπητα, τα οποία θα δούμε πιο αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο. Το κύριο αρχείο .CF έχει παραμείνει το ίδιο για λόγους σύγκρισης μετά την τοποθέτηση της δεντροφύτευσης.

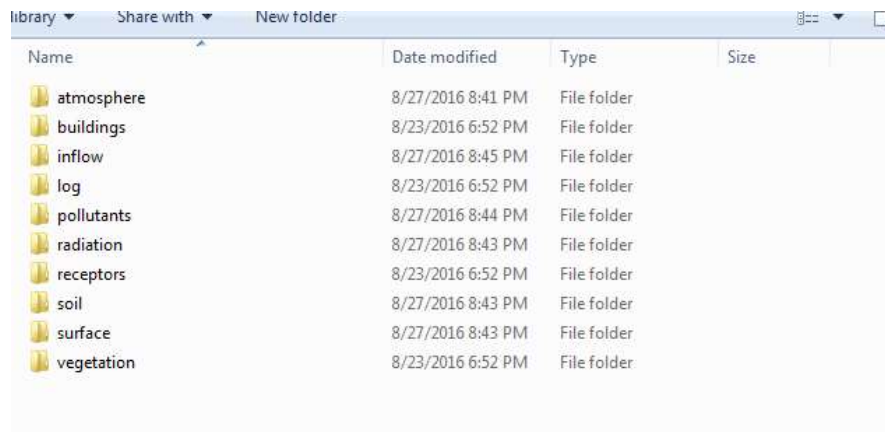


Εικόνα 4.9: Προτεινόμενη Παρέμβαση

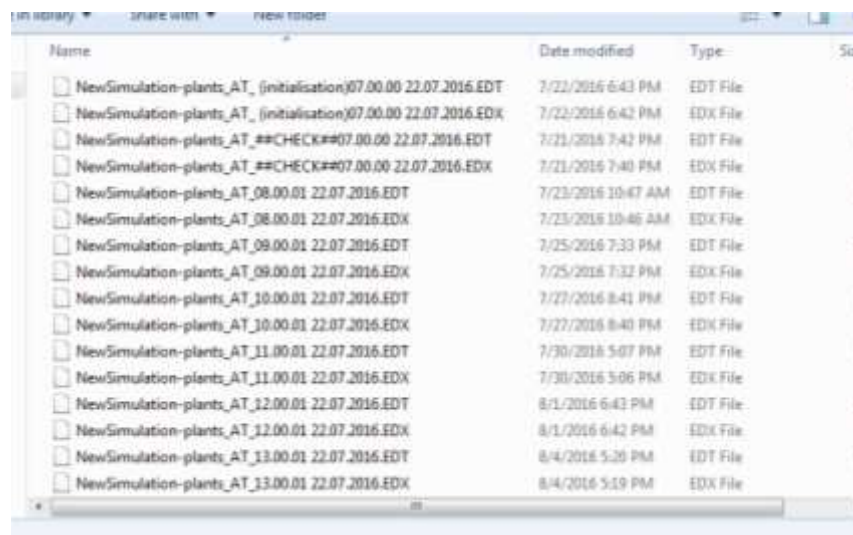
### 4.2.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων του Envi-met

Εφόσον γίνει η ολοκλήρωση της προσομοίωσης, δημιουργούνται διάφορα αρχεία EDT και EDX, όπως φαίνονται στις εικόνες 4.10 και 4.11. Αυτά τα αρχεία εισάγονται στο λογισμικό Leonardo, είναι η περιοχή μοντελοποίησης, όπου επιπλέον παράμετροι είναι παρόντες και η διαδικασία μοντελοποίησης λαμβάνει χώρα. Τα δεδομένα εξόδου μπορούν να ερμηνευθούν και οπτικοποιούνται στο LEONARDO.

Είναι επίσης δυνατή η επεξεργασία των δεδομένων σε άλλα προγράμματα, δεδομένου ότι η δομή του προγράμματος είναι δημόσια.



Εικόνα 4.10: Δημιουργία φακέλων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης

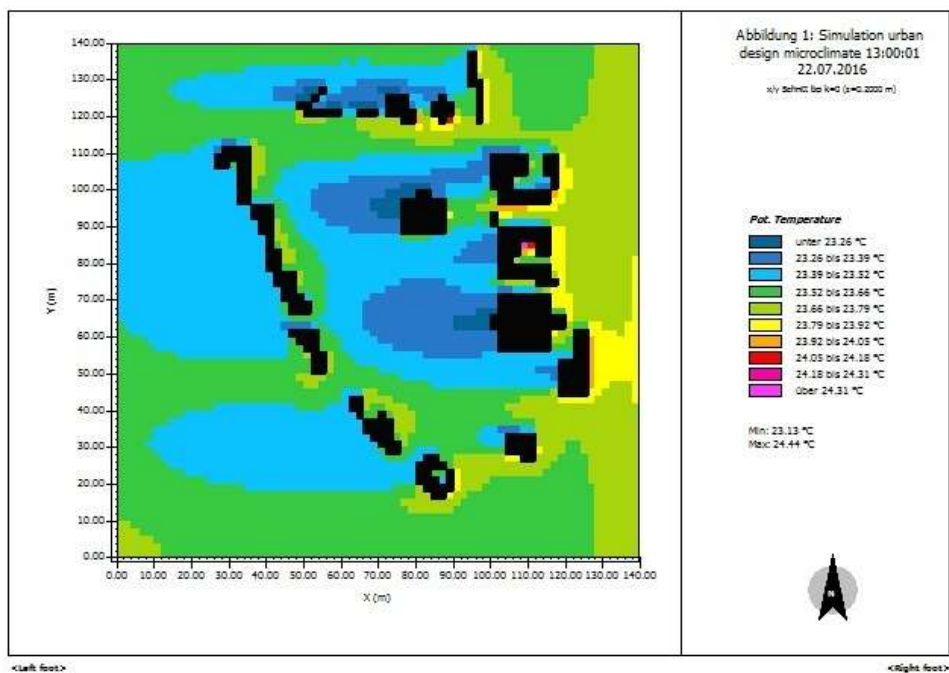


Εικόνα 11: Ο κάθε φάκελος περιέχει τα αρχεία .EDX και .EDT, τα οποία όπως απεικονίζονται και πιο πάνω προσομοιώνουν για κάθε ώρα ξεχωριστά για την συγκεκριμένη μέρα που έχει επιλεγεί.

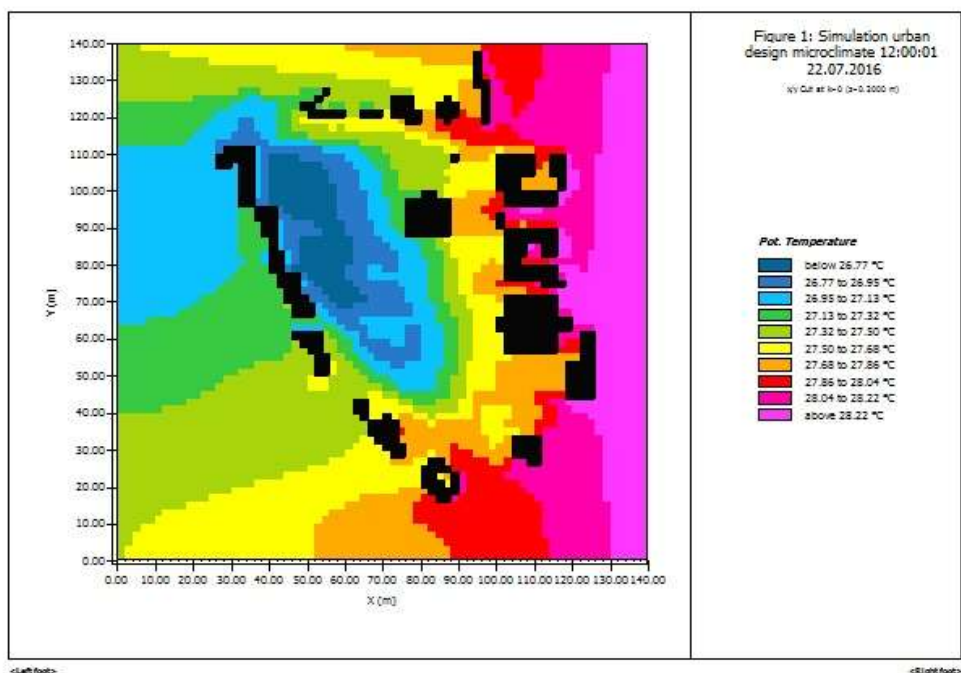
#### 4.2.4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υφιστάμενης κατάστασης και της προτεινόμενης μετά την οπτικοποίηση τους στο LEONARDO:

- Θερμοκρασία: Παρουσιάζεται η θερμοκρασία του χώρου περιοχής μελέτης της υφιστάμενης και προτεινόμενης καταστάσης, η ώρα 12:00 το μεσημέρι .

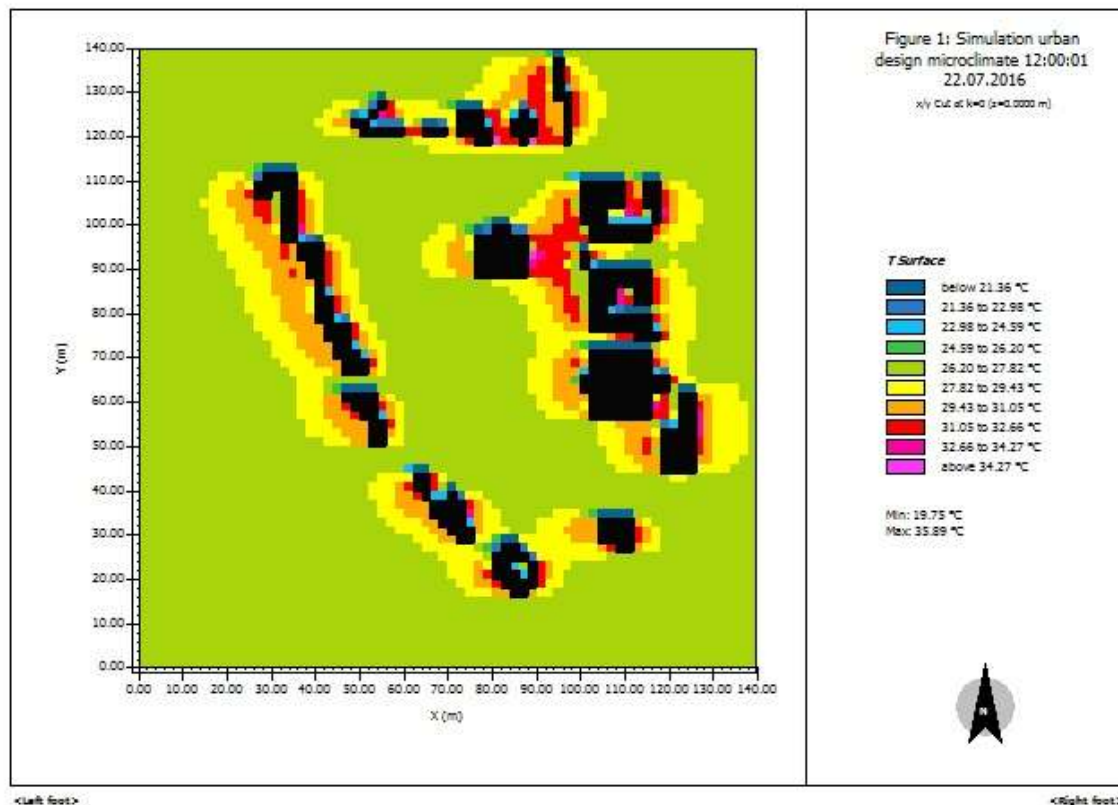


Εικόνα 4.12: Η θερμοκρασία της περιοχής μελέτης για την υφιστάμενη κατάσταση (Leonardo)

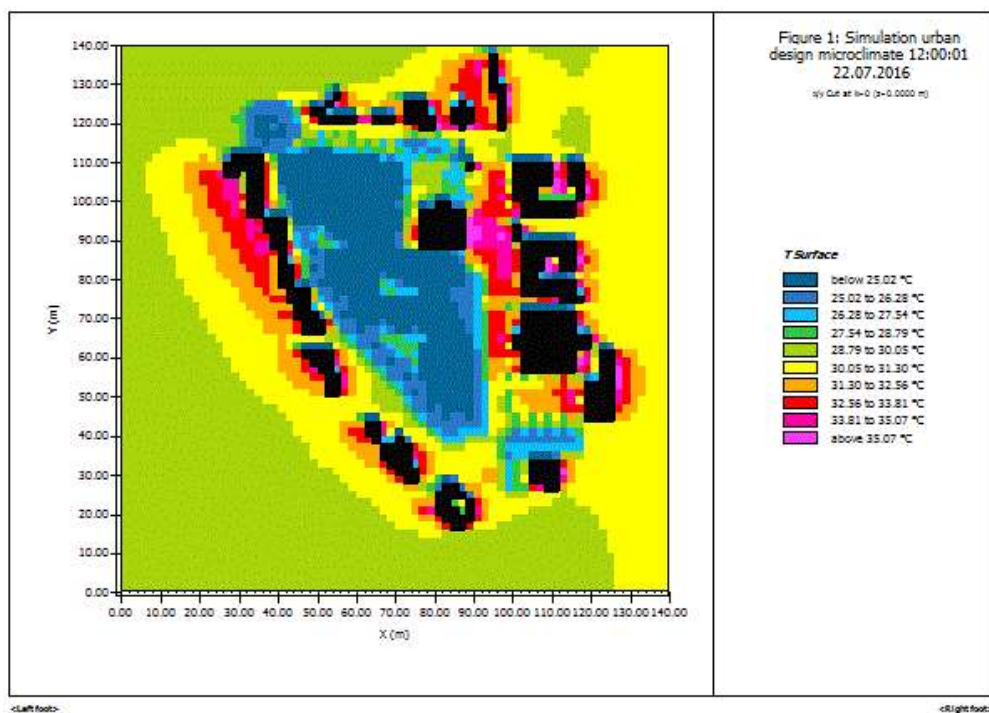


Εικόνα 4.13: Η θερμοκρασία της περιοχής μελέτης για την προτεινόμενη κατάσταση (Leonardo)

- Θερμοκρασία Επιφάνειας: Παρουσιάζεται η θερμοκρασία επιφάνειας του χώρου περιοχής μελέτης κατά τις ώρες 12:00.

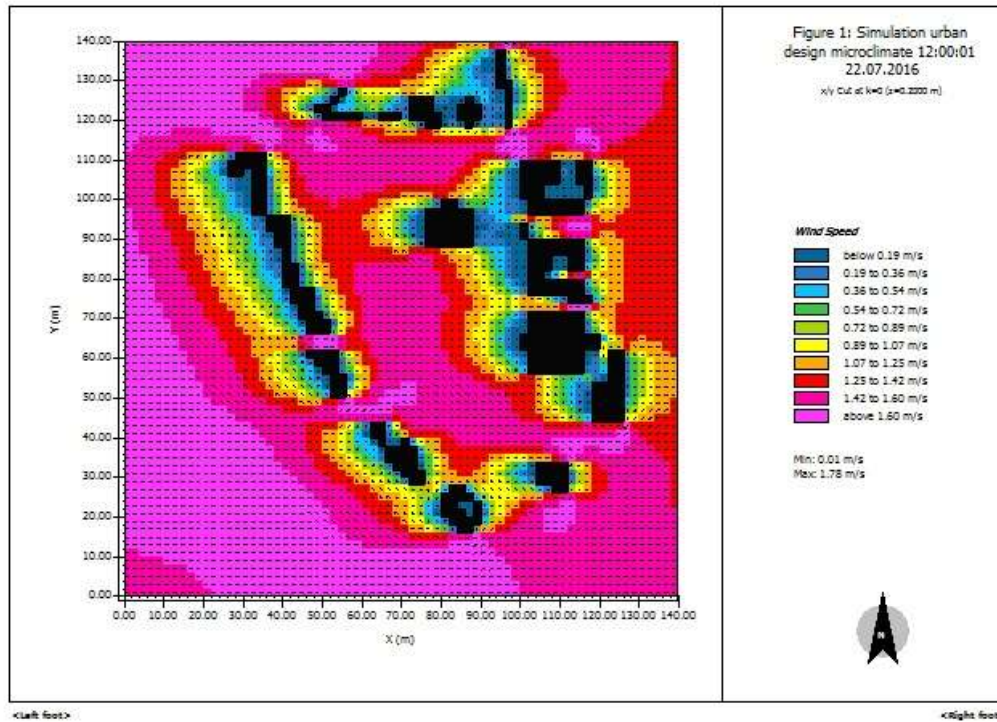


Εικόνα 4.14: Κατανομή Θερμοκρασία επιφάνειας κατά τη θερμότερη μέρα της υφιστάμενης κατάστασης

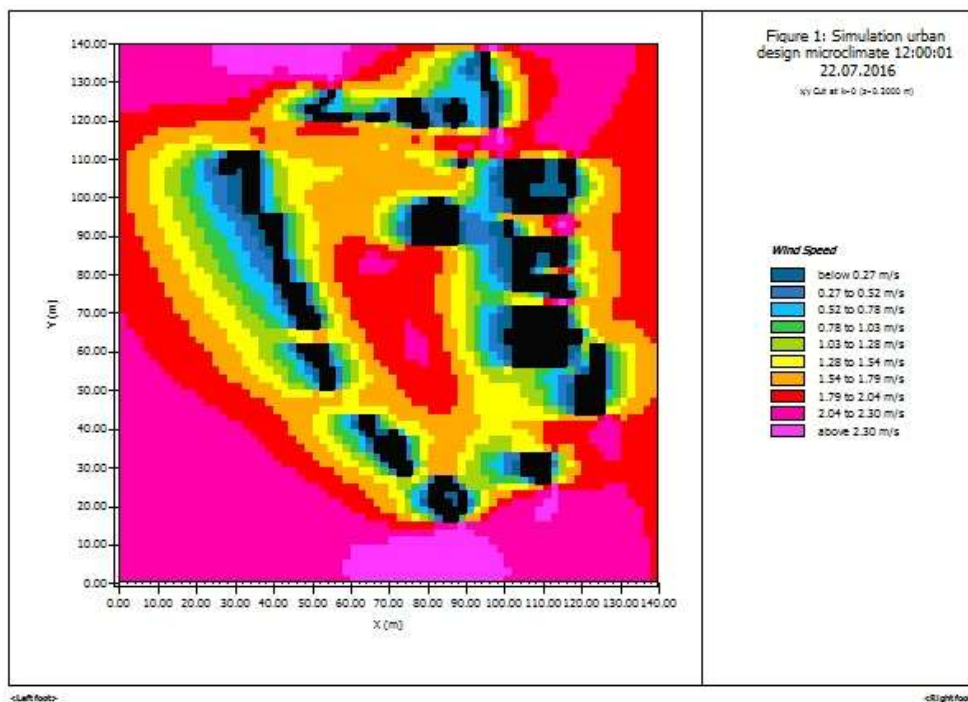


Εικόνα 4.15: Κατανομή Θερμοκρασία επιφάνειας κατά τη θερμότερη μέρα της προτεινόμενης κατάστασης

- Ταχύτητα ανέμου: Παρουσιάζεται η ταχύτητα ανέμου του χώρου περιοχής μελέτης η ώρα 12:00 .



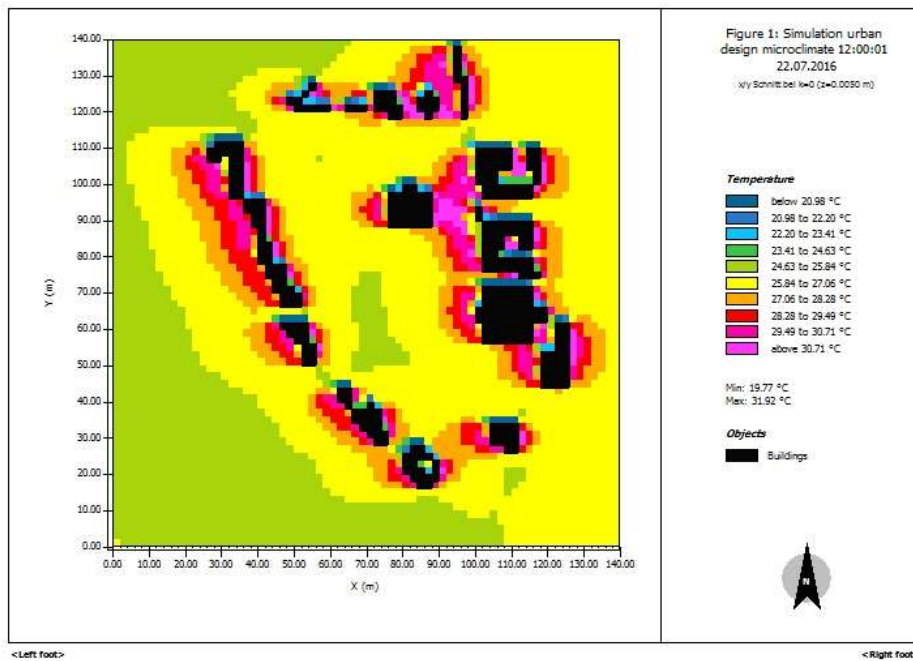
Εικόνα 4.16: Κατανομή ταχύτητας ανέμου η ώρα 12:00 κατά τη θερμότερη μέρα της υφιστάμενης κατάστασης



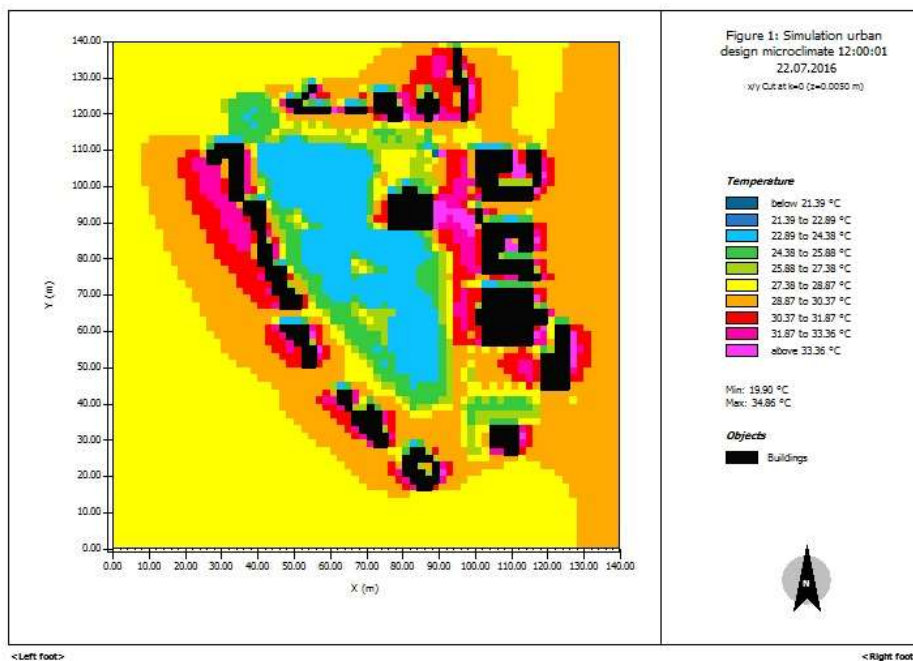
Εικόνα 4.17: Κατανομή ταχύτητας ανέμου η ώρα 12:00 κατά τη θερμότερη μέρα της προτεινόμενης κατάστασης



- Θερμοκρασία Εδάφους: Παρουσιάζεται η θερμοκρασία εδάφους του χώρου περιοχής μελέτης κατά τις ώρες 12:00 .



Εικόνα 4.18: Κατανομή θερμοκρασίας εδάφους του χώρου περιοχής μελέτης της υφιστάμενης καταστάσης κατά τις ώρες 12:00 .



Εικόνα 4.19: Κατανομή θερμοκρασίας εδάφους του χώρου περιοχής μελέτης της υφιστάμενης καταστάσης κατά τις ώρες 12:00 .

## 4.3 Αποτελέσματα

Μετά την εφαρμογή του λογισμικού προγράμματος ENVI-MET v.4 και την οπτικοποίηση τους στην εφαρμογή LEONARDO, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση όσο και για την προτεινόμενη μέσα από την πρόταση εφαρμογής του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Έχει επιλεγθεί η ώρα 12.00 το μεσημέρι για να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων όπου είναι η πιο θερμή ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα για την υφιστάμενη κατάσταση προέκυψαν τα ακόλουθα:

- Η κατανομή θερμοκρασίας του αέρα στην υφιστάμενη κατάσταση χωρίς την βλάστηση είναι και μέχρι και 3° C ψηλότερη σε σχέση με την προτεινόμενη τοποθέτηση της βλάστησης. Βλέπουμε από τις διαβαθμίσεις των χρωμάτων ότι η θερμοκρασία μειώνεται αισθητά και εντός του πάρκου αλλά και γύρω από τα κτίρια.
- Η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους όπου καλύπτεται με βλάστηση είναι σαφώς πιο χαμηλή και αυτό παρουσιάζεται με τις διαβαθμίσεις του χρώματος μπλέ. Επιπλέον ο δείκτης θερμικής άνεσης μεγιστοποιείται κατά τις πρωινές ώρες, ενώ μειώνεται τις μεσημβρινές ώρες.
- Η κατανομή ροής του ανέμου στην υφιστάμενη κατάσταση γύρω από τη κτίρια είναι χαμηλότερη λόγω της πυκνής δόμησης το οποίο και αλλάζει την ροή του, αλλά στον υπόλοιπο χώρο είναι μεγαλύτερη η ροή. Στην προτεινόμενη κατάσταση μειώνεται και εντός του πάρκου λόγω της τοποθέτησης της βλάστησης.

### 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή διερεύνησε τη συμβολή του περιβαλλοντικού σχεδιασμού στο αστικό μικροκλίμα και συγκεκριμένα τους χώρους πρασίνου σε μία πόλη, για το σκοπό αυτό έχει επιλεγθεί ο χώρος πρασίνου περιμετρικά του δημαρχείου στην πόλη της Πάφου. Στόχος ήταν η εξέταση των επιπτώσεων των αστικών χώρων πρασίνου όσον αφορά το μικροκλίμα και τον περιβάλλοντα χώρο και την εφαρμογή βιώσιμων μεθόδων σε αυτούς τους χώρους.

Σύμφωνα με τα ευρήματα που προέκυψαν μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη μεθοδολογική προσέγγιση μέσα από το λογισμικό Envi-met, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα από την εφαρμογή του περιβαλλοντικού σχεδιασμού στο αστικό μικροκλίμα στους χώρους πρασίνου στην πόλη.

Μέσα από την έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί ότι ο περιβαλλοντικός αστικός σχεδιασμός είναι πολύ σημαντικός για το μικροκλίμα της πόλης καθώς μέσα από αυτό επιτυγχάνεται η βιοκλιματική αναβάθμιση του εξωτερικού χώρου και η βελτίωση της κλιματικής ποιότητας στο χώρο αυτό, εξοικονομώντας παράλληλα ενέργεια στα γειτονικά της περιοχής παρέμβασης κτήρια. Σύμφωνα με παρόμοιες έρευνες που έχουν γίνει στο εξωτερικό η εφαρμογή αειφόρων μεθόδων και στρατηγικών έχει αποδείξει ότι η συμβολή τους στο αστικό περιβάλλον, επιδρά θετικά σε όλους τους τομείς όσον αφορά στο περιβάλλον, στον κοινωνικό τομέα αλλά και στον οικονομικό.

Όσον αφορά τη παρούσα διατριβή η έρευνα που πραγματοποιήθηκε μόνο θετικά αποτελέσματα θα μπορούσε να αποφέρει στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, εφόσον βρίσκεται σε διαδικασία ανάπτυξης τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην πράξη ούτως ώστε να επωφεληθεί η τοπική κοινωνία αλλά και να συμβαδίζει με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα.

#### 5.1 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έχουν παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, φαίνεται ότι με την τροποποίηση της φυτοκάλυψης και των κλιματικών παραγόντων στη μοντελοποίηση, οι προσομοιώσεις μας δείχνουν τρόπους με τους οποίους μπορούν να βελτιωθούν οι θερμικές συνθήκες των πόλεων. Φαίνεται από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, ότι η θερμοκρασία του αέρα, του εδάφους και των επιφανειών όταν δεν υπάρχει βλάστηση αλλάζει σημαντικά μετά την

εφαρμογή φυτών στο χώρο και οι διαφορές μεταξύ αυτών επηρεάζουν σημαντικά στη βελτίωση του κλίματος στην πόλη.

Η ύπαρξη αυτού του αποτελέσματος ακολουθείται από αρκετές παραμέτρους που επηρεάζουν άμεσα το αστικό μικροκλίμα: Η ταχύτητα του ανέμου στην προτεινόμενη κατάσταση είναι μικρότερη από εκείνη της υφιστάμενης κατάστασης, ο λόγος είναι ότι τα δέντρα μειώνουν την ταχύτητα του ανέμου και αλλάζουν την ροή του.

Τα δέντρα εμφανίζουν μεγάλη διαπνοή των φύλλων και παρέχουν σκιά για την προστασία από την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Η προσπίπτουσα ηλιακή ροή που μεταδίδεται στην άδεια κατάσταση είναι πολύ υψηλή σε σύγκριση με τη προτεινόμενη κατάσταση. Στην υφιστάμενη κατάσταση (χωρίς βλάστηση) η ηλιακή ροή που μεταδίδεται μπορεί να υπερβαίνει τα  $800 \text{ W / m}^2$  σε σύγκριση με την προτεινόμενη κατάσταση η ώρα 12.00 το μεσημέρι.

Τα αστικά πάρκα κατά την διάρκεια της ημέρας είναι πολύ πιο δροσερά από την υπόλοιπη πόλη. Η βλάστηση είναι ένα βασικό συστατικό της ποιότητας των εξωτερικών χώρων, καθώς η παρουσία της βλάστησης βοηθά την ψύξη του αέρα. Με τις λίγες λίμνες στην πόλη, οι χώροι πρασίνου είναι η μόνη επιφάνεια εξάτμισης στην πόλη.

## 5.2 Περιορισμοί Μελέτης

Οι δυσκολίες και οι περιορισμοί που έχουν παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν οι ελάχιστες πληροφορίες και εργασίες στο διαδίκτυο τα οποία βασίζονταν στο λογισμικό Envi-met v.4. Επιπλέον η καινούρια έκδοση του λογισμικού είναι ακόμη υπό εξέλιξη και παρουσιάζει σφάλματα κατά τη διαδικασία προσομοίωσης και αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και μέσα από την κύρια σελίδα του λογισμικού. Επίσης δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η προηγούμενη έκδοση λόγω του ότι αποσύρεται από το διαδίκτυο αφού έχει βγεί η νεότερη.

## 5.3 Προτάσεις

Ως προτάσεις για μελλοντική έρευνα παρουσιάζονται τα πιο κάτω:

- Το πάρκο εντός του Δημοτικού Μεγάρου να αναβαθμιστεί και να εξοπλιστεί με αστικό εξοπλισμό καθώς και με νέα δέντρα, ώστε να αποτελέσει χώρο αναψυχής για τους κατοίκους της γύρω περιοχής.

- Οι δρόμοι περιμετρικά του πάρκου να επιστρωθούν με υλικά τα οποία αντανακλούν το φως ώστε να μειώνεται η θερμοκρασία του εδάφους όπως ξύλινα καταστρώματα ή ανοιχτόχρωμα μάρμαρα.
- Στις λίνιες των δρόμων και στη μεσαία λωρίδα θα μπορούσαν να τοποθετηθούν εδαφοκαλυπτικά φυτά και χλοοτάπητας.
- Ο φωτισμός του χώρου θα μπορούσε να γίνει με φωτοβολταικά συστήματα για εξοικονόμηση ενέργειας.
- Επιπλέον το πιο πάνω λογισμικό όπου και βασίστηκε η μεταπτυχιακή διατριβή θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για το βιοκλιματικό σχεδιασμό του χώρου.
- Τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων για σκίαση το καλοκαίρι και καλύτερο ηλιασμό τον χειμώνα. Καθώς και μείωση των ανέμων εντός της περιοχής.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akbari, H., Pomerantz, M. and Taha, H., 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70(3), pp.295-310.
- Asaeda, T., Ca, V.T. and Wake, A., 1996. Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric environment*, 30(3), pp.413-427.
- Bruse, M., 2004. ENVI-met 3.0: updated model overview. *University of Bochum*. Retrieved from: [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com).
- Boukhabl, M. and Alkam, D., 2012. Impact of vegetation on thermal conditions outside, Thermal modeling of urban microclimate, Case study: the street of the republic, Biskra. *Energy Procedia*, 18, pp.73-84.
- Biesbroek, G.R., Swart, R.J., Carter, T.R., Cowan, C., Henrichs, T., Mela, H., Morecroft, M.D. and Rey, D., 2010. Europe adapts to climate change: comparing national adaptation strategies. *Global environmental change*, 20(3), pp.440-450.
- Bernatzky, A., 1982. The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, 5(1), pp.1-10.
- Carter, J.G., 2011. Climate change adaptation in European cities. *Current opinion in environmental sustainability*, 3(3), pp.193-198.
- Chiesura, A., 2004. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and urban planning*, 68(1), pp.129-138.
- Chatzidimitriou, A. and Yannas, S., 2016. Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer. *Sustainable Cities and Society*, 26, pp.27-47.
- Dimoudi, A. and Nikolopoulou, M., 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings*, 35(1), pp.69-76.
- Fernández Áñez, M.V., Urrutia del Campo, N., Hernández Aja, A., Fariña Tojo, J. and Gálvez Huerta, M.Á., 2014. Bio-climatic Design Handbook: designing public space to reach urban sustainability.
- Georgi, J.N. and Dimitriou, D., 2010. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*, 45(6), pp.1401-1414.
- Georgi, N.J. and Sarikou, S., 2006. Unification and Planning of Urban Public Spaces with Bioclimatic Conditions. Case Study Drama, Greece.
- Gulyás, Á., Unger, J. and Matzarakis, A., 2006. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Building and Environment*, 41(12), pp.1713-1722.

- Gómez, F., Tamarit, N. and Jabaloyes, J., 2001. Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 55(3), pp.151-161.
- Georgi, J.N. and Dimitriou, D., 2010. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*, 45(6), pp.1401-1414.
- Givoni, B., 1994. Building design principles for hot humid regions. *Renewable Energy*, 5(5), pp.908-916.
- Harlan, S.L. and Ruddell, D.M., 2011. Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), pp.126-134.
- Huttner, S., Bruse, M. and Dostal, P., 2008, October. Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology* (Vol. 18, pp. 307-312).
- Huttner, S., Bruse, M. and Dostal, P., 2008, October. Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology* (Vol. 18, pp. 307-312).
- Harvey, M.J., Fisher, G.W., Lechner, I.S., Isaac, P., Flower, N.E. and Dick, A.L., 1991. Summertime aerosol measurements in the Ross Sea region of Antarctica. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 25(3-4), pp.569-580.
- Jesionek, K. and Bruse, M., 2003, September. Impacts of vegetation on the microclimate: modeling standardized building structures with different greening levels. In *ICUC5, Fifth international conference on urban climate*.
- Jim, C.Y., 2004. Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities. *Cities*, 21(4), pp.311-320.
- Juhola, S. and Westerhoff, L., 2011. Challenges of adaptation to climate change across multiple scales: a case study of network governance in two European countries. *Environmental science & policy*, 14(3), pp.239-247.
- Jordan, M.I. and Jacobs, R.A., 1994. Hierarchical mixtures of experts and the EM algorithm. *Neural computation*, 6(2), pp.181-214.
- Lahme, E. and Bruse, M., 2003. Microclimatic effects of a small urban park in densely built-up areas: measurements and model simulations. *ICUC5, Lodz*, pp.1-5.
- Laukkonen, J., Blanco, P.K., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B. and Kinuthia-Njenga, C., 2009. Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International*, 33(3), pp.287-292.
- McPherson, E.G., Simpson, J.R., Peper, P.J. and Xiao, Q., 1999. Tree guidelines for San Joaquin valley communities. *Sacramento, CA: Local Government Commission*, 63.

- Maleki, A. and Mahdavi, A., 2016. Evaluation of urban heat islands mitigation strategies using 3dimensional urban micro-climate model Envi-met. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 17(3), pp.357-371.
- Ozkeresteci, I., Crewe, K., Brazel, A.J. and Bruse, M., 2003, August. Use and evaluation of the ENVI-met model for environmental design and planning: an experiment on linear parks. In *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC), Durban, South Africa* (pp. 10-16).
- Oliveira, S., Andrade, H. and Vaz, T., 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46(11), pp.2186-2194.
- Roy, M., 2009. Planning for sustainable urbanisation in fast growing cities: Mitigation and adaptation issues addressed in Dhaka, Bangladesh. *Habitat International*, 33(3), pp.276-286.
- Stavrakakis, G.M., Tzanaki, E., Genetzaki, V.I., Anagnostakis, G., Galetakis, G. and Grigorakis, E., 2012. A computational methodology for effective bioclimatic-design applications in the urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 4, pp.41-57.
- Spangenberg, J., Shinzato, P., Johansson, E. and Duarte, D., 2008. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 3, pp.1-19.
- Thompson, C.W., 2002. Urban open space in the 21st century. *Landscape and urban planning*, 60(2), pp.59-72.
- Wu, R.S.S., 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Marine pollution bulletin*, 31(4), pp.159-166.
- Yannas, S., et al «Roof Cooling Techniques, A Design Handbook», Earthscan, Sterling, 2006.
- The European environment state and outlook, European briefings, Urban systems, SOER 2015
- Αθ.Νικολαΐδης, 2012. Σύγχρονη προσέγγιση ασφαλικών μιγμάτων για αντιολιθθηρές στρώσεις-εφαρμογές ασφαλικού σκυροδέματος για πολύ λεπτές επιφανειακές στρώσεις, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας.
- Ανδρεαδάκη-Χρονάκη, Ε., Σύνταξη - επιμέλεια "Φυσικός Δροσισμός στα Ξενοδοχεία-Κυκλάδες". Έκδοση του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Πρόγραμμα SAVE, 17η Γενική Διεύθυνση για την ενέργεια.
- Βλαστός, Θ., Μπιρμπίλη, Τ. «Φτιάχνοντας Πόλεις για Ποδήλατο. Στοιχεία Αισθητικής και Κατασκευής». Ε.Ε. ΓΔ Περιβάλλοντος, Αναπτυξιακή Εταιρεία Δήμου Αθηναίων, Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας, Mbike, 2001.
- Ευημερία εντός των ορίων του πλανήτη μας, 7<sup>ο</sup> ΠΔΠ – το γενικό Ενωσιακό Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον έως το 2020, Ευρωπαϊκή Επιτροπή



Κατσιμίγας, Κ. 2005. Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων και περιβάλλοντα χώρου. Βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού των περιβάλλοντων κτιρίων, Ιδιωτικού και Δημόσιου χώρου.

Αλεξανδρή Ε., Αξαρχή Κ., Γραψάς Κ., Δημούδη Α., Λαμπροπούλου Ε., Χρονάκη Ε., ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ, Α΄ Έκδοση, Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010, Ιανουάριος 2011.

Κων/νος Α. Σπανός, Ο σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου δικτύου αστικού και περιαστικού πράσινου.

Ευρωπαϊκή Ένωση, 2011. Πρόγραμμα Βιοκλιματικών Αναβαθμίσεων Δημόσιων Ανοικτών Χώρων, Οδηγός Μελετών.

Τοπικό Σχέδιο Πάφου, 2011. Πρόνοιες και Μέτρα Πολιτικής, Υπουργείο Εσωτερικών, Πολεοδομίας και Οικήσεως.

ATLANTIS Consulting Cyprus Ltd , A.L.A Planning Partenrship, 2011. Παροχή Υπηρεσιών για την εκπόνηση Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) του υπό τροποποίηση Τοπικού Σχεδίου Πάφου, Τελική Έκθεση.

Νανόπουλος, Χ., 2009. Οικονομική ανάλυση του συστήματος διαχείρισης των αστικών στέρεων αποβλήτων του Δήμου Σερρών.

ΥΠΕΧΩΔΕ «Προσωρινές Εθνικές Προδιαγραφές – ΠΙΕΤΕΠ 03-11-20-00 Εφαρμογές ψυχρών υλικών (cool materials)», Έκδοση 3, Αθήνα, 2010.