



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας &
Εφαρμοσμένων Οικονομικών
Τμήμα Γεωγραφίας

**Οργάνωση, Οπτικοποίηση και Ανάλυση
3D Γεωχωρικών Δεδομένων για την μοντελοποίηση
αστικού μικροκλίματος**

Πτυχιακή εργασία

Χατζηνικολάου Ευσταθία



Αθήνα. Φεβρουάριος, 2017



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας &
Εφαρμοσμένων Οικονομικών
Τμήμα Γεωγραφίας

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Χαλκιάς Χρήστος

Αναπληρωτής Καθηγητής Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και
Εφαρμοσμένης Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο

Καλογήρου Σταμάτης

Επίκουρος Καθηγητής Εφαρμοσμένης Χωρικής Ανάλυσης, Τμήμα
Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Παρχαρίδης Ισαάκ

Αναπληρωτής Καθηγητής Τηλεπισκόπησης,
Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

*“Ποια η χρησιμότητα ενός κτιρίου εάν δεν
υπάρχει ένας καθώς πρέπει πλανήτης
να το τοποθετήσεις;”*

Hendry David Thoreau

© Copyright –All rights reserved
Ευσταθία Χατζηνικολάου, Φεβρουάριος 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Δηλώνεται υπεύθυνα ότι, είμαι κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας, όπου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και μόνο.

Αποδέχομαι επίσης, ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας αυτής, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Ευχαριστίες

Η πτυχιακή αυτή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου και αποτελεί αποτέλεσμα σύνθεσης γνώσεων που αποκτήθηκαν κατά την διάρκεια φοίτησης στο τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή κ. Χαλκιά Χρίστο για την πολύτιμη καθοδήγηση και ενθάρρυνση κατά την διάρκεια της συνεργασίας μας, με σκοπό την επίτευξη του βέλτιστου δυνατού αποτελέσματος στη προσέγγιση και διεκπεραίωση του θέματος αυτού.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής και καθηγητές του τμήματος, τον κ. Καλογήρου Σταμάτη και τον κ. Παρχαρίδη Ισαάκ, για την εκπαιδευτική παρότρυνση στο κομμάτι της Εφαρμοσμένης Γεωγραφίας και τη κατεύθυνση της Γεωπληροφορικής. Καθώς, επίσης και του υπόλοιπους καθηγητές του τμήματος για την μετάδοση του γεωγραφικού τρόπου σκέψης. Ενώ, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα και τον κ. Κατσαφάδο Πέτρο, για τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, που πρόθυμα μου διέθεσε.

Ευχαριστίες οφείλονται επίσης, στην εταιρεία Inforest Research O.C για την συνεργασία, κατά την διεκπεραίωση της πρακτικής μου άσκησης και την συμβουλή της σε θέματα τεχνικής φύσεως. Ενώ αντίστοιχα ευχαριστίες αποδίδονται στο Οργανισμό Εθνικού Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Α.Ε. και στη Ελληνική Στατιστική Αρχή για την διανομή χαρτογραφικού υλικού, που βάσει αυτού έγινε η ανάπτυξη της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους κοντινούς μου ανθρώπους, που με την υποστήριξη και αγάπη τους, με κάνουν να πραγματοποιώ στόχους και όνειρα.

Ε. Χατζηνικολάου.
Φεβρουάριος, 2017

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	1
Abstract	2
Κατάλογος Εικόνων	3
Κατάλογος Πινάκων.....	7
Συντομογραφίες	8
Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 1 Κλιματική Αλλαγή στο αστικό περιβάλλον	11
1.1 Το φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής.....	11
1.2 Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα.....	13
1.3 Κλιματικές τάσεις στην Αθήνα.....	15
1.4 Προβλήματα στο αστικό μικροκλίμα της Αθήνας	17
1.4.1 Φαινόμενο της Αστικοποίησης.....	17
1.4.2 Φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας	18
1.4.3 Ελλειψη Πρασίνου	20
1.5 Κλιματική Αλλαγή στο δομημένο περιβάλλον	21
1.6 Προσαρμογή κτιριακού τομέα στην κλιματική αλλαγή	23
Κεφάλαιο 2 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Αστικό πράσινο	25
2.1 Αειφόρος Ανάπτυξη – ανάγκη για βιωσιμότητα	25
2.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός χώρου και κτιρίων.....	27
2.3 Στόχοι του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού	29
2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα	36
2.4.1 Αστική Μορφολογία.....	37
2.4.2.Πεδίο Ακτινοβολίας.....	39
2.4.3 Πεδίο Ανέμου	43
2.4.4 Θερμοκρασία και υγρασία	45
2.5 Συμβολή πρασίνου στο βιοκλιματικό σχεδιασμό	46
2.5.1 Ηλιασμός - Ηλιοπροστασία ή σκίαση	47
2.5.2 Ανεμοπροστασία – Φυσικός αερισμός.....	49
2.5.3 Έλεγχος του ήχου	50
2.5.4 Επίδραση στο περιβάλλον.....	50

2.5.5 Βελτίωση συνθηκών θερμικής άνεσης	51
2.5.6 Μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων	52
2.5.7 Μείωση του φαινομένου Αστικής Θερμικής Νησίδας	53
Κεφάλαιο 3 Μοντελοποίηση 3D γεωχωρικών δεδομένων σε αστικό περιβάλλον.....	55
3.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	55
3.1.1 Πλεονεκτήματα τρισδιάστατων μοντέλων	57
3.1.2 Μέθοδοι αναδόμησης τρισδιάστατων μοντέλων	59
3.1.3 Διαφορετικά Επίπεδα Λεπτομέρειας (Levels of Detail – LoD).....	60
3.2 Envi-met Basic v4.1.1 Winter	62
3.2.1 Αρχιτεκτονική του μοντέλου Envi-met.....	63
3.2.2 Μέσος Αναμενόμενος Θερμικός Δείκτης (PMV)	67
3.2.3 Χαρακτηριστικά του Envi-met v4.0.....	68
3.2.4 Ροή δεδομένων στο Envi-met.....	69
3.3 Περιοχή Μελέτης.....	77
3.3.1 Συλλογή Δεδομένων.....	79
3.3.2 Στοιχεία από επιτόπια Παρατήρηση	80
3.3.3 Στοιχεία αστικής μορφολογίας.....	83
3.3.4 Κλιματολογικά δεδομένα	83
3.4 Μεθοδολογική προσέγγιση	86
3.4.1 Επεξεργασία δεδομένων με ΓΣΠ	86
3.4.2 Επεξεργασία δεδομένων στο λογισμικό Envi-met v.4.0.....	90
3.4.3 Μετατροπή δεδομένων.....	102
3.4.4 Δημιουργία τρισδιάστατης Γεωχωρικής Βάσης Δεδομένων	104
3.4.5 3D Οπτικοποίηση δεδομένων.....	108
Κεφάλαιο 4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων – Εναλλακτικό μοντέλο.....	109
4.1 Χρήση της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης	109
4.2 Δημιουργία εναλλακτικών μοντέλων βλάστησης	111
4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	115
Συμπεράσματα	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125
Παράρτημα	129

Περίληψη

Με τον όρο «αστικό μικροκλίμα» νοούνται οι συνθήκες του μικροκλίματος (ηλιακή ακτινοβολία, ροή ανέμου, θερμοκρασία και υγρασία), όπως αυτές διαμορφώνονται λόγω της αλληλεπίδρασης τους με τα στοιχεία αστικής μορφολογίας (δομικά στοιχεία, κτίρια, βλάστηση κ.α.). Παράγοντες όπως η εκθετική αύξηση του πληθυσμού με την επέκταση των αστικών πυκνοδομημένων κέντρων και η συνεχή εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών και περιόδων καύσωνα τα τελευταία χρόνια, επηρεάζουν αισθητά το αστικό μικροκλίμα. Αυτό οδηγεί στην άμεση υποβάθμιση των συνθηκών άνεσης των ανθρώπων που ζουν σε αυτό. Έτσι, δεδομένου της πολυπλοκότητας του αστικού χώρου και των προβλημάτων που συνεχίζουν να οξύνονται εντός αυτού, δημιουργείται η ανάγκη για προσαρμογή και αλλαγή της κατάστασης. Η συνύπαρξη φυσικού και ανθρωπογενή παράγοντα πρέπει να συνεχίσει να αναπτύσσεται με βιώσιμο τρόπο. Ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός με την αξιοποίηση και διαμόρφωση του τοπικού κλίματος (ή αστικό μικροκλίμα), μέσω του «πρασινίσματος» των πόλεων, συμβάλει στην ζητούμενη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στο αστικό χώρο.

Στόχος, λοιπόν της εργασίας αυτής είναι η μοντελοποίηση του αστικού μικροκλίματος, βάσει της πολυπλοκότητας που διαμορφώνει ο τρισδιάστατος χώρος και η διαχείριση αυτού μέσω της συμβολής του αστικού πρασίνου, για την βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης. Για αυτό τον σκοπό δομείται τρισδιάστατη γεωχωρική βάση δεδομένων που φέρει πληροφορία για τα μοντέλα προσομοίωσης του αστικού μικροκλίματος. Η διαχείριση αυτών των βιοκλιματικών παραμέτρων αφορά την οπτικοποίηση των εναλλακτικών μοντέλων βλάστησης που διαμορφώνονται στο αστικό χώρο, για την βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε αυτό. Μέσω της τρισδιάστατης αυτής βάσης δεδομένων αξιολογείται δηλαδή, η χώρο-χρονική διαφοροποίηση της κατανομής θερμοκρασίας του αέρα στις επιφάνειες των κτιρίων, ως παράγοντας βελτίωσης της θερμικής άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτά. Παράλληλα, αξιολογείται η αναγκαιότητα διαχείρισης του χώρου μέσω των τρισδιάστατων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, για την λήψη αποφάσεων παρέμβασης σε αυτό και τη δημιουργία βιώσιμων και ανθεκτικών πόλεων.

Λέξεις κλειδιά: Αστικό μικροκλίμα, 3D Μοντελοποίηση, 3D γεωχωρική βάση δεδομένων, ΓΣΠ

Abstract

The notion of «urban microclimate» consists of local variations in wind, humidity, solar radiation and temperature as a result of urban morphology parameters (build infrastructures, vegetation, surface materials). Key factors, like the urban sprawl due to the rapid expansion of human population and the high temperatures of the frequent heat waves, of the last decades, affects the urban microclimate and the outdoor conditions of human comfort. Given the complexity of the urban environment and the severe urban problems, the need for adaptation and change of that situation becomes increasingly important. The connection between the ecosystem and the cities should subsist as a sustainable way of development. Greening the cities, as part of bioclimatic concept of build environment, could be the way to improve the living conditions of the human beings in cities.

The purpose of this study is the modelling of urban microclimate, based on the limits that the complexity of the 3-Dimensional space gives. The management of this simulated microclimate in contribution with the urban green can improve the comfort conditions of urban dwellers. For this reason, a 3D – GIS based – geospatial database is created to gather elements of simulation models of urban microclimate. These bioclimatic factors can be managed for the visualization of alternative vegetation models in 3D space in order to estimate the conditions of thermal comfort. Through the 3D geospatial database, is estimated the spatio-temporal distribution of the urban air temperature on building façades and how it affects the thermal comfort and the energy consumption of them. In parallel, the value of 3D GIS is evaluated for environmental adjustment, in the context of decision-making plans and development of sustainable and resilient cities.

Keywords: Urban microclimate, 3D Modeling, 3D geo-spatial database, GIS

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Μέση ετήσια Θερμοκρασία σε Παγκόσμιο επίπεδο και τα σενάρια εξέλιξης αυτής, από το 1900 έως το 2100. [Πηγή: http://www.de-ipcc.de/_media/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf].....	12
Εικόνα 2: Πολυτομεακή προσέγγιση για αστικές περιοχές [Πηγή: WWF Ελλάς, “Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον”, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009.]	15
Εικόνα 3: Χρονοσειρές μέσης μέγιστης και μέσης ελάχιστης καλοκαιρινής θερμοκρασίας στην Αθήνα (1900-2008) [Πηγή: Μετεωρολογικά δεδομένα: Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), Θησείο, (ΤτΕ, 2011:57)].....	16
Εικόνα 4: Απεικόνιση κάτοψης, της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ αστικού κέντρου και περί-αστικής περιοχής.....	19
Εικόνα 5: Τομή της εικόνας 4. Απεικόνιση φαινομένου Αστικής Θερμικής Νησίδας, ως την θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα και της επιφάνειας του εδάφους, πρωί και βράδυ.....	19
Εικόνα 6:	19
Εικόνα 7: Central Park στην Νέα Υόρκη. [Πηγή: google.com].....	20
Εικόνα 8: Οι 17 στόχοι για Βιώσιμη Ανάπτυξη, βάσει του διεθνή οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, (UN, 2015)	26
Εικόνα 9: Παρουσίαση της διαχρονικής πληθυσμιακής αύξησης (1950-2030).	26
Εικόνα 10: Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση. [Πηγή: <i>Heat Stress indices</i> (2010), Ανακτήθηκε από: https://diamondenv.wordpress.com/tag/thermal-environment/]	31
Εικόνα 11: Μεταβολικός ρυθμός ανάλογα την δραστηριότητα (αριστερά), επίπεδο ρουχισμού (δεξιά). [Πηγή: <i>World Environmental Library</i>]	32
Εικόνα 12: Απεικόνιση των διαφορών μεταξύ των μοντέλων επιφανείας, Digital Terrain Model (αριστερά), Digital Surface Model (δεξιά). [Πηγή: google.gr].....	38
Εικόνα 13: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας (Κατσαφάδος, Μαυροματίδης, 2015)	39
Εικόνα 14: Απεικόνιση του πεδίου ακτινοβολίας, σε αστικό περιβάλλον [Πηγή: <i>Ίδια Επεξεργασία</i>]	41
Εικόνα 15: Απεικόνιση διεύθυνσης του ανέμου (Κατσαφάδος, 2016).....	43
Εικόνα 16: Απεικόνιση της διαφοροποίησης της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα την τραχύτητα της κάθε περιοχής, [Πηγή: <i>Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. 2011. Πρόγραμμα βιοκλιματικών αναβαθμίσεων δημόσιων ανοικτών χώρων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ανακτήθηκε από: http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf</i> ..	44
Εικόνα 17: Φυλλοβόλα είδη. Σκιασμός το καλοκαίρι (αριστερά) και ηλιασμός το χειμώνα (δεξιά). [Πηγή: ΚΑΠΕ, 2011. «Πρόγραμμα βιοκλιματικών αναβαθμίσεων	

δημόσιων ανοικτών χώρων». Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ανακτήθηκε από: http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf	48
Εικόνα 18: Σκίτσο αναπαράστασης του πλέγματος voxels στο τρισδιάστατο χώρο. (Karakula, 2007).....	57
Εικόνα 19: Απλουστευμένη διαγραμματική αναπαράσταση των πεδίων εφαρμογών τρισδιάστατων μοντέλων. Με τεθλασμένη γραμμή είναι οι γενικοί τομείς που επωφελούνται από την τρισδιάστατη πληροφορία, με γαλάζιο οι επιμέρους κατηγορίες ανάλυσης ανά τομέα και με σκούρο μπλε αποτελούν οι συγκεκριμένες λειτουργίες, πεδίων εφαρμογής τρισδιάστατων μοντέλων. Πηγή: <i>ISPRS Int. J. Geo-Inf.</i> 2015, « <i>Applications of 3D City Models: State of the Art Review</i> », 2015.	58
Εικόνα 20: Οι διάφοροι τομείς εφαρμογής των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων για περιβαλλοντική προσομοίωση και βοήθεια στην λήψη αποφάσεων [Πηγή: <i>ISPRS Int. J. Geo-Inf.</i> 2015, « <i>Applications of 3D City Models: State of the Art Review</i> », 2015]...	58
Εικόνα 21: Αναπαράσταση επιπέδων λεπτομέρειας (LoD), κατά το πρότυπο CityGML, όπου η γεωμετρική και σημασιολογική πολυπλοκότητα σταματά το LoD 4 που περιγράφει μέχρι και στοιχεία εσωτερικού χώρου. [Πηγή: Biljecki, F.; Ledoux, H.; Stoter, J. (2016). "An improved LOD specification for 3D building models". <i>Computers, Environment and Urban Systems</i> .].....	61
Εικόνα 22: Παρουσίαση μοντέλου στο Envi-met [Πηγή: http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=start]	64
Εικόνα 23: Αρχιτεκτονική μοντέλου στο Envi-met (μοντέλα ατμόσφαιρας, εδάφους, βλάστησης). [Πηγή: http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=start].....	64
Εικόνα 24: Κλίμακα δείκτη θερμικής άνεσης	68
Εικόνα 25: Διάγραμμα ροής λειτουργίας του λογισμικού Envi-met. [Πηγή: <i>Ίδια Επεξεργασία</i>]	70
Εικόνα 26: Μορφές κατακόρυφου δικτύου. [Πηγή: http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=start]	72
Εικόνα 27: Εντοπισμός περιοχής μελέτης και απεικόνιση των ορίων ανάλυσης, σε κλίμακα κτιρίου	78
Εικόνα 28: Δορυφορική αποτύπωση περιοχής μελέτης με ενδεικτικά σημεία ενδιαφέροντος (τοπόσημα).....	82
Εικόνα 29: Απόσταση της περιοχής μελέτης από το μετεωρολογικό σταθμό στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο	85
Εικόνα 30: Διάγραμμα ροής μεθοδολογικής προσέγγισης. [Πηγή: <i>Ίδια Επεξεργασία</i>]	86
Εικόνα 31: Όρια όγκων κτιρίων στη περιοχή μελέτης	87
Εικόνα 32: Υπολογισμός ύψους των κτιρίων στην περιοχή μελέτης.....	89
Εικόνα 33: Εικόνα υποβάθρου για σχεδίαση στο λογισμικό Envi-met.....	90
Εικόνα 34: Πεδίο ορισμού αρχικών παραμέτρων μοντέλου, SPACES	91

Εικόνα 35: Εισαγωγή ύψους κτιρίων στην περιοχή μελέτης, με ένδειξη οριοθετημένης περιοχής λεπτομέρειας σχεδιασμού στην εφαρμογή SPACES.....	94
Εικόνα 36: Παρουσίαση διαφόρων υλικών εδαφοκάλυψης του μοντέλου προσομοίωσης. Σχεδιασμός στην εφαρμογή SPACES.....	94
Εικόνα 37: Σχεδίαση της βλάστησης στο μοντέλο προσομοίωσης, στην εφαρμογή SPACES.	95
Εικόνα 38: Τρισδιάστατη παρουσίαση της βλάστησης στο μοντέλο προσομοίωσης, μέσω της εφαρμογής SPACES.....	96
Εικόνα 39: Τρισδιάστατη παρουσίαση της περιοχής μελέτης του μοντέλου προσομοίωσης, στην εφαρμογή SPACES.	97
Εικόνα 40: Αποτύπωση διαφορετικών υλικών κατασκευής του μοντέλου προσομοίωσης, στη εφαρμογή SPACES	98
Εικόνα 41: Έλεγχος επιτρεπόμενων οριακών συνθηκών του μοντέλου προσομοίωσης.....	98
Εικόνα 42: Διάγραμμα απεικόνισης θερμοκρασίας και υγρασίας της 24 ^η Ιουλίου 2016, με χρονικό βήμα μιας ώρας.....	100
Εικόνα 43: Αποτύπωση περιστροφής του αρχείου για σχεδίαση στο λογισμικό Envi-met (μαύρο πολύγωνο με κόκκινα όρια κτιρίων) και επαναφορά αυτού στη αρχική διεύθυνση προσανατολισμού (γκρι πολύγωνο με ανοικτό κόκκινο όρια κτιρίων) για περαιτέρω επεξεργασία σε ΓΣΠ.	103
Εικόνα 44: Δημιουργία ψηφιδωτού αρχείου raster, με «no data» τιμές εκτός του πολυγώνου της περιοχής μελέτης.....	103
Εικόνα 45: Σκίτσο προς αναπαράσταση του τρόπου σύνδεσης της πλευράς κάθε κτιρίου με τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (του 3D Grid), που διαμορφώθηκαν βάσει πλέγματος απόστασης 2m στο κάθετο άξονα, δομώντας ζώνες πληροφορίας που συγκεντρώνουν την μέση τιμή της αναφερομένης τιμής.	105
Εικόνα 46: Παράδειγμα αποτελεσμάτων, πριν (δεξιά) και μετά (αριστερά) την περιστροφή του ψηφιδωτού αρχείου δημιουργίας για την σύνδεση με τις γραμμικές οντότητες.	106
Εικόνα 47: Διάγραμμα ροής επαναληπτικής διαδικασίας, για τη δημιουργία τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων.....	108
Εικόνα 48: Μοντέλο υφιστάμενης κατάστασης στο περιοχή μελέτης (Μοντέλο 1)	114
Εικόνα 49: Μοντέλο υφιστάμενης κατάστασης με φύτευση στην στέγη κάθε κτιρίου (Μοντέλο 2).....	114
Εικόνα 50: Μοντέλο υφιστάμενης κατάστασης με πρόσθετη φύτευση στους δρόμους της περιοχής μελέτης. (Μοντέλο 3)	114
Εικόνα 51: Μοντέλα 2D κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (0,20μ) – Για τα μοντέλα βλάστησης.....	115
Εικόνα 52: 3D Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα για τα μοντέλα βλάστησης (Όψη Ι).....	116

Εικόνα 53: 3D Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα για τα μοντέλα βλάστησης (Όψη II).....	117
Εικόνα 54: Θερμοκρασιακή διαφορά Μοντέλων 2 & 1	118
Εικόνα 55: Θερμοκρασιακή διαφορά Μοντέλων 3 & 1	118
Εικόνα 56: Κατανομή τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης για το ύψος 0,4μ από το έδαφος (μέσω ύψος κίνησης ανθρώπου) – Πάνω αριστερά – μοντέλο 1, πάνω δεξιά – μοντέλο 2, κάτω αριστερά – μοντέλο 3.....	119
Εικόνα 57: Εικόνες κάτω-Κατανομή των τιμών διαφοράς του δείκτη θερμικής άνεσης Μοντέλο 1-2 (αριστερά) Μοντέλο 1-3 (δεξιά)	119

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Επιπτώσεις που σχετίζονται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας [Πηγή: Απόσπασμα πίνακα από: Τ.Ε.Ε. 2011. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α.]	22
Πίνακας 2: Στόχοι Βιοκλιματικού Σχεδιασμού χώρου και κτιρίων ανά χρονική περίοδο	29
Πίνακας 3: Παράμετροι καθορισμού θερμικής άνεσης ανά κατηγορία και τύπο επίδρασης. [Πηγή: http://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/factors.htm].....	31
Πίνακας 4: Επίπεδα θερμικής άνεσης	33
Πίνακας 5: Σχέση κλίμακας Beaufort με την μηχανική επίδραση του ανέμου στους ανθρώπους. [Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. 2011. Πρόγραμμα βιοκλιματικών αναβαθμίσεων δημόσιων ανοικτών χώρων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ανακτήθηκε από: http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf]	35
Πίνακας 6: Περιγραφή τρόπων επίδρασης της βλάστησης στο αστικό περιβάλλον .	47
Πίνακας 7: Διαδοχικά επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs).....	61
Πίνακας 8: Πίνακας συλλογής δεδομένων	80
Πίνακας 9: Μετρήσεις μετεωρολογικού σταθμού του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, για τη 24 ^η Ιούλη 2016.	84
Πίνακας 10: Πίνακας υλικών εδαφοκάλυψης του μοντέλου προσομοίωσης.	94
Πίνακας 11: Πίνακας ειδών βλάστησης του μοντέλου προσομοίωσης.....	96
Πίνακας 12: Παρουσίαση ιδιοτήτων υλικών κατασκευής	97
Πίνακας 13: Ορισμός αρχικών – βασικών συνθηκών μοντέλου προσομοίωσης	101

Συντομογραφίες

ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΦΕΚ	Φύλλο της Εφημερίδας Κυβερνήσεως
ΓΠΣ	Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο
ΟΤ	Οικοδομικό Τετράγωνο
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΤτΕ	Τράπεζα της Ελλάδος
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος

Εισαγωγή

Δεδομένου της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας, λόγω κλιματικής αλλαγής, δημιουργείται όλο και περισσότερο η ανάγκη βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσης και ισορροπίας του ενεργειακού ισοζυγίου στο πλανήτη. Παράλληλα, βάσει στοιχείων του ΟΗΕ, διατυπώνεται ότι η συνεχή αυτή αύξηση του πληθυσμού θα οδηγήσει μέχρι το 2030, σχεδόν το 60% του πληθυσμού να ζει στις αστικές περιοχές. Η αύξηση αυτή του πληθυσμού θα έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση και ενίσχυση των προβλημάτων αστικού περιβάλλοντος. Έτσι, κάτω από αυτές τις συνθήκες καθίσταται αναγκαία και απαραίτητη η ανάπτυξη σχεδιασμού, ώστε οι πόλεις να συνεχίζουν να μεγαλώνουν και να ευημερούν με βιώσιμο τρόπο, με στόχο τον περιορισμό της αύξησης του ενεργειακού ισοζυγίου, μειώνοντας τις ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας στο αστικό μικροκλίμα. Ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός των οικιστικών συνόλων και κτιρίων διαμορφώνει μια σχέση αρμονίας μεταξύ του φυσικού και του δομημένου χώρου και του περιβάλλοντος του. Προσδιορίζει δηλαδή την συνύπαρξη μεταξύ φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, χρησιμοποιώντας τις φυσικές παραμέτρους του μικροκλίματος, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία, τη ροή του ανέμου, τη θερμοκρασία και υγρασία, για την επίτευξη συνθηκών άνεσης, κλιματικής ποιότητας και εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια.

Λόγω όμως της χωρικής ανομοιογένειας της αστικής επιφάνειας και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, οι συνθήκες μικροκλίματος δε μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές για κάθε περιοχή. Αυτό γιατί, τόσο το πεδίο της ακτινοβολίας, όσο και το πεδίο του ανέμου διαμορφώνονται από την τρισδιάστατη πολυπλοκότητα και τα τοπικά χαρακτηριστικά του χώρου. Συνεπώς, για την αποτύπωση χωρικών κατανομών των βιοκλιματικών παραμέτρων στην περιοχή επέμβασης, απαιτείται η χρήση μοντέλων προσομοίωσης των παραμέτρων αυτών που να λαμβάνουν υπόψη των τρισδιάστατο χώρο. Έτσι, οι παράγοντες μικροκλίματος καθορίζουν τις αρχικές συνθήκες, ενώ η αστική μορφολογία καθορίζει τις συντοριακές συνθήκες που απαιτούνται για την υλοποίηση προσομοιώσεων χωροχρονικών κατανομών των ζητούμενων βιοκλιματικών παραμέτρων, με στόχο την ορθή λήψη αποφάσεων παρέμβασης στο αστικό περιβάλλον.

Έτσι, η παρούσα μελέτη χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη ανάλυσης. Παρακάτω, λοιπόν αναλύεται το περιεχόμενο για κάθε μέρος της ανάλυσης.

Το πρώτο μέρος είναι θεωρητικό (Κεφάλαιο 1 & 2) και περιλαμβάνει ορισμένες βασικές και θεωρητικές έννοιες για ότι αφορά τη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου στο αστικό μικροκλίμα, με γνώμονα την ύπαρξη του φαινομένου της Κλιματικής Αλλαγής και την ανάγκη προσαρμογής σε αυτό. Συγκεκριμένα, αναλύεται πως τα αστικά προβλήματα (φαινόμενο Αστικοποίησης και Αστικής

Θερμικής Νησίδας, έλλειψη πρασίνου) μπορούν να εντείνουν την αύξηση της θερμοκρασίας και των ενεργειακών αναγκών για ψύξη των κτιρίων και πως αυτό μπορεί να περιοριστεί μέσω της ανθρώπινης παρέμβασης και του ορθού σχεδιασμού. Επίσης αναλύεται, πως το αστικό πράσινο, ως τρόπος σχεδιασμού, μπορεί να συμβάλει στην μείωση της θερμοκρασίας για βελτίωση των συνθηκών άνεσης στο αστικό περιβάλλον.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας (Κεφάλαιο 3 & 4), ως πρακτικό κομμάτι, γίνεται η διαχείριση των προβλημάτων αυτών, με την δημιουργία μοντέλου περίπτωσης στο αστικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, στο δεύτερο μέρος, γίνεται λόγος της χρησιμότητας διαχείρισης τέτοιων μοντέλων μέσω των 3D ΓΣΠ, λόγω της πολυπλοκότητας που αποδίδει το αστικό μικροκλίμα. Έτσι, ενώ η δημιουργία του μοντέλου βασίζεται σε ένα απλό ΓΣΠ, η τρισδιάστατη πληροφορία δημιουργείται στο περιβάλλον του Envi-met και αφορά την αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων του αστικού σχεδιασμού (κτίρια, δρόμου κ.α.) και του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, κ.α.). Η τρισδιάστατη αυτή πληροφορία δημιουργείται για διαφορετικά μοντέλα βλάστησης στο αστικό περιβάλλον, με στόχο την μοντελοποίησης του ποσοστού βελτίωσης που επιφέρει το αστικό πράσινο στο αστικό μικροκλίμα και την δημιουργία συνθηκών άνεσης. Σαν τελικό αποτέλεσμα λοιπόν, είναι η σύνδεση αυτής της τρισδιάστατης πληροφορίας που δημιουργήθηκε στο λογισμικό Envi-met με την χωρική πληροφορία σε ένα απλό ΓΣΠ και η δημιουργία μιας κατά προσέγγιση τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων, που φέρει πληροφορία για όλα τα μοντέλα ανάλυσης, σε χώρο-χρονική κλίμακα. Τέλος, ακολουθεί η αναπαράσταση, σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στον τρισδιάστατο χώρο.

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μελέτης αυτής είναι το λογισμικό προσομοίωσης βιοκλιματικών παραμέτρων, Envi-met, όπου κάνει χρήση απλών παραδοχών για την αναπαράσταση του αστικού χώρου και των ροών ενέργειας σε αυτό, με στόχο τη προσομοίωση του αστικού μικροκλίματος κάθε περιοχής αλλά και το περιβάλλον του ArcGIS και ArcScene για τη καλύτερη διαχείριση και αποτύπωση του όγκου της πληροφορίας που αφορά το αστικό μικροκλίμα. Τέλος, η σύνδεση των δύο και η επίτευξη διαλειτουργικότητας μεταξύ αυτών των λογισμικών έγινε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB.

Κεφάλαιο 1

Κλιματική Αλλαγή στο αστικό περιβάλλον

1.1 Το φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής

Όσον αφορά τον ορισμό της Κλιματικής Αλλαγής, η IPCC¹ αποδίδει δύο ορισμούς. Ο πρώτος ορισμός είναι ευρύτερος και είναι αυτός που ενστερνίζεται η IPCC για τη διεξαγωγή της έρευνας τους. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, «Η κλιματική αλλαγή, όπως αυτή αναφέρεται στο ιστορικό καταγραφής για το κλίμα, συμβαίνει λόγω εσωτερικών αλλαγών του κλιματικού συστήματος ή λόγω αλληλεπίδρασης μεταξύ των συστατικών αυτού, ή εξαιτίας βίαιων εξωτερικών αλλαγών που οφείλονται είτε σε φυσικά αίτια είτε σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Γενικά δεν είναι εφικτό να οριστεί ξεκάθαρα σε ποιο βαθμό συμβάλει καθένα από τα αίτια. Στις προβλέψεις που εκθέτει για τη (μελλοντική) κλιματική εξέλιξη, το IPCC γενικά λαμβάνει υπόψη μόνο την επιρροή που θα έχουν στο κλίμα οι ανθρωπογενείς αυξήσεις των αερίων του θερμοκηπίου και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τον άνθρωπο.» (IPCC, 1995:5). Παρά την αποδεδειγμένη ύπαρξη του αρνητικού αντίκτυπου της Κλιματικής Αλλαγής, παραμένει ένα έντονα απρόβλεπτο φαινόμενο με τις συνέπειες του να είναι δύσκολο να υπολογιστούν με ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, ο παραπάνω ορισμός αναγνωρίζει τη δυσχέρεια στο να αποδοθεί «μερίδιο ευθύνης» στα αναγνωρισμένα αίτια που προκαλούν την Κλιματική Αλλαγή.

Έτσι, ο δεύτερος ορισμός που χρησιμοποιείται από τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ορίζει πως η Κλιματική Αλλαγή αφορά «Αλλαγές στο κλίμα που αποδίδονται άμεσα ή έμμεσα σε μία ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και που προστίθεται στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος που παρατηρείται μεταξύ συγκρίσιμων χρονικών περιόδων.» (IPCC, 1995:4). Στόχος του ορισμού αυτού είναι να επικεντρωθεί στο μερίδιο της ανθρώπινης ευθύνης.

Συνεπώς, αυτό που αναγνωρίζεται, σύμφωνα με την IPCC και τη σύγχρονη επιστημονική γνώση, είναι ότι ο βασικός άξονας για την εύρεση λύσεων για την Κλιματική Αλλαγή ως παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα, είναι η ανθρώπινη

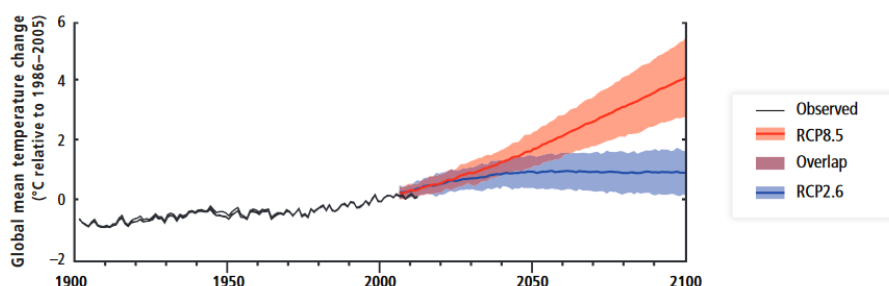
¹ Οι εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή δημοσιεύονται από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), η οποία ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization-WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme-UNEP).

δραστηριότητα. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν μεταβάλει και εξακολουθούν να μεταβάλουν τη σύσταση της ατμόσφαιρας, αλλά και τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης (Κατσαφάδος, Μαυροματίδης, 2015).

Το Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου² συντελεί στην θέρμανση του πλανήτη, διαμορφώνοντας τη μέση θερμοκρασία της γης (περίπου 15°C). Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το πιο σημαντικό από τα θερμοκηπιακά αέρια που διατηρούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας στη Γη. Η φύση έχει προνοήσει για την σχεδόν τέλεια διατήρηση της ισορροπίας εκπεμπόμενου CO₂ και της αντίστοιχης ποσότητας που απορροφάται. Μικρές αλλαγές, οφειλόμενες σε ανθρώπινες δραστηριότητες είναι δυνατό να επηρεάσουν αυτήν την εύθραυστη ισορροπία. Η επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας στη σύσταση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, έχει προκαλέσει ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η ισορροπία της θερμοκρασίας. Με τον τρόπο αυτό, το ενισχυμένο αυτό φαινόμενο συμβάλλει στην αλλαγή του κλίματος.

Βάσει της μεγαλύτερης βάσης δεδομένων (εικόνα 1) παρατηρείται αλλαγή της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας μεταξύ της περιόδου 1850-1900 και της περιόδου 1986-2005 είναι ίση με 0,61°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας (μαύρο χρώμα) με έτος εκκίνησης το 1900 έως το 2014 και οι προβλέψεις για το μέλλον με βάση ένα πιθανό σενάριο που περιλαμβάνει περιορισμό με χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου Representative Concentration Pathways (RCP 2.6, μπλε) και ένα σενάριο υψηλών εκπομπών που οδηγεί σε ακόμα πιο έντονη αύξηση της θερμοκρασίας (RCP 8.5).



Εικόνα 1: Μέση ετήσια Θερμοκρασία σε Παγκόσμιο επίπεδο και τα σενάρια εξέλιξης αυτής, από το 1900 έως το 2100.

[Πηγή http://www.de-ipcc.de/_media/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf]

² IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis, Frequently Asked Question 1.3 What is the Greenhouse Effect?
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html

Κύριες ενδείξεις³ κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο, σύμφωνα με την IPCC, αναφέρονται οι παρακάτω:

- **Η άνοδος της μέσης στάθμης θάλασσας**, (άνοδος 10-20cm κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα).
- **Ακραίες βροχοπτώσεις και πλημμύρες**, (αύξηση των βροχοπτώσεων 5-10% κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα).
- **Αύξηση της θερμοκρασίας της στεριάς**, με αυξημένη συχνότητα και ένταση ακραίων **περιστατικών καυσώνων**. Ένδειξη που σχετίζεται με το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας κ.α. (αναλύεται στην 1.4.2).
- **Υπερθέρμανση σε συνδυασμό με ξηρασία και διακύμανση των βροχοπτώσεων**: ο συνδυασμός τέτοιων επικινδυνοτήτων οδηγεί στην κρίση των τομέων που σχετίζονται με την παραγωγή τροφίμων.
- **Αύξηση της ωκεάνιας θερμοκρασίας**, με όξυνση των ωκεανών και απώλεια του Αρκτικού θαλάσσιου πάγου. Σημειώνεται ότι στην Αρκτική, το πάχος των παγετώνων κατά το θέρος έχει μειωθεί κατά το ήμισυ σε σχέση με το 1950, οδηγώντας πιθανώς σε παγκόσμιες αλλαγές της γενικής κυκλοφορίας των ωκεανών. Επίσης πρόβλημα αντιμετωπίζεται και στους κοραλλιογενείς υφάλους λόγω θερμών υδάτων.

1.2 Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα

Η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της στο σύνολο της οικονομίας, της κοινωνίας και στο φυσικό περιβάλλον είναι επιστημονικά ακλόνητες, ενώ τις κάποιες αμφισβητήσεις, ο κίνδυνος για επιδείνωσης συνεχώς αυξάνεται. Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια περιοχή η οποία είναι «στο κόκκινο», σύμφωνα με όλες τις εκτιμήσεις των κλιματικών μοντέλων από την IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), αλλά και από άλλες εκτιμήσεις συνόλου μοντέλων από άλλες υπηρεσίες, οργανώσεις και ερευνητικά κέντρα. Το «κόκκινο» προκύπτει από τη γεωγραφική θέση της Ελλάδας, η οποία βρίσκεται ανάμεσα στην εύκρατη Ευρώπη και την έρημο της βόρειας Αφρικής. Επίσης, το γεγονός ότι έχει ένα εξαιρετικά πολύπλοκο ανάγλυφο, με τέτοια διάταξη - από βορρά προς νότο κυρίως - όπου η δυτική πλευρά της Ελλάδας δέχεται σημαντικές βροχές, ενώ οι περιοχές των Κυκλάδων και της ανατολικής Στερεάς πάσχουν από λειψυδρία (ΤτΕ, 2011).

Η Μεσόγειος, σύμφωνα με έκθεση του Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ⁴, ανήκει στις 18 πιο τρωτές περιοχές του πλανήτη εξαιτίας κλιματικής αλλαγής, ενώ αρκετοί τομείς τοπικής εμβέλειας αντιμετωπίζουν κίνδυνο λόγω αυτής. Μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών έδειξαν ότι οι

³ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter01_FINAL.pdf

⁴ UNEP, Climate in peril - A popular guide to the latest IPCC reports, 2009.

μέσες μέγιστες θερμοκρασίες του Ιουνίου και Ιουλίου του 2012 ήταν εντυπωσιακά υψηλές, με μέση μέγιστη θερμοκρασία 36,9 °C. Η IPCC στην 4η έκθεση αξιολόγησης που εξέδωσε το 2007 περιγράφει τις σημαντικότερες επιπτώσεις που ενδέχεται να προκύψουν στην Μεσόγειο ως αποτέλεσμα της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Συνοπτικά, η IPCC αναφέρει τα εξής:

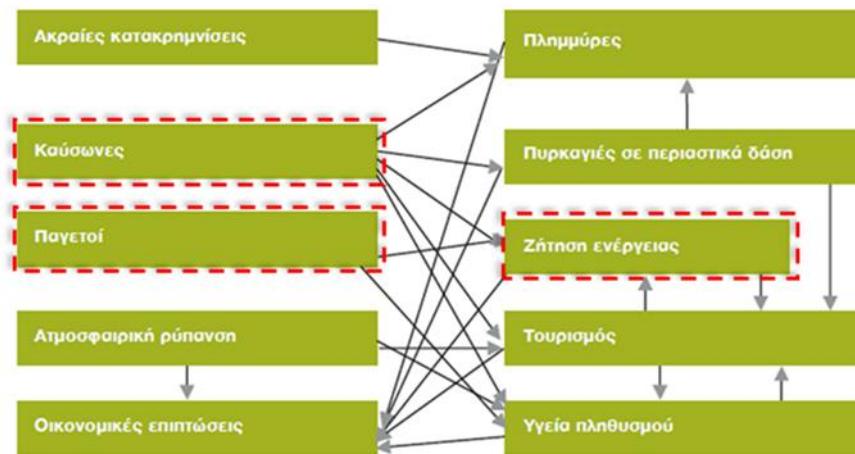
- Οικοσυστήματα της Μεσογείου: πιθανότατα εντάσσονται ανάμεσα στα οικοσυστήματα που επηρεάζονται περισσότερο από τις παγκόσμιες μεταβολές.
- Οι ξηρές περιοχές που είναι περισσότερο εκτεθειμένες θα υποφέρουν ιδιαίτερα από την μείωση των υδάτινων πόρων λόγω της κλιματικής αλλαγής.
- Οι πιο ζεστές και ξηρές συνθήκες είναι μερικώς υπεύθυνες για τη μειωμένη παραγωγικότητα των δασών και την αύξηση των πυρκαγιών. Η γεωργία και η δασοπονία έχουν δείξει την ευπάθειά τους στην πρόσφατες αυξητικές τάσεις των κυμάτων καύσωνα, των ξηρασιών και των πλημμυρών ⁵[1.3.6].
- Οι παράκτιοι υγρότοποι είναι ευαίσθητοι στην κλιματική αλλαγή και στην μακροπρόθεσμη αλλαγή στη στάθμη της θάλασσας ⁶[6.4.1.4].
- Η αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει μεγάλης κλίμακας θνησιμότητα σε δελφίνια στη Μεσόγειο, λόγω ασθενειών ⁷[12.4.6].

Σε μια μελέτη κλίματος αστικής περιοχής, απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση σε πολλαπλές χρονικές και χωρικές κλίμακες και τομείς. Στη χωρική διάσταση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα όρια κάθε πόλης, ενώ στη χρονική διάσταση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι υφιστάμενες συνθήκες μελέτης αλλά και οι μελλοντικές. Η υιοθέτηση μιας πολυτομεακής προσέγγισης στις επιδράσεις της αλλαγής του κλίματος κρίνεται αναγκαία (εικόνα 2). Οι τομείς των επιπτώσεων κυμαίνονται από τις άμεσες επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα (όπως ο κίνδυνος πλημμυρικών επεισοδίων ή δασικής πυρκαγιάς), ως τις έμμεσες επιπτώσεις που προέρχονται από τη συνδυασμένη δράση κλιματικών-κοινωνικών-οικονομικών παραμέτρων (όπως η ενεργειακή ζήτηση, τουρισμός και υγεία). Το διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζει την πολυτομεακή προσέγγιση που απαιτείται για μια αστική περιοχή, και περιλαμβάνει τα δυναμικά χαρακτηριστικά του κλιματικού συστήματος, τις επιπτώσεις στους φυσικούς/κοινωνικούς/οικονομικούς τομείς και τις αλληλεπιδράσεις τους.

⁵ 1.3.6 Agriculture and forestry https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch1s1-3-6.html

⁶ 6.4.1.4 Mangroves, saltmarshes and sea grasses
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch6s6-4-1-4.html

⁷ 12.4.6 Biodiversity https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch12s12-4-6.html



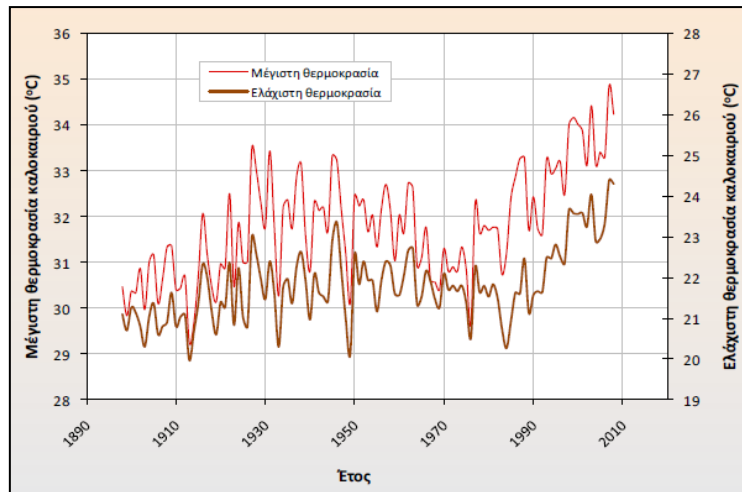
Εικόνα 2: Πολυτομεακή προσέγγιση για αστικές περιοχές

[Πηγή: WWF Ελλάς, "Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον", Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009.]

1.3 Κλιματικές τάσεις στην Αθήνα

Οι κλιματικές προβλέψεις για τη Μεσόγειο εκτιμούν ότι η περιοχή θα γίνει θερμότερη και ξηρότερη με αυξημένη συχνότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων (πλημμύρες – καύσωνες). Οι συνθήκες αυτές αποτελούν ολοένα και μεγαλύτερη απειλή για τις αστικές περιοχές και κυρίως για το κέντρο της Αθήνας. Συνεπώς, η αυξημένη συχνότητα επεισοδίων καύσωνα, καθώς και οι μεγάλης διάρκειας ακολουθίες ημερών με υψηλές θερμοκρασίες φαίνεται να αποτελούν τις βασικές πτυχές της αλλαγής του κλίματος που επηρεάζουν ιδιαίτερα τις αστικές περιοχές, λόγω της εντατικά αυξανόμενης δραστηριότητας του ανθρώπου σε αυτές.

Οι μεταβολές του κλίματος της Αθήνας τις τελευταίες δεκαετίες είναι ιδιαίτερα έντονες λόγω της επίδρασης διαφόρων παραγόντων, αλλά κυρίως ανθρωπογενών. Κύριοι παράγοντες που οδηγούν στη μεταβολή της θερμοκρασίας στην Αθήνα, βάσει μετρήσεων του ΕΑΑ, αποτελούν η παγκόσμια κλιματική μεταβολή – λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου (από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια), η εντεινόμενη αστικοποίηση (με την αύξηση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας), η καταστροφή περί-αστικού πρασίνου από δασικές πυρκαγιές αλλά και η έλλειψη αυτού από το αστικό περιβάλλον. (Philandras et al., 1999, Founda et al., 2004).



Εικόνα 3: Χρονοσειρές μέσης μέγιστης και μέσης ελάχιστης καλοκαιρινής θερμοκρασίας στην Αθήνα (1900-2008)

[Πηγή: Μετεωρολογικά δεδομένα: Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), Θησείο, (ΤτΕ, 2011:57)]

Η μέση θερμοκρασία του καλοκαιριού (Ιούνιος-Αύγουστος) στην Αθήνα βρίσκεται σε συνεχή άνοδο τις τελευταίες δεκαετίες (μέσα δεκαετίας του 1970), με μέση αύξηση που πλησιάζει τον 1°C ανά δεκαετία (εικόνα 3). Αντιστοίχως, ενώ η μέση μέγιστη θερμοκρασία ($3,2^{\circ}\text{C}/1976-2008$) αυξάνει, η μέση ελάχιστη (νυκτερινή) θερμοκρασία του καλοκαιριού παρουσιάζει επίσης συνεχή αυξητική τάση με γρηγορότερο ρυθμό από το 1984 ($3,3^{\circ}\text{C}/1984-2008$), γεγονός που συνδέεται και με το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, όπου προαναφέρθηκε. Σύμφωνα με τα κλιματολογικά δελτία του ΕΑΑ η δεκαετία 2001-2010 ήταν η θερμότερη δεκαετία που έχει καταγραφεί στην Αθήνα ως προς τις ετήσιες τιμές θερμοκρασίας (μέση, μέγιστη και ελάχιστη. Ενώ τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται επίσης και αύξηση της συχνότητας και διάρκειας (περίοδοι καυσώνων) ακραίων θερμοκρασιών. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια του 2007 ο αριθμός των ημερών με μέγιστη θερμοκρασία $>37^{\circ}\text{C}$ ξεπέρασε τις 25. (Φούντα & Γιαννακόπουλος, 2009). Στις 24 Ιουνίου του 2007, σύμφωνα με μετρήσεις του ΕΑΑ, σημειώθηκε θερμοκρασία $44,8^{\circ}\text{C}$, ενώ τον Ιούνιο του 2010 υπήρξαν αντίστοιχες αλλά όχι τόσο ακραίες θερμοκρασίες. Η Αθήνα ανήκει στην περιοχή της Αν. Μεσογείου, η οποία θεωρείται από τις πλέον ευάλωτες περιοχές στην ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής (Giorgi and Lionello, 2008). Ενώ προβλέπεται ότι τα επόμενα χρόνια, στην περιοχή της Αθήνας, οι θερμοκρασίες θα συνεχίσουν να έχουν αυξητική τάση.

1.4 Προβλήματα στο αστικό μικροκλίμα της Αθήνας

Το μικροκλίμα χαρακτηρίζεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία αέρα, την ταχύτητα και τη διεύθυνση της ροής του ανέμου, τις θερμοκρασίες των επιφανειών και το περιβάλλον ακτινοβολίας (ηλιακή και θερμική ακτινοβολία, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας). Παράγοντες όπως ο τρόπος δόμησης, η χωροταξική διαμόρφωση πολεοδομικών ενοτήτων, η καθ' ύψος επέκταση των πόλεων, η διάρθρωση ελεύθερων χώρων και χώρων πρασίνου, η χρήση κατασκευαστικών υλικών, ο προσανατολισμός και το πλάτος των δρόμων, επιδρούν στην εμφάνιση διαβαθμισμένων κλιματικών φαινομένων. Οι διάφοροι ρύποι όμως που δημιουργούνται λόγω δραστηριότητας του ανθρώπου στον αστικό ιστό υποβαθμίζουν την ποιότητα του αέρα των πόλεων σε σχέση με την ύπαιθρο. Οι αέριοι ρύποι και τα αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα, εκτός των άλλων δυσμενών επιδράσεών τους στην υγεία, περιορίζουν και την ορατότητα. Έτσι, το «μικροκλίμα» που δημιουργείται στην περιοχή μιας πόλης λόγω της αστικής της μορφολογίας και των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται μέσα σε αυτή καλείται «**αστικό κλίμα**».

Γι' αυτό το λόγο οι πόλεις, όπως και η Αθήνα θεωρούνται βρίσκονται στο μέτωπο των ταχύτερα εξελισσόμενων περιβαλλοντικών και κλιματικών αλλαγών. Οι δραστηριότητές του ανθρώπου μπορούν να μεταβάλλουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τρεις τρόπους:

- α) με τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης και την αλλαγή των χρήσεων γης (αστικοποίηση και πολεοδομική ανάπτυξη, αποψίλωση δασών, αποξήρανση υδάτινων επιφανειών κ.λπ.),
- β) με την έκλυση ενέργειας στην ατμόσφαιρα (βιομηχανίες, θέρμανση, ηλεκτροφωτισμός κ.λπ.) και
- γ) με τον εμπλουτισμό του αέρα με διάφορα αέρια (ρύπους) και σωματίδια.

1.4.1 Φαινόμενο της Αστικοποίησης

Έτσι, η επίδραση αυτή του ανθρώπου στην ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια τη σημαντική τροποποίηση των κλιματικών παραμέτρων του αστικού περιβάλλοντος, το οποίο είναι απόρροια του **φαινομένου της «Αστικοποίησης»**. Η Αθήνα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγάλου αστικού κέντρου, με πυκνά δομημένες περιοχές στο κέντρο της πόλης και αραιότερη δόμηση στα προάστια. Σύμφωνα με δεδομένα της EUROSTAT, η ευρύτερη αστική ζώνη της Αθήνας συγκαταλέγεται ανάμεσα στις οκτώ πιο πολυπληθείς περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με πληθυσμό που αριθμεί περίπου 4.000.000 κατοίκους το 2004, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 1/3 του πληθυσμού όλης της χώρας. Ενώ, ο αριθμός αυτός αυξάνει, αν υπολογιστούν οι παράνομοι μετανάστες που κατοικούν στην πόλη.

Παρά τις προσπάθειες αποκέντρωσης που έγιναν κατά τη δεκαετία 1980-1990, η Αθήνα συνεχίζει να συγκεντρώνει σήμερα το μεγαλύτερο κομμάτι των διοικητικών,

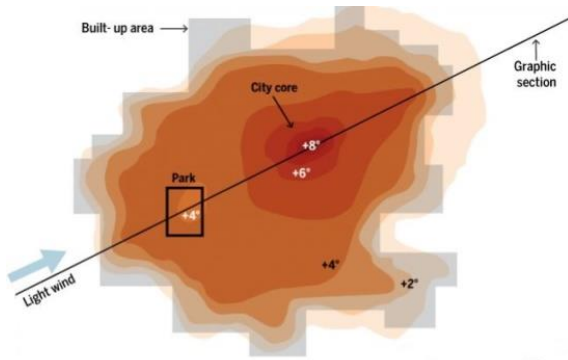
εμπορικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτιστικών δραστηριοτήτων της χώρας. Μόνο τη δεκαετία 1990-2000, η αστικοποίηση στην Αθήνα αυξήθηκε κατά 4,6% (Stathoroulou et al., 2009). Το φαινόμενο αυτό δεν είναι μόνο ελληνικό, αφού έρευνες δείχνουν ότι μέσα στην επόμενη δεκαετία, το 80% των Ευρωπαίων θα κατοικεί σε πόλεις, ενώ σε ορισμένες χώρες το ποσοστό εκτοξεύεται στο 90%. Η αύξηση του πληθυσμού της πόλης, αλλά και η αναζήτηση καλύτερης ποιότητας ζωής από τους κατοίκους, έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή επέκταση του αστικού ιστού της πόλης, κυρίως σε περιοχές με περισσότερο πράσινο. Το οποίο έχει άμεση επίδραση με το δείκτη ποιότητας ζωής (Stathoroulou and Cartalis, 2006).

Η μεταφορά του αεροδρομίου στα Σπάτα και η κατασκευή μεγάλων οδικών αρτηριών επιτάχυναν τα τελευταία χρόνια τη μετακίνηση των Αθηναίων περί-αστικά, κυρίως βορειανατολικά και νοτιοανατολικά του κέντρου της πόλης. Έτσι, πρώην παραθεριστικές περιοχές έγιναν περιοχές κύριας κατοικίας, με αντίστοιχη αύξηση των αστικών δραστηριοτήτων και διεύρυνση του αστικού περιβάλλοντος.

1.4.2 Φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας

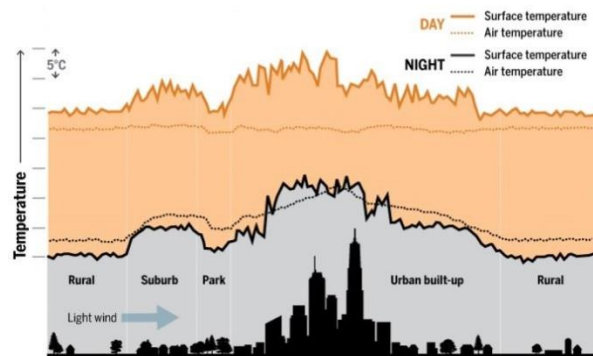
Με αυτή τη συνεχιζόμενη επέκταση του αστικού ιστού και τη διεύρυνση των οδικών αρτηριών και ασφαλτοστρώσεων, το αστικό περιβάλλον υπερτερεί ολοένα και περισσότερο του φυσικού. Με αυτό τον τρόπο η δόμηση και οι δρόμοι συμβάλλουν στην μεταβολή του ισοζυγίου ακτινοβολιών, διότι απορροφούν και επανεκπέμπουν θερμότητα κατά διαφορετικό τρόπο από ότι σε μια μη αστικοποιημένη περιοχή. Έτσι, ο αέρας των πόλεων είναι κατά μέσον όρο θερμότερος από τον αέρα στο μη αστικοποιημένο περιβάλλον και η αύξηση αυτή είναι ανάλογη κυρίως με τον πληθυσμό της πόλης. Βάσει αυτής της διαφορετικότητας των χαρακτηριστικών του χώρου, ενισχύεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

Ουσιαστικά, το **φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Urban Heat Island effect, UHI)** είναι χαρακτηριστικό των σύγχρονων και ιδιαίτερα πυκνοδομημένων πόλεων (Ζιώβας, 2013). Πλήθος ερευνών, όπως το πρόγραμμα ASCCUE (Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Environment, 2003-2006), περιλαμβάνουν μετρήσεις που αποδεικνύουν την ύπαρξη του φαινομένου (TCPA, 2007). Ενώ, πρόκειται για τη σημαντική διαφορά της θερμοκρασίας που εκδηλώνεται μεταξύ του κέντρου μιας πόλης και της περί-αστικής της περιοχής. Οφείλεται κυρίως στα διαφορετικά θερμικά χαρακτηριστικά των υλικών της πόλης σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος, που κάνουν τα αστικά κέντρα θερμότερα το πρωί αλλά και το βράδυ (Park, 1986).



Εικόνα 4: Απεικόνιση κάτοψης, της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ αστικού κέντρου και περί-αστικής περιοχής.⁸

Εικόνα 5: Τομή της εικόνας 4. Απεικόνιση φαινομένου Αστικής Θερμικής Νησίδας, ως την θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα και της επιφάνειας του εδάφους, πρωί και βράδυ.



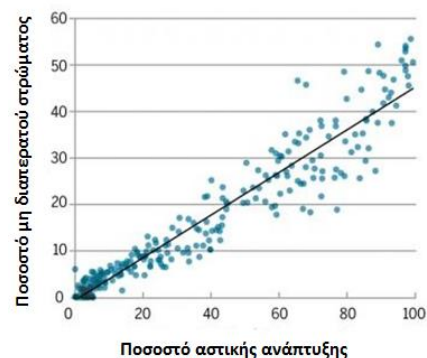
Κύρια αίτια πρόκλησης του φαινομένου είναι α) η γεωμετρία των δρόμων, β) οι θερμικές ιδιότητες των υλικών του αστικού περιβάλλοντος, γ) η ανθρωπογενής θερμότητα που απελευθερώνεται από τις καύσεις είτε κινητών είτε σταθερών πηγών, δ) το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Assimakopoulos et al., 2001).

Η αστικοποίηση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις επιφανειακές συνθήκες και τη σχέση τους με την ευρύτερη ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Το μεγαλύτερο μέρος των αστικών κέντρων καλύπτεται από δομικά, μη διαπερατά υλικά μικρής θερμοχωρητικότητας. Ενώ το φαινόμενο της αστικοποίησης φαίνεται να συνάδει με την ποσοστιαία αύξηση αυτών των υλικών (εικ.6).

Με αποτέλεσμα το αστικό κλίμα να διαφέρει σημαντικά από αυτό στα αγροτικά περιβάλλοντα.

Εικόνα 6:

Πηγή: www.sciencemag.org⁹



Τα κύρια υλικά που κυριαρχούν στο δομημένο περιβάλλον είναι η ασφαλτος και το τσιμέντο, που έχουν διαφορετικές θερμικές και ανακλαστικές ιδιότητες, σε

⁸ Use our infographics to explore the rise of the urban planet, www.sciencemag.org/news/2016/05/use-our-infographics-explore-rise-urban-planet?utm_source=print_feature_drupal&utm_medium=magazine&utm_campaign=campaign-4278
Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A. Urban Climates, forthcoming from Cambridge University Press

⁹ Διάγραμμα: Γραμμική αύξηση αστικής ανάπτυξης και δομημένου περιβάλλοντος με μη διαπερατά υλικά.

σύγκριση με τα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος. Τα υλικά αυτά μεταβάλλουν το ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς απορροφούν μάλλον, παρά αντανακλούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας.

Αυτό οφείλεται, στο ότι το δομημένο περιβάλλον έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την απελευθερώνει το βράδυ, μαζί με την μαζική απελευθέρωση της θερμότητας που προκαλείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα (όπως τη θέρμανση και τη ψύξη των κτιρίων, την οδική κυκλοφορία ή την δραστηριότητα μεταβολισμού του ανθρώπου). Αυτό οδηγεί στην δημιουργία υψηλότερων θερμοκρασιών εντός των πόλεων, σε σύγκριση με τις αγροτικές περιφέρειες, και στην αναδιαμόρφωση των κλιματικών συνθηκών κάθε περιοχής.

1.4.3 Ελλειψη Πρασίνου

Η **έλλειψη πρασίνου στις αστικές περιοχές** είναι ένας ακόμη παράγοντας που διαμορφώνει το ενεργειακό ισοζύγιο στο αστικό χώρο, λόγω περιορισμού του φαινομένου της εξατμισιοδιαπνοής και της ψύξης την οποία προκαλεί αυτό το φαινόμενο. Η ανεπάρκεια αστικού πρασίνου φαίνεται να παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στην Αθήνα, ενώ το φαινόμενο σχεδόν εξαλείφεται στα σημεία της πόλης με πυκνή και υψηλή βλάστηση, όπως για παράδειγμα ο Εθνικός Κήπος, (Livada et al., 2002). Η ευεργετική επίδραση του Εθνικού Κήπου στη θερμοκρασία σχεδόν εξανεμίζεται σε απόσταση μόλις λίγων μέτρων από αυτόν, στους δρόμους έντονης αστικής κυκλοφορίας (Zoulia et al., 2008). Ενώ γενικά έχει παρατηρηθεί ότι το κέντρο της πόλης κατά τη διάρκεια της ημέρας χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από την προαστιακή περιοχή.



Εικόνα 7: Central Park στην Νέα Υόρκη.

[Πηγή: google.com]

Με αποτέλεσμα το κέντρο της Αθήνας να είναι περίπου 7-8 °C θερμότερο από τα προάστια, ενώ σε δρόμους με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο, όπως η οδός Ιπποκράτους, η διαφορά να αγγίζει τους 12-13°C.

Η κατάληψη του αστικού χώρου από το τσιμέντο έχει σημαντικές ενεργειακές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εφόσον τα κτίρια ευθύνονται, σε μεγάλο ποσοστό, για

την ενεργειακή κατανάλωση, αλλά και για την εκπομπή ρύπων και αερίων. Ειδικότερα την Ελλάδα, τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και για το 45% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Ενώ παράλληλα, η υπερτέρηση δομικών υλικών εδαφοκάλυψης και η απουσία πρασίνου επηρεάζει τη δημόσια υγεία, επιβαρύνοντας τη συλλογική ψυχολογία των κατοίκων της πόλης εντείνοντας το αίσθημα δυσφορίας.

1.5 Κλιματική Αλλαγή στο δομημένο περιβάλλον

Δομημένο περιβάλλον αποτελεί κάθε κατασκευή που είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης προσπάθειας. Ο όρος περιγράφει ευρύτερα όχι μόνο το περιβάλλον, φυσικό ή τεχνητό, στο οποίο ζουν οι άνθρωποι, αλλά και τις επιδράσεις των ενεργειών του ανθρώπου σε αυτό. Γι' αυτό τον λόγο, η μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής επικεντρώνεται, για δύο λόγους κυρίως στα πυκνοδομημένα αστικά κέντρα. Αρχικά, γιατί ο κύριος όγκος των στοιχείων του δομημένου περιβάλλοντος συγκεντρώνεται στα αστικά κέντρα με αποτέλεσμα η συγκέντρωση αυτή δύναται να αυξήσει εκθετικά τα προβλήματα με το φαινόμενο να γίνεται εντονότερο στις μεγαλουπόλεις. Επιπλέον, γιατί εκτιμάται ότι μελλοντικά η πλειοψηφία του παγκόσμιου πληθυσμού θα συγκεντρωθεί στα αστικά κέντρα¹⁰. Η σχέση των πόλεων με την κλιματική αλλαγή φαίνεται να είναι πολύπλευρη εφόσον οι πόλεις όχι μόνο καταναλώνουν περίπου το 60 έως 80% της παραγόμενης ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα, αποτελώντας κύριες πηγές εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά, ταυτόχρονα ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσονται και λειτουργούν, επηρεάζει τη ζήτηση ενέργειας και κατά συνέπεια τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, (ΥΠΕΚΑ, 2016)¹¹.

Οι τομείς που οφείλονται στην κατανάλωση ενέργειας είναι ο κτιριακός τομέας, οι μεταφορές και η βιομηχανία. Στη παρούσα μελέτη, ως υπό μελέτη τομέας της κατανάλωσης ενέργειας εξετάζεται ο κτιριακός τομέας. Συνολικά, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον μπορούν να διακριθούν σε άμεσες και έμμεσες, καθώς και σε αγοραίες και μη αγοραίες, (ΤτΕ, 2011). Ο παρακάτω πίνακας 1 αποτελεί απόσπασμα από πίνακα που συνοψίζει τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις, όπως αυτές αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, βάσει των κλιματολογικών μελετών που έχουν γίνει από το Κέντρο Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών.

¹⁰ Μέχρι το 2050 υπολογίζεται (UN World Urbanization Prospects, 2010) ότι περισσότερο από τα 2/3 του πληθυσμού της γης –γύρω στο 68%– θα κατοικεί σε αστικές περιοχές μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας. Μάλιστα το ποσοστό αυτό στις ανεπτυγμένες χώρες θα πλησιάζει το 86%.

¹¹ <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=303>

Πίνακας 1: Επιπτώσεις που σχετίζονται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας

[Πηγή: Απόσπασμα πίνακα από: Τ.Ε.Ε. 2011. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α.]

Κλιματικοί Παράγοντες	Άμεσες επιπτώσεις
Αύξηση μέσης θερμοκρασίας	Αύξηση ζήτησης για ενέργεια το καλοκαίρι (ψύξη)
	Φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας - (<i>Urban Heat Island</i>)
	Μείωση ζήτησης για ενέργεια το χειμώνα (θέρμανση)
Αύξηση συχνότητας καυσώνων	Αύξηση ενεργειακής ζήτησης για κλιματισμό.
	Μείωση θερμικής άνεσης (<i>thermal comfort</i>) στα αστικά κέντρα και στους εσωτερικούς χώρους.

Συνεπώς, η συνεχής αυτή εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών και περιόδων καυσώνων καθώς και η συνεχής αυτή επέκταση του αστικού ιστού της Αθήνας, ως απόρροια του φαινομένου της αστικοποίησης οδηγεί σε ραγδαία αύξηση των ενεργειακών αναγκών για κατανάλωση. Ενώ ταυτόχρονα η εκλυόμενη ενέργεια του όγκου των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις πόλεις και η κακή χρήση υλικών εδαφοκάλυψης να ενισχύει όλο και περισσότερο την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στο αστικό μικροκλίμα. Με αποτέλεσμα, ο κτιριακός τομέας να λαμβάνει σημαντικό μέρος στην συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας, μέσω των θερμικών και ψυκτικών αναγκών του κτιρίου, της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό και της λειτουργίας των συσκευών του κτιρίου. Αυτό ενισχύεται, ιδιαίτερα, την εποχή του καλοκαιριού, με τις ανάγκες ζήτησης ενέργειας για ψύξη να αυξάνονται διαρκώς. Αυτό έχει ως αποτελέσματα τη δημιουργία ενός εξαιρετικά επικίνδυνου ενεργειακού αποτυπώματος, το οποίο έχει άμεσες επιπτώσεις στο κλίμα, στη θερμική άνεση και γενικότερα στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων.

Ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα ευθύνεται για το 1/3 περίπου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και για το 36% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Στη χώρα μας, οι εκπομπές CO_2 από τον κτηριακό τομέα παρουσίαζαν πριν από την περίοδο της οικονομικής κρίσης ετήσιο ρυθμό αύξησης περί το 4%. Ενώ, σχεδόν το 65% των κτηρίων που διαθέτει η χώρα είναι κατασκευασμένα πριν από το 1980 και δεν ενσωματώνουν σχεδόν κανένα σύστημα θερμοπροστασίας, όπως μόνωση, διπλά υαλοστάσια κ.λπ, ενώ παράλληλα η συνεχόμενη αύξηση του χώρου διαβίωσης ανά άτομο, αυξάνει την ενεργειακή ζήτηση ανά άτομο. Με αποτέλεσμα, η ανάγκη για θέρμανση των κατοικιών να εκτιμάται γύρω στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης (ΚΑΠΕ, 2009). Ενώ επίσης έως το 2010, η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσίαζε αυξητική τάση λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Ωστόσο, ως απόρροια της οικονομικής ύφεσης η τάση αυτή έχει αναστραφεί μετά το 2011 (Slini et al., 2015).

Έτσι, η αύξηση της θερμοκρασίας, ως κλιματικός παράγοντας μεταβολής, φαίνεται ότι μπορεί να συμβάλει στη μείωση των θερμικών αναγκών των κτιρίων ενώ,

ταυτόχρονα μπορεί αυξήσει και τις ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό κατά τη θερινή περίοδο. Ενώ, στα μη κλιματιζόμενα κτίρια μπορεί να επιφέρει σοβαρή επιδείνωση των συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη θερινή περίοδο. Έτσι, φαίνεται ότι η κλιματική μεταβολή έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων που διαμορφώνουν παράλληλα και τις συνθήκες θερμικής άνεσης των ανθρώπων στο χώρο.

1.6 Προσαρμογή κτιριακού τομέα στην κλιματική αλλαγή

Η κλιματική μεταβολή, όπως περιγράφηκε, αυξάνει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας στον κτηριακό τομέα, ιδίως κατά τη θερινή περίοδο, ενώ παράλληλα επιβαρύνει το εσωτερικό περιβάλλον των κτηρίων και υποβαθμίζει τα επίπεδα της εσωτερικής θερμικής άνεσης.

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών προϋποθέτει το σχεδιασμό και την εφαρμογή πολιτικών προσαρμογής¹² σε δύο άξονες. Ο πρώτος άξονας αφορά ενέργειες που στοχεύουν στη βελτίωση των θερμικών χαρακτηριστικών, του αστικού περιβάλλοντος (μέσω βιοκλιματικού σχεδιασμού) και ο δεύτερος σε ενέργειες που στοχεύουν στη μείωση των θερμικών και ενεργειακών αναγκών των κτηρίων (τεχνολογική προσαρμογή με χρήση ΑΠΕ).

➤ Βελτίωση αστικού περιβάλλοντος μέσω βιοκλιματικού σχεδιασμού

Βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος μπορεί να επιτευχθεί με ολοκληρωμένες ενέργειες, χάρη στις οποίες μεταβάλλεται το θερμικό ισοζύγιο του συγκεκριμένου αστικού χώρου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον αρχιτεκτονικό επανασχεδιασμό των χώρων, την αύξηση της κυκλοφορίας του αέρα, τη χρήση ψυχρών υλικών, τη χρήση πράσινου και νερού, κ.λπ. Οι τεχνολογίες αυτές είναι εξαιρετικά ώριμες πλέον και, όπου εφαρμόζονται, συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση του θερμικού καθεστώτος των χώρων. Μια μελέτη Βιοκλιματικού σχεδιασμού μπορεί επίσης να εξασφαλίσει μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων. Ο **Βιοκλιματικός σχεδιασμός** αφορά ουσιαστικά την ενσωμάτωση παθητικών στοιχείων στην κατασκευή του κτιρίου που μπορούν, πέρα από τη μόνωση, να επιτρέπουν τη φυσική θέρμανση, τον φυσικό δροσισμό και τον φυσικό φωτισμό του κτιρίου. Τέτοια στοιχεία σχεδιασμού μπορεί να είναι η κατάλληλη διάταξη των ανοιγμάτων, ώστε να δημιουργούν φυσικό ρεύμα αέρα, ο προσανατολισμός και η σκίαση του κτιρίου, ώστε να εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση και φως, η ενσωμάτωση φυσικών στοιχείων για σκίαση κλπ. (Paradopoulos, 2007).

Όπως προαναφέρθηκε, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες πόλεις είναι η έλλειψη χώρων πρασίνου. Η ενσωμάτωση χώρων πρασίνου στο αστικό ιστό, μέσω του *Βιοκλιματικού σχεδιασμού*, αποτελεί τρόπος μείωσης της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας την καλοκαιρινή περίοδο που οδηγεί και στη μείωση της ζήτησης για κατανάλωση ενέργειας μέσω των κλιματιστικών. Πέρα

¹² <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=303> ,<http://climate-adapt.eea.europa.eu/>

της δεμένης αύξησης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων για μειωμένη κατανάλωση είτε το καλοκαίρι είτε το χειμώνα, η χρήση πρασίνου συμβάλει επίσης και στην αισθητική, μορφολογική και ποιοτική αναβάθμιση των πόλεων, αλλά και στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων. Η χρήση πρασίνου στο αστικό περιβάλλον μπορεί να βοηθήσει με ποικίλους τρόπους την πόλη, κάνοντας την ανθεκτική και βιώσιμη. Η επίδραση του θα μελετηθεί εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο, εφόσον αποτελεί και την κύρια παράμετρο παραμετροποίησης στην ανάλυση περίπτωσης και μοντελοποίησης.

➤ **Εφαρμογή προηγμένων συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας – ΑΠΕ**

Η μείωση ή και ο μηδενισμός της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, προς την κατεύθυνση του μηδενικού ενεργειακού αποτυπώματος, μπορεί να επιτευχθεί με τη συνδυασμένη χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι τεχνολογίες εξοικονόμησης είναι πλέον εξαιρετικά ώριμες, σημαντικά μειωμένου κόστους και μπορούν να περιορίσουν την ενεργειακή κατανάλωση ενός συμβατικού κτιρίου έως και κατά 90%. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που συμβάλουν κυρίως στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων, είναι η ηλιακή ενέργεια με τη χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων, όπως τα φωτοβολταϊκά και η γεωθερμική ενέργεια με τη χρήση της αβαθούς γεωθερμίας (Κυριάκης κ.ά., 2008).

Επίσης, η χρήση φυσικού αερίου αντί πετρελαίου, για θέρμανση, η χρήση αντλιών θερμότητας αντί μεμονωμένων μονάδων ψύξης, η ενσωμάτωση έξυπνων συστημάτων ρύθμισης της θερμοκρασίας κλπ. είναι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας. Παράλληλα, η χρήση τεχνολογιών όπως ο ηλιακός κλιματισμός αλλά και η αποθήκευση θερμότητας αποτελούν λύσεις που μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην κατεύθυνση των κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Oxizidis et al., 2008).

2.1 Αειφόρος Ανάπτυξη – ανάγκη για βιωσιμότητα

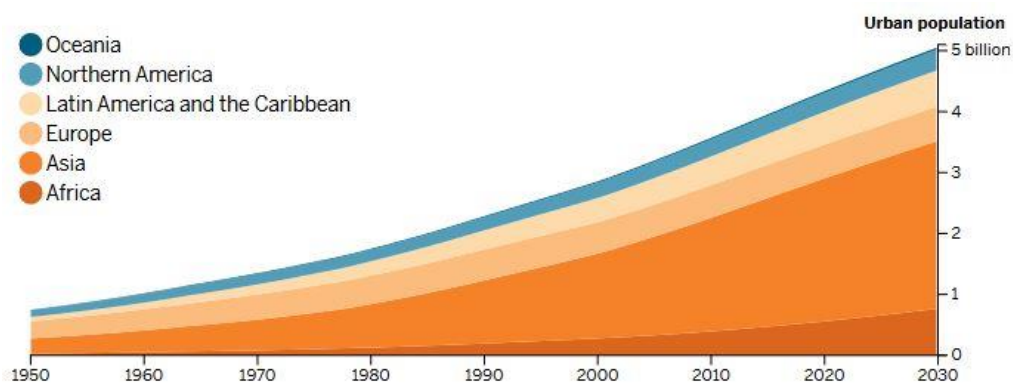
Ο ορισμός της βιώσιμης ανάπτυξης δόθηκε από την Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (Έκθεση Brundtland) (UN, 1987). Σύμφωνα με αυτόν, «η δυνατότητα να γίνει η ανάπτυξη βιώσιμη είναι να εξασφαλιστεί ότι απαντά στις ανάγκες του σήμερα, χωρίς να περιορίσει τη δυνατότητα των ερχόμενων γενεών να αντιμετωπίσουν τις δικές τους ανάγκες». Η βιώσιμη ανάπτυξη επανατοποθετεί ουσιαστικά τις σχέσεις μεταξύ Οικονομίας και Περιβάλλοντος και προτείνει νέες κατευθύνσεις και προτεραιότητες για την Περιβαλλοντική Διαχείριση. Σχεδόν εξίσου συχνά με τον όρο ανάπτυξη εμφανίζονται οι όροι «βιώσιμη ανάπτυξη» ή «αιεφόρος ανάπτυξη» (sustainable development). Συνεπώς, η αειφόρος ανάπτυξη ή βιώσιμη ανάπτυξη αναφέρεται στην οικονομική ανάπτυξη που σχεδιάζεται και υλοποιείται, λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα. Στην Ελλάδα, ιδιαίτερα, χρησιμοποιείται ο όρος «πράσινη ανάπτυξη» και η «πράσινη οικονομία». Ωστόσο, τονίζεται πως αυτό που την κάνει να διαφέρει από του όρους «αιεφόρος ανάπτυξη» ή «βιώσιμη ανάπτυξη» είναι ότι δίνει προτεραιότητα στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, με την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) ως «πράσινων» τεχνολογιών χαμηλής περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, και όχι στην οικονομική ανάπτυξη.

Οι τρεις βασικοί άξονες της αειφόρου ανάπτυξης είναι το περιβάλλον, η οικονομία και η κοινωνία. Η αειφόρος ανάπτυξη είναι, λοιπόν ευρύτερη έννοια, η οποία δεν κοιτάει μόνο το άμεσο περιβαλλοντικό όφελος, αλλά όλες τις διαστάσεις της αειφορίας, συμπεριλαμβάνοντας οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια. Συνεπώς με τον όρο «βιώσιμη ανάπτυξη» περιγράφεται οποιαδήποτε επένδυση, τεχνολογία ή μέτρο ενσωματώνει στοιχεία περιβαλλοντικής προστασίας και ενεργειακής εξοικονόμησης. Την 25^η Σεπτεμβρίου 2015, δημιουργήθηκε η **«νέα ατζέντα βιώσιμης ανάπτυξης»**, που αφορά 17 στόχους υπέρ της βιωσιμότητας για τα 15 επόμενα χρόνια. Η κάθε χώρα ως ένα σύνολο από κυβερνητικές, ιδιωτικές και δημόσιες αρχές και υπηρεσίες, οφείλει βάσει των στόχων να καταπολεμήσει την φτώχεια, να προστατεύσει τον πλανήτη και να εξασφαλίσει ευημερία για όλους.



Εικόνα 8: Οι 17 στόχοι για Βιώσιμη Ανάπτυξη, βάσει του διεθνή οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, (UN, 2015)¹³

Παρά τις όποιες διαφορές τους, τόσο η «αιεφόρος ανάπτυξη ή βιώσιμη ανάπτυξη», όσο και η «πράσινη ανάπτυξη ή πράσινη οικονομία», χρησιμοποιούν τα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία που παρέχει η επιστήμη των περιβαλλοντολόγων μηχανικών, καθώς και τις αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Έτσι, μεταξύ των 17 στόχων που θέτει ο ΟΗΕ για μια βιώσιμη ανάπτυξη τίθεται και η δημιουργία των βιώσιμων πόλεων και κοινωνιών (11^{ος} στόχος). Ο ΟΗΕ θέτει ως στόχο την βιωσιμότητα των πόλεων, δεδομένου ότι στις πόλεις συγκεντρώνεται ο μισός πληθυσμός του κόσμου – 3,5 δισεκατομμύρια. Ενώ μέχρι το 2030, σχεδόν το 60% του πληθυσμού εκτιμάται ότι θα μένει σε αστικό περιβάλλον. Παράλληλα, λόγω της συνεχόμενης αυτής αυξητικής τάσης, μέχρι το 2050, προβλέπεται ότι περίπου δύο στους τρεις θα ζουν σε αστικό περιβάλλον.



Εικόνα 9: Παρουσίαση της διαχρονικής πληθυσμιακής αύξησης (1950-2030)¹⁴.

¹³ <http://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2015/09/why-should-you-care-about-the-sustainable-development-goals/>

Επίσης, βάσει στοιχείων του ΟΗΕ¹⁵, σημειώνεται ότι ενώ οι πόλεις του κόσμου καταλαμβάνουν μόνο το 3% της γης, οφείλονται για το 60-80% της ενεργειακής κατανάλωσης και για το 75% των εκπομπών άνθρακα. Συνεπώς, η αύξηση αυτή του πληθυσμού θα έχει ως αποτέλεσμα και την συγκέντρωση των προβλημάτων της ενδείας, της κλιματικής αλλαγής, της υγείας και εκπαίδευσης στο αστικό περιβάλλον στα αστικά κέντρα. Οι πόλεις αποδεκτά αποτελούν το κέντρο των ιδεών, του εμπορίου, του πολιτισμού, της επιστήμης, παραγωγικότητας, της κοινωνικής ανάπτυξης και πολλών ακόμη παραγόντων που οδηγούν την κοινωνία σε κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη. Γι' αυτό τον λόγο οι αστικές περιοχές είναι σημαντικό να συνεχίζουν να μεγαλώνουν και να ευημερούν με βιώσιμο τρόπο, αξιοποιώντας τους πόρους και μειώνοντας την ρύπανση και ένδεια, παρέχοντας ταυτόχρονα πρόσβαση σε υπηρεσίες, ενέργεια, περίθαλψη, μεταφορά κ.α.

Όμως, ο πλούτος αυτός της τεχνολογικής καινοτομίας που συναντάται στις πυκνοδομημένες πόλεις μπορεί να αξιοποιηθεί προς όφελος της μείωσης του αρνητικού αντίκτυπου που απαντάται σε αυτές, μέσω της υπέρμετρης κατανάλωση ενέργειας και πόρων. Συνεπώς, ο σχεδιασμός των πόλεων βάσει της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, όπως αναφέρθηκε, αποτελεί τρόπος ενίσχυση της βιωσιμότητας της. Ως **βιοκλιματικός σχεδιασμός ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική** νοείται ο σχεδιασμός κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών – υπαίθριων) ο οποίος επιδιώκει την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης με τη όσο το δυνατόν πιο εκτεταμένη χρήση παθητικών συστημάτων δροσισμού & θέρμανσης. Για το σκοπό αυτό αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές, το τοπικό κλίμα, συνήθως αναφερόμενο ως (αστικό) μικροκλίμα, καθώς και τις ιδιότητες των υλικών δόμησης και τα αρχιτεκτονικά στοιχεία. Η βιοκλιματική είναι κλάδος της αρχιτεκτονικής που λαμβάνει υπ' όψη τις αρχές της οικολογίας και της βιωσιμότητας, ενώ αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων.

2.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός χώρου και κτιρίων

Με τον όρο «βιοκλιματικός σχεδιασμός» εννοείται ο σχεδιασμός ο οποίος αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά τον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών – υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα. Σκοπό έχει την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.

¹⁴ Use our infographics to explore the rise of the urban planet, www.sciencemag.org/news/2016/05/use-our-infographics-explore-rise-urban-planet?utm_source=print_feature_drupal&utm_medium=magazine&utm_campaign=campaign-4278

¹⁵ <http://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>

Ο Βιοκλιματικός σχεδιασμός κινείται στα πλαίσια της οικολογικής δόμησης, η οποία λαμβάνει υπόψη της, τις περιβαλλοντικές παραμέτρους των κτιριακών οντοτήτων. Συνεπώς, οι βιοκλιματικές μελέτες σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το σχεδιασμό των κτιρίων, το δομημένο περιβάλλον - και τα προβλήματα - που αυτό δημιουργεί (αύξηση θερμοκρασίας, συγκέντρωση αέριων ρύπων, δυσκολία στην κυκλοφορία αέρα) καθώς και τα δομικά υλικά, που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες με τις θερμικές και οπτικές τους ιδιότητες. Βασικά στοιχεία του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού είναι τα ηλιακά παθητικά συστήματα που συμβάλλουν στον περιορισμό κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και στην ανάδειξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Σκοπός, λοιπόν του σχεδιασμού, είναι η ενεργειακή κάλυψη των κτιρίων, με ταυτόχρονα μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον (*zero energy buildings*¹⁶). Για να γίνει αυτό, οι ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων για θέρμανση και ψύξη θα πρέπει να καλύπτονται μέσω των ΑΠΕ, δηλαδή μέσω της γεωθερμίας, της αιολικής και ηλιακής ενέργειας – χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων, ανάλογα κάθε φορά τις συνθήκες στο μικροκλίμα κάθε περιοχής.

Η πρακτική της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής έχει πολλαπλά οφέλη¹⁷ που συνεπάγεται, ενεργειακά με την εξοικονόμηση και θερμική/οπτική άνεση, οικονομικά με την μείωση κόστους των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, περιβαλλοντικά με την μείωση των ρύπων, και κοινωνικά με την εξασφάλιση καλής ποιότητας ζωής. Η ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών για εξοικονόμηση ενέργειας, επιτάσσει την αξιοποίηση των ΑΠΕ και τη λήψη μέτρων, για την ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων και τη βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων.

➤ Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού Σχεδιασμού¹⁸ σχετίζονται με (1) την αρχιτεκτονική δομή του κτιρίου, (2) τον προσανατολισμό του κτιρίου, (3) τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου.

Η **αρχιτεκτονική δομή** του κτιρίου έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά του όγκου του, όπως το σχήμα του, τα ανοίγματα στην όψη του, τα πιθανά γειτονικά εμπόδια, τους τοίχους και το υλικό κατασκευής αυτών, τη κλίση αναγλύφου και τη χρήση κάθε χώρου εντός του κτιρίου. Όσον αφορά τον **προσανατολισμό**, συνίσταται η όψη του κτιρίου να είναι προσανατολισμένη προς το νότο με απόκλιση έως 30 μοίρες (ανατολικά ή δυτικά). Ενώ για όσον αφορά τον **περιβάλλοντα χώρο**, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το μικροκλίμα γύρω από την κατοικία. Αστικό μικροκλίμα νοείται ως όλα τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν τον περιβάλλοντα χώρο, δηλαδή τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως θερμοκρασία, υγρασία, ροή ανέμου, ηλιακή

¹⁶ <http://www.zeroenergybuildings.org/>

¹⁷ http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_bioclimatikos.htm

¹⁸ Ευώνυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη. 2009. Οικολογικά Κτίρια σε Αειφόρες Πόλεις. Ανακτήθηκε από: <http://www.evonymos.org/greek/eidikathemata.asp?parentid=14>

ακτινοβολία, καθώς και τα στοιχεία του χώρου, όπως δομικά στοιχεία, εμπόδια, βλάστηση.

Τα χαρακτηριστικά του βιοκλιματικού σχεδιασμού, οφείλουν να δημιουργούν το «ιδανικό αστικό κλίμα», εξασφαλίζοντας την κλιματική ποιότητα και τις συνθήκες άνεσης των ατόμων. Τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν το περιβάλλοντα χώρος και βοηθούν τις βιοκλιματικές μελέτες σχεδιασμού θα αναλυθούν εκτενώς παρακάτω.

Βάσει των παραπάνω, η γενικότερη αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού θέτει ότι η Νότια πλευρά του κτιρίου πρέπει να χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση, ενώ αντίθετα η Βόρεια για προστασία από τους ανέμους και ανάσχεση της θερμότητας.

2.3 Στόχοι του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

Ο κύριος στόχος του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού είναι να διασφαλίζει τη κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο τόσο την χειμερινή όσο και την θερινή περίοδο, δημιουργώντας έτσι συνθήκες άνεσης για τα άτομα που δραστηριοποιούνται σε αυτόν. Έτσι, βάσει της αρχιτεκτονικής δομής του κτιρίου, τον προσανατολισμό του και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου γίνεται και η ανάλογη αξιοποίηση ή μη της ροής του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο παρακάτω πίνακα ταξινομούνται οι κύριοι στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού, βάσει την περίοδο εφαρμογής του.

Πίνακας 2: Στόχοι Βιοκλιματικού Σχεδιασμού χώρου και κτιρίων ανά χρονική περίοδο

ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ
Εξασφάλιση ηλιασμού → θέρμανση χώρων μέσω ηλιακής ενέργειας	Εξασφάλιση ηλιοπροστασίας → Μείωση ενεργειακών αναγκών ψύξης στα κτίρια
Μείωσης των θερμικών απωλειών	Απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας
Προστασία από τους δυνατούς ανέμους	Εκμετάλλευση ανέμων για φυσικό αερισμό και δροσισμό
Βελτίωση και ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών ενός χώρου για επίτευξη θερμικής άνεσης των ατόμων	
Εξασφάλιση συνθηκών άνεσης (θερμική – οπτική – ακουστική)	
Βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο	

Στόχος, λοιπόν, κάθε βιοκλιματικής αναβάθμισης στο αστικό περιβάλλον είναι η βελτίωση της κλιματικής ποιότητας στο χώρο αυτό. Γι' αυτό τον λόγο, κάθε βιοκλιματική μελέτη αναβάθμισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα στοιχεία του εξωτερικού περιβάλλοντος που επηρεάζουν την κλιματική ποιότητα, αλλά και το αποτύπωμα της βιοκλιματικής επέμβασης σε αυτά. Συνεπώς, η **κλιματική**

ποιότητα στον αστικό χώρο καθορίζεται από την κατάσταση του αστικού ιστού, δηλαδή τις συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης αλλά και της άνεσης λόγω αέρα (*occupant comfort*)¹⁹, της ποιότητας του αέρα και της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Ενώ οι **βασικές περιβαλλοντικές παράμετροι** που καθορίζουν την κλιματική ποιότητα (επομένως και το αστικό μικροκλίμα) είναι η αστική μορφολογία, το πεδίο της ακτινοβολίας και το πεδίο του ανέμου, η θερμοκρασία – υγρασία. Έτσι, κάθε μια από τις παραπάνω περιβαλλοντικές παραμέτρους επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης στο αστικό περιβάλλον και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε βιοκλιματική μελέτη αναβάθμισης. Οι παράμετροι αυτοί θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενη ενότητα (2.4). Ενώ παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες που διαμορφώνουν την κλιματική ποιότητα στο αστικό περιβάλλον, με έμφαση στη θερμική άνεση ως τον σημαντικότερο παράγοντα καθορισμού της κλιματικής ποιότητας.

➤ Θερμική άνεση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την κλιματική ποιότητα στον αστικό χώρο είναι η θερμική άνεση. Με την διατήρηση της θερμικής άνεσης ενός ανθρώπου, διασφαλίζεται ότι δεν θα νιώθει ούτε πολύ ζέστη ούτε πολύ κρύο, δηλαδή οι παράγοντες της θερμοκρασίας, υγρασίας, ανεμοροής και ηλιακής ακτινοβολίας θα βρίσκονται στα επιτρεπτά όρια άνεσης. Σύμφωνα με την *Αμερικάνικη Επιστημονική Εταιρεία Θέρμανσης Ψύξης και Κλιματισμού (πρότυπο ASHRAE 55-92, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning)*²⁰, ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ο άνθρωπος δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες. Η βιοκλιματική πρόταση παρέμβασης είναι σημαντικό να λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους που συνιστούν την θερμική άνεση σε εξωτερικού χώρους. Αυτό γιατί ο βαθμός, η ένταση καθώς και η αποδοτικότητα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων εξαρτώνται άμεσα από το επίπεδο άνεσης ή δυσφορίας που βιώνουν όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες.

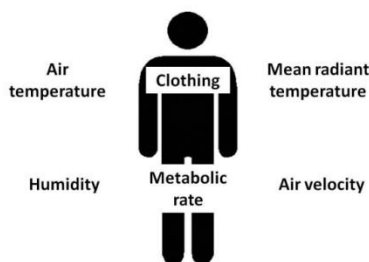


Η έννοια της θερμικής άνεσης στηρίζεται στην αρχή του ότι, σε σταθερές συνθήκες, η παραγωγή θερμότητας θα πρέπει να ισούται με τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία του σώματος γύρω στους 37 °C, περίπου. Συνεπώς, η θερμική άνεση είναι μια σύνθετη έννοια, καθώς επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Το θερμικό περιβάλλον αρχικά χαρακτηρίζεται από τις **φυσικές παραμέτρους**, της θερμοκρασίας του αέρα, της ταχύτητας του ανέμου, της

¹⁹ <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/occupant-comfort>

²⁰ <https://www.ashrae.org/home>

σχετικής υγρασίας, της μέσης θερμοκρασίας της ακτινοβολίας, οι οποίες καθορίζουν και τον βαθμό αίσθησης θερμικής άνεσης. Οι φυσικές αυτοί παράμετροι διαφοροποιούνται ανάλογα με την χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Ο χώρος επιδρά βάσει της αστικής μορφολογίας του, λαμβάνοντας υπόψη τα υλικά στις επιφάνειες, το ανάγλυφο αλλά και την σκίαση, που συμπεριλαμβάνεται στη χρονική μεταβλητότητα. Οι φυσικές παράμετροι όμως δεν είναι οι μόνες που καθορίζουν την θερμική άνεση. Παράγοντες που έχουν να κάνουν με τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα οργανικοί, που αφορούν το φύλο, την ηλικία και τα φυλετικά χαρακτηριστικά αλλά και προσωπικοί, το επίπεδο δραστηριότητας, ο μεταβολικός τους ρυθμός και ο ρουχισμός είναι επίσης καθοριστικοί για την θερμική άνεση.



Εικόνα 10: Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση.

[Πηγή: *Heat Stress indices (2010)*, Ανακτήθηκε από:

<https://diamondenv.wordpress.com/tag/thermal-environment/>]

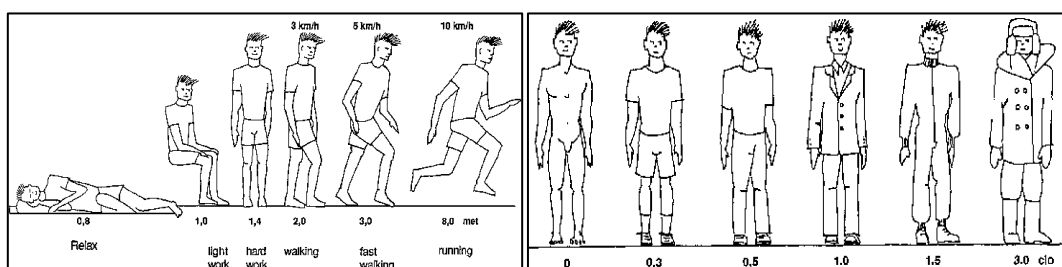
Ο πιο συνηθισμένος παράγοντας που καθορίζει την θερμική άνεση, λοιπόν είναι η θερμοκρασία του αέρα. Παρ' όλα αυτά δεν είναι ακριβές να οριστεί η θερμική άνεση ή στρες βάσει μόνο αυτόν τον παράγοντα. Γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα ένα σύνολο περιβαλλοντικών και προσωπικών παραμέτρων. Παρακάτω, οι παράμετροι ταξινομούνται ανά κατηγορίες.

Πίνακας 3: Παράμετροι καθορισμού θερμικής άνεσης ανά κατηγορία και τύπο επίδρασης. [Πηγή: <http://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/factors.htm>]

ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Η Θερμοκρασία αέρα στο χώρο	Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ποδιών - κεφαλιού πρέπει να είναι μέχρι 3°C, με ιδανική θερμοκρασία δαπέδου 19-29 °C.
Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών	Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από κάθε αντικείμενο στον χώρο. Έχει μεγαλύτερη επιρροή στην ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον απ' ότι η θερμοκρασία του αέρα.
Η ταχύτητα αέρα	Η σημασία του στην θερμική άνεση αφορά την διαφοροποίηση του ανάλογα τη δραστηριότητα του ατόμου, αυξάνοντας αναλόγως την ένταση.

Η σχετική υγρασία	Σχετική υγρασία είναι ο λόγος του ποσού της υγρασίας στον αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε, αν ήταν κορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Μεταξύ 40% και 70% δεν έχει επίδραση στην θερμική άνεση. Σε θερμά περιβάλλοντα, η υψηλή υγρασία είναι σημαντική γιατί εξατμίζεται λιγότερος ιδρώτας.
ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Το φύλλο των ατόμων	Ανάλογα το φύλλο και την ηλικία διαφοροποιούνται οι δραστηριότητες που αφορούν τον μεταβολισμό κάθε ανθρώπου.
Η ηλικία των ατόμων	
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Το είδος δραστηριότητας των ατόμων. Μεταβολικός ρυθμός $1 \text{ met} = 58 \text{ W} * \text{m}^{-2}$	Περιγράφει τη θερμότητα που παράγεται στο σώμα, ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων. Όσο μεγαλύτερη είναι η φυσική δραστηριότητα του ατόμου, τόσο μεγαλύτερη θερμότητα παράγεται και τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη να αποβάλει αυτή τη θερμότητα για να μην υπερθερμανθεί το σώμα. Σκοπός είναι να διατηρείται το σώμα σε μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία 36.7°C. Ωστόσο, η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος. Συνεπώς, οι αντιδράσεις μεταβολισμού συμβαίνουν συνεχώς για να αντισταθμίσουν την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. (εικόνα 11)
Ο τύπος ρουχισμού των ατόμων $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$	Επηρεάζει την θερμική άνεση, μέσω της ιδιότητας να αποβάλλεται θερμότητα προς το περιβάλλον. Αφορά δηλαδή τη θερμική αντίσταση στην ανταλλαγή θερμότητας, μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και της γύρω ατμόσφαιρας, που οφείλεται στο ρουχισμό. (εικόνα 11)



Εικόνα 11: Μεταβολικός ρυθμός ανάλογα την δραστηριότητα (αριστερά), επίπεδο ρουχισμού (δεξιά).

[Πηγή: World Environmental Library]

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:

1. **Ο δείκτης Ισχύος Αποψύξεως (Cooling Power, CP)** εκφράζει το ρυθμό της απώλειας θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος που διατηρείται στη θερμοκρασία των 36.5 °C (σταθερή θερμοκρασία) όταν η επιφάνεια αυτή εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ενώ προτιμάται σε εφαρμογές μέτρησης της θερμικής άνεσης σε εξωτερικού χώρους.

2. **Ο δείκτης Αναμενόμενης Μέσης Αποδοχής (Predicted Mean Vote, PMV)** αφορά την συσχέτιση της θερμικής άνεσης και του θερμικού αισθήματος, συνδέοντας τα επίπεδα περιβαλλοντικών παραμέτρων με τα επίπεδα δραστηριότητας και ρουχισμού. Ο δείκτης της αναμενόμενης μέσης αποδοχής δίνεται από τη σχέση:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) * L$$

όπου M είναι ο Μεταβολικός Ρυθμός και L το θερμικό φορτίο που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας και των απωλειών προς το περιβάλλον.

Η κλίμακα που έχει συνταχθεί είναι μεταξύ του -3 (αίσθηση κρύου) και του +3 (ζέστη), με το 0 να αποτελεί την ουδέτερη κατάσταση, ενώ θεωρείται αποδεκτό για τον δείκτη το εύρος τιμών από -0.5 έως 0.5. (Πίνακας 4)

Ο δείκτης, ενώ χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αίσθησης θερμικής άνεσης ενός ατόμου αγνοεί συγκεκριμένες συνθήκες που μπορούν να επιφέρουν δυσφορία, όπως για παράδειγμα πολύ υψηλές θερμοκρασίες εδάφους, σημαντική ασυμμετρία στην ακτινοβολία ή μεγάλες κατακόρυφες μεταβολές της θερμοκρασίας.

Πίνακας 4: Επίπεδα θερμικής άνεσης

PMV	Αίσθηση Θερμότητας	Φυσιολογία
>3	Πολύ ζέστη, μη αποδεκτό	αδυναμία ρύθμισης της εξάτμισης
+2 έως +3	Ζέστη, μη αποδεκτό	έντονη εφίδρωση
+1 έως +2	Ζέστη, δυσφορία, μη αποδεκτό	εφίδρωση
+0.5 έως +1	Λίγο ζεστά, μη αποδεκτό	μικρή εφίδρωση, αγγειοδιαστολή
-0.5 έως +0.5	Άνετα, αποδεκτό	φυσιολογική θερμική ουδετερότητα
-1 έως -0.5	Λίγο δροσερά, μη αποδεκτό	αρχική αγγειοσυστολή
-2 έως -1	Δροσερά, μη αποδεκτό	αργή ψύξη σώματος
-3 έως -2	Κρύο, μη αποδεκτό	τρέμουλο

3. **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. Χρησιμοποιείται κυρίως για μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους.

4. **Ο δείκτης Κανονικής Ενεργού Θερμοκρασίας (Standard Effective Temperature, SET*)** συγκρίνει την φυσιολογική κατάσταση ενός ατόμου με ένα περιβάλλον αναφοράς. Μοιάζει στο τρόπο υπολογισμό με τον PMV και χρησιμοποιείται κυρίως για μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους.

➤ **Οπτική άνεση**

Η οπτική άνεση²¹ αποτελεί παράμετρο καθορισμού της κλιματικής ποιότητας που πρέπει να ελέγχετε σε περιπτώσεις βιοκλιματικής πρότασης παρέμβασης. Η διατήρηση της εξασφαλίζει ότι οι άνθρωποι έχουν αρκετό φως για τις δραστηριότητες τους. Η οπτική άνεση σχετίζεται επίσης με την διείσδυση και κατανομή του φωτός σε έναν αστικό χώρο. Αυτό αποτελεί σημασία, εφόσον η επάρκεια φωτός προσδίδει ένα καλοσχεδιασμένο αστικό χώρο που αναδεικνύει το δομημένο περιβάλλον, την βλάστηση, περιορίζοντας τα φαινόμενα οπτικής δυσφορίας, όπως η θάμβωση. Η θάμβωση αφορά την οπτική όχληση που προκαλείται όταν στο οπτικό πεδίο επικρατούν υψηλές τιμές ή μεγάλες αντιθέσεις φωτεινότητας. Η οπτική άνεση διασφαλίζεται μέσω ελέγχου εκπομπής ή ανάκλασης του φωτός στα διάφορα υλικά των κάθετων (π.χ. προσόψεις κτιρίων) και οριζόντιων επιφανειών (π.χ. πεζοδρόμια). Συνεπώς, πρέπει να ελέγχονται τα όρια των συντελεστών ανάκλασης κάθε υλικού (π.χ. άσφαλτος, τσιμέντο, γυαλί, μέταλλο ή χρωματικής διαφοράς) σε σχέση με κάποιο άλλο, για την σωστή κατανομή φωτός στο αστικό περιβάλλον.



➤ **Ακουστική άνεση**

Αναπόσπαστο κομμάτι του αστικού περιβάλλοντος αποτελεί ο αστικός σχεδιασμός για την πρόσβαση σε ήσυχες αστικές περιοχές. Η ακουστική άνεση σημαίνει ότι στο χώρο υπάρχει κατάλληλο επίπεδο και ποιότητα θορύβου για χρήση. Για την επίτευξη της ακουστικής ισορροπίας, κομμάτι του αστικού σχεδιασμού πρέπει να είναι οι ακουστικές μελέτες, που θα εκτιμάται ο ήχος ως θεμιτή πηγή ή ως πηγή υποβάθμισης. Οι ηχητικές πηγές διαφέρουν, μεταξύ των επιθυμητών θορύβων, δηλαδή τις φυσικές πηγές (π.χ. αστικά πάρκα) και των μη επιθυμητών πηγών θορύβων, δηλαδή της βιομηχανίας και κυκλοφορίας αυτοκινήτων και χρήζουν αντιμετώπισης μέσω σχεδιασμού βελτίωσης της κλιματικής ποιότητας. Έτσι, η επίτευξη κλιματικής ποιότητας μέσω κατάλληλου ηχητικού πεδίου ενδυναμώνει το προφίλ των πόλεων, επιφέροντας ποιοτικότερες συνθήκες ζωής. Συνεπώς, η εξάλειψη των πηγών θορύβου πρέπει να



²¹ <http://www.iloencyclopaedia.org/component/k2/item/284-conditions-required-for-visual-comfort>

συμπεριλαμβάνεται στις βιοκλιματικές προτάσεις παρέμβασης αστικού χώρου, με στόχο την προάσπιση της ακουστικής άνεσης και την δημιουργία υγιή συνθηκών μειωμένου άγχους και κοινωνικής συνοχής.

➤ Άνεση λόγω ανέμου

Στις βιοκλιματικές μελέτες πρέπει να λαμβάνονται επίσης υπόψη τα επίπεδα ροής της ταχύτητας του ανέμου, τα οποία διαμορφώνουν τις συνθήκες άνεσης στην κίνηση των ατόμων. Όπως, η κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία συνθέτουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης, έτσι και ο καθαρός και φρέσκος αέρας συνθέτει τις συνθήκες άνεσης λόγω αυτού.



Ανάλογα την περιοχή, την περίοδο και βάσει της κλίμακας Beaufort [πίνακας 5] του παρακάτω πίνακα, η μηχανική επίδραση του ανέμου στους ανθρώπου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις βιοκλιματικές μελέτες. Έτσι, διασφαλίζονται τόσο η άνεση λόγω ανέμου, όσο και η θερμική άνεση της κίνησης των πεζών. Ο Bottema²² ορίζει την άνεση λόγω ανέμου ως το στάδιο εκείνο κατά το οποίο οι μηχανικές επιδράσεις του ανέμου είναι τόσο έντονες και συμβαίνουν με τέτοια συχνότητα, ώστε οι άνθρωποι να μην ενοχλούνται από αυτές και να μην έχουν την ανάγκη να τις αποφύγουν. Συνεπώς, για την διατήρηση της θερμικής ισορροπίας και ισορροπίας λόγω ανέμου, σε κάθε μελέτη περίπτωσης, η οριακή τιμή υπέρβασης της έντασης του ανέμου είναι σημαντικός παράγοντας εκτίμησης της.

Πίνακας 5: Σχέση κλίμακας Beaufort με την μηχανική επίδραση του ανέμου στους ανθρώπους. [Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. 2011. Πρόγραμμα βιοκλιματικών αναβαθμίσεων δημόσιων ανοικτών χώρων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ανακτήθηκε από: http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf]

Περιγραφή Κλίμακας Beaufort		Ταχύτητα ανέμου (m/s) σε ύψος 1.75	Μηχανική επίδρασης ροής ανέμου στον άνθρωπο
0	Νηνεμία	0.0 – 0.1	Άνεμος μη αισθητός
1	Υποπνέων	0.1 – 1.0	Άνεμος σχεδόν μη αισθητός
2	Ασθενής	1.1 – 2.3	Άνεμος που γίνεται αντιληπτός π.χ. στο πρόσωπο
3	Λεπτός	2.3 – 3.8	Ανακατεύει τα μαλλιά, παρασέρνει τα ρούχα, δυσκολία ανάγνωσης εφημερίδας
4	Μέτριος	3.8 – 5.5	Σηκώνει σκόνη και ανακατεύει τα μαλλιά
5	Λαμπρός	5.5 – 7.5	Αρκετή ένταση για το ανθρώπινο σώμα, κίνδυνος αν είναι ριπή
6	Ισχυρός	7.5 – 9.7	Οι ομπρέλες χρησιμοποιούνται με δυσκολία, δυσκολία στο περπάτημα, ενοχλητικός θόρυβος ανέμου στα αυτιά
7	Σφοδρός	9.7 – 12.0	Μεγάλη δυσκολία στο περπάτημα

²² Bottema, M.: A Method for Optimisation of Wind Discomfort Criteria, Building and Environment, 2010, 35: 1–18.

8	Ορμητικός	12.0 – 14.5	Γενικότερα εμποδίζει τις κινήσεις και προκαλεί προβλήματα ισορροπίας
9	Θύελλα	14.5 – 17.1	Προκαλεί ατυχήματα σε ανθρώπους

➤ Ποιότητα του αέρα

Άλλος παράγοντας που πρέπει να διασφαλίζει μια βιοκλιματική πρόταση παρέμβασης είναι η ποιότητα του αέρα στο αστικό περιβάλλον. Η υπέρμετρη δραστηριότητα του ανθρώπου έχει οδηγήσει στην αύξηση των επιβλαβή για τον ανθρώπινο οργανισμό, ατμοσφαιρικών ρύπων. Ανάμεσα τους είναι τα οξείδια του θείου, του αζώτου, ο μολυβδος, το μονοξείδιο του άνθρακα, το όζον καθώς και οι σωματιδιακοί ρύποι. Πηγές εκπομπής ρύπων αποτελούν κυρίως τα οχήματα αλλά και τα κτίρια, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για κατανάλωση ενέργειας τόσο για θερμότητα όσο και για ψύξη. Συνεπώς, οποιαδήποτε πρόταση παρέμβασης στον χώρο οφείλει να περιορίζει την εκπομπή αυτών, μη υπερβαίνοντας τα όρια τους, με στόχο την διασφάλιση καλύτερης ποιότητας αέρας και μείωση επιβλαβών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Ενώ, τρόποι για την βελτίωση της ποιότητας αέρα είναι ο περιορισμός οχημάτων μέσω εναλλακτικών μέσων μεταφοράς, η χρήση βλάστησης και η χρήση φωτοκαταλυτικών υλικών.

➤ Εξοικονόμηση ενέργειας στα γειτονικά κτήρια

Τέλος, οι βιοκλιματικές προτάσεις σχεδιασμού αστικού περιβάλλοντος οφείλουν να στοχεύουν στην αλλαγή ενεργειακού ισοζυγίου των κτιρίων, ούτως ώστε να γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτά, μειώνοντας τις ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας. Οι τιμές θερμοκρασίας σε μία αστική περιοχή έχουν άμεση επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας των γειτονικών κτιρίων, τόσο τη θερινή όσο και τη χειμερινή περίοδο. Έχει βρεθεί ότι κατά τη θερινή περίοδο, οι υψηλές αστικές θερμοκρασίες αυξάνουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη, και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρυπογόνων ουσιών, ενώ κατά τη χειμερινή περίοδο οι ανάγκες για θέρμανση οδηγούν σε αντίστοιχες συνέπειες. Συνεπώς, η μείωση των ενεργειακών αναγκών συμβάλει έμμεσα στην καλύτερη κλιματική ποιότητα του αστικού μικροκλίματος και στη διαμόρφωση καλύτερων συνθηκών θερμικής άνεσης των ανθρώπων.

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το μικροκλίμα χαρακτηρίζεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία αέρα, την ταχύτητα και τη διεύθυνση της ροής του ανέμου, τις θερμοκρασίες των επιφανειών αλλά και το περιβάλλον ακτινοβολίας (ηλιακή και θερμική ακτινοβολία, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας). Παράγοντες όμως, όπως ο τρόπος δόμησης, η χωροταξική διαμόρφωση πολεοδομικών

ενοτήτων, η καθ' ύψος επέκταση των πόλεων, η διάρθρωση ελεύθερων χώρων και χώρων πρασίνου, η χρήση κατασκευαστικών υλικών, ο προσανατολισμός και το πλάτος των δρόμων, επιδρούν αναλόγως στο εν λόγω μικροκλίμα, διαμορφώνοντας έτσι το «**Αστικό Μικροκλίμα**».

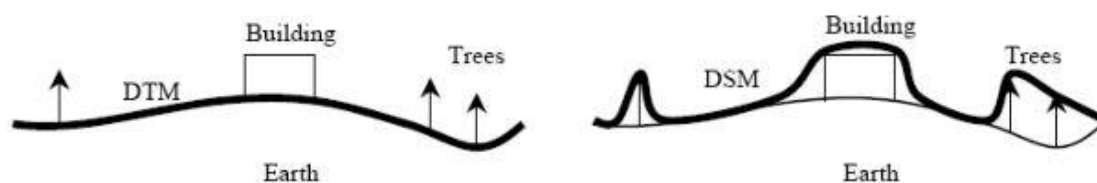
Η έννοια της κλιματικής ποιότητας συνεπάγεται με την έννοια της ισορροπίας. Η βελτίωση της κλιματικής ποιότητας και η δημιουργία οικολογικών πόλεων μέσω της βιοκλιματικής αναβάθμισης του αστικού περιβάλλοντος, οφείλει σε κάθε περιβάλλον να συνδέεται με την έννοια της ισορροπίας, όπου οι άνθρωποι και οι φυσικοί πληθυσμοί θα ζουν σε αρμονική ισορροπία. Μια παρέμβαση στο χώρο διαταράσσοντας της συνθήκες αρμονίας, δεν θα οδηγούσε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Γι' αυτό τον λόγο, σε κάθε βιοκλιματική μελέτη είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι βασικοί παράγοντες επιρροής του αστικού μικροκλίματος (αστική μορφολογία – θερμοκρασία – ηλιακή έκθεση – κίνηση ανέμου – διασπορά ήχου). Οι παράγοντες επιρροής του αστικού μικροκλίματος πρέπει να αξιοποιούνται με τρόπο τέτοιο, ώστε να διασφαλίζεται η κλιματική ποιότητα αλλά και οι συνθήκες άνεσης των ατόμων σε αυτό. Έτσι, σύμφωνα με τις αρχές της αειφορίας, διασφαλίζεται η εύρυθμη ανάπτυξη κάθε παρέμβασης αναβάθμισης στο αστικό ιστό, συνδέοντας με αυτό τον τρόπο την πόλη με το φυσικό της πλαίσιο. Συνεπώς, οι βασικοί παράγοντες του αστικού μικροκλίματος αποτελούν μέρος του Βιοκλιματικού σχεδιασμού («Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού») και είναι αυτοί που διαμορφώνουν τις κλιματικές συνθήκες γύρω από το δομημένο περιβάλλον, επηρεασμένες αναλόγως από αυτό. Μια βιοκλιματική παρέμβαση στο αστικό περιβάλλον, αξιοποιώντας κάθε έναν από τους παραπάνω παράγοντες με κατάλληλο τρόπο (π.χ. προσθήκη βλάστησης, όπως θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα, 2.5, αλλά και βάσει της επίδρασης τους ξεχωριστά στο αστικό περιβάλλον, μπορεί να λειτουργήσει θετικά στην εξάλειψη προβλημάτων αστικού μικροκλίματος, όπως το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, της Αστικής Χαράδρας, κ.α.

2.4.1 Αστική Μορφολογία

Με τον όρο αστική μορφολογία νοείται η τρισδιάστατη αποτύπωση των όγκων που αποτελούν τη δομή του αστικού αναγλύφου αλλά και ο τύπος κάλυψης της γης. Η αστική μορφολογία αφορά δηλαδή την τρισδιάστατη γεωμετρία της αστικής επιφάνειας. Αποτελεί βασικό παράγοντα διαμόρφωσης του μικροκλίματος, καθορίζοντας σε μεγάλο βαθμό τη σκίαση της επιφάνειας και τη ροή του ατμοσφαιρικού αέρα ανάμεσα στα κτίρια, ανάλογα με το ανάγλυφο της περιοχής. Συνεπώς, μια μεταβολή της γεωμετρίας των όγκων του αστικού περιβάλλοντος (π.χ. κτίρια) μπορεί να τροποποιήσει τοπικά τις ατμοσφαιρικές συνθήκες καθώς και τις τιμές των βιοκλιματικών παραμέτρων, όπως την θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος, την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, την διάχυση του

θορύβου καθώς και το ισοζύγιο ακτινοβολιών. Η αστική μορφολογία θέτει απλά σχέσεις μεταξύ του δομημένου χώρου και του μικροκλίματος.

Η τρισδιάστατη δομή του αστικού αναγλύφου μπορεί να αποτυπωθεί μέσω των ψηφιακών μοντέλων επιφανείας (DSM) και ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων εδάφους (DEM) (ο τρόπος αναλύεται στη ενότητα 3.4.1). Έτσι, φαίνεται ότι τεχνικές αυτές επεξεργασίας εικόνας είναι χρήσιμες για τη διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ της αστικής δομής και διαφόρων παραμέτρων της περιβαλλοντικής απόδοσης σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του ηλιασμού, του ανέμου και της κατανάλωσης ενέργειας.

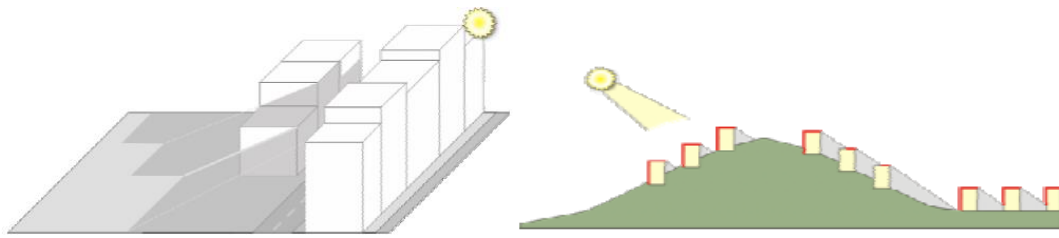


Εικόνα 12: Απεικόνιση των διαφορών μεταξύ των μοντέλων επιφανείας, Digital Terrain Model (αριστερά), Digital Surface Model (δεξιά). [Πηγή: google.gr]

Πέρα των αλλαγών που μπορεί να επιφέρει η αστική μορφολογία στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η αστική μορφολογία χρησιμοποιείται στις βιοκλιματικές μελέτες και για τον υπολογισμό του **συντελεστή θέασης ουρανού (Sky View Factor, SVF)**. Ο συντελεστής θέασης του Ουρανού είναι απλώς μια μέτρηση της στερεάς γωνίας της θέασης του ουρανού από έναν αστικό χώρο. Συντελεστής θέασης ουρανού με τιμή 1 δείχνει ότι υπάρχει ανεμπόδιση θέα του ουρανού (π.χ. από ανοικτά πεδία – ταράτσες) και, συνεπώς, οι θερμοκρασίες θα ακολουθούν στενά τις μετεωρολογικές τιμές. Ενώ, ένας συντελεστής θέασης ουρανού με τιμή 0 σημαίνει ότι η θέα του ουρανού εμποδίζεται καθολικά και συνεπώς οι θερμοκρασίες θα επηρεάζονται σημαντικά από το αστικό περιβάλλον. Ενώ συχνά, ο συντελεστής SVF σχετίζεται με το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Ενώ, φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο αστικό περιβάλλον, με χαμηλή τιμή του συντελεστή να σημαίνει αύξηση του φαινομένου. Ενώ μεγάλη τιμή του συντελεστή, δίνει την εντύπωση «ανοικτού» χώρου, ενισχύοντας έτσι την οπτική άνεση στο αστικό περιβάλλον.

Η αστική μορφολογία, χρησιμοποιείται επίσης τόσο στον υπολογισμό της σκίασης σε σχέση με τις ώρες ηλιασμού, αλλά και για την μελέτη της διαπερατότητας του ανέμου και της σκιάς του ανέμου. Η **ηλιακή πρόσβαση και ο ηλιακός σκιασμός** είναι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό, καθώς έχουν και άμεση επίδραση στη θερμική άνεση.

Η **ροή του ανέμου** επηρεάζεται από την δομή του αστικού περιβάλλοντος και αποτελεί σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί κατά το σχεδιασμό αστικών χώρων, ενώ ο άνεμος μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως θετικός είτε ως αρνητικός παράγοντας, ανάλογα με το γενικότερο κλίμα της περιοχής και την εποχή.

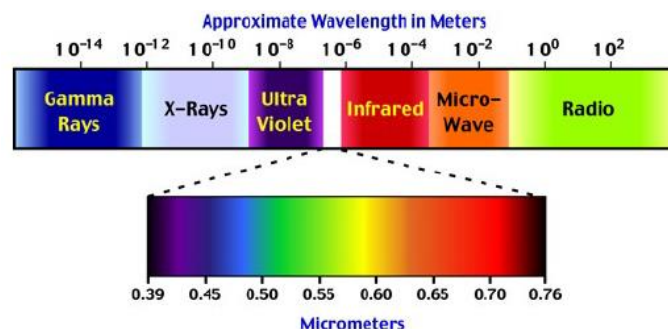


Χαρακτηριστικό επίσης της αστικής επιφάνειας αποτελεί και ο **τύπος κάλυψης της γης**. Στις βιοκλιματικές μελέτες για την ορθότερη λήψη αποφάσεων επέμβασης στον χώρο είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ο τύπος κάλυψης της γης. Αυτό κρίνεται απαραίτητο ούτως ώστε να γίνονται αντιληπτές, οι διαφορές μεταξύ των υλικών εδαφοκάλυψης, του ποσοστού βλάστησης αλλά και της ποιότητας της βλάστησης με την χρήση κατάλληλων δεικτών. Ιδανικό εργαλείο για την αποτύπωση της κάλυψης γης αποτελεί η τηλεπισκόπηση και συγκεκριμένα οι δορυφορικές εικόνες ή οι αεροφωτογραφίες με υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα.

Έτσι, βάσει των παραπάνω η αστική μορφολογία ή αστικοποίηση παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση των παρακάτω περιβαλλοντικών παραμέτρων του μικροκλίματος (Πεδίο Ακτινοβολίας, Πεδίο Ανέμου, Θερμοκρασία και υγρασία), οι οποίες συνθέτουν και τις συνθήκες άνεσης στο αστικό περιβάλλον, σε τοπικό επίπεδο – κλίμακας γειτονιάς.

2.4.2.Πεδίο Ακτινοβολίας

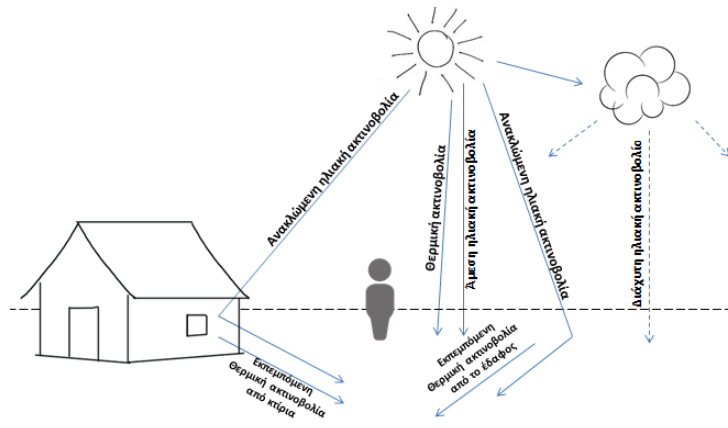
Η ηλιακή ακτινοβολία εκπέμπεται και διαδίδεται στον χώρο με τη μορφή κύματος, η οποία όταν απορροφηθεί από κάποιο αντικείμενο, απελευθερώνει ενέργεια. Η ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται στην περιοχή από $0.13\mu\text{m}$ μέχρι $2.5\mu\text{m}$, όπου το ηλιακό φάσμα κυριαρχεί. Αποτελείται από την υπεριώδη ακτινοβολία ($0.13\mu\text{m}$ – $0.4\mu\text{m}$), την ορατή ακτινοβολία ($0.4\mu\text{m}$ – $0.7\mu\text{m}$) και την ακτινοβολία εγγύς υπερύθρου ($0.7\mu\text{m}$ – $2.5\mu\text{m}$). 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, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία της επιφάνειας.



Εικόνα 13: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ακτινοβολίας
(Κατσαφάδος, Μαυροματίδης, 2015)

Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας φθάνει στη Γη ως ορατή ακτινοβολία. Από το ορατό φως που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα περίπου το 30% ανακλάται πίσω στο διάστημα. Το υπόλοιπο ποσοστό απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας (20%) και της επιφάνειας (50%). Αυτό το 50% της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται στην ατμόσφαιρα, απορροφάται με διαφορετικό βαθμό από τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας και επανεκπέμπεται σε αυτή, αλλά όχι σαν ορατό φως (μόνο τα πολύ θερμά αντικείμενα, όπως ο Ήλιος, μπορούν να εκπέμψουν σε ορατό φως). Αντί αυτού, εκπέμπεται ως μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (long-wave radiation), δηλαδή υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία καλείται επίσης και θερμική ακτινοβολία. Ένα εξιδανικευμένο μοντέλο της ύλης, που επινοήθηκε για να διευκολυνθεί η μελέτη της θερμικής ακτινοβολίας των πραγματικών σωμάτων, αποτελεί το *μελανό σώμα*. Οι αρχές ακτινοβολίας ενός μελανού σώματος βρίσκουν εφαρμογή στην ηλιακή και γήινη εκπομπή ακτινοβολίας, καθώς και ο Ήλιος και η Γη εκπέμπουν περίπου σαν μελανό σώμα. Ένα μελανό σώμα αποτελείται από ικανό αριθμό μορίων που απορροφά και εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλα τα μέρη του φάσματος, έτσι ώστε: α) να απορροφά το σύνολο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και β) να εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ακτινοβολία, σε όλα τα μήκη κύματος και σε όλες τις κατευθύνσεις. Επομένως, το μελανό σώμα έχει για κάθε μήκος κύματος απορροφητικότητα ίση με μονάδα ($A_\lambda=1$) και επιπλέον, όταν απορροφά ακτινοβολία, φτάνει σε κατάσταση ενεργειακής ισορροπίας και εκπέμπει τον ίδιο αριθμό φωτονίων με αυτά που απορροφά. Η ακτινοβολία του μελανού σώματος είναι η μεγίστη ενέργεια που μπορεί να εκπέμψει ένα πραγματικό σώμα στη θερμοκρασία T . Για ένα οποιοδήποτε άλλο πραγματικό σώμα (φαιό σώμα) ορίζεται ένα νέο μέγεθος, η ικανότητα εκπομπής ϵ_λ (emissivity). Ουσιαστικά η ικανότητα εκπομπής ϵ_λ ενός σώματος είναι το μέτρο εκπομπής ακτινοβολίας από ένα σώμα θερμοκρασίας T στο μήκος κύματος λ . Από τον ορισμό του μελανού σώματος, η ικανότητα εκπομπής σ' όλα τα μήκη κύματος είναι ίση με τη μονάδα, ενώ για άλλα υλικά, το ϵ_λ , κυμαίνεται από 0 έως 1 και μπορεί να μεταβάλλεται με το μήκος κύματος (Κατσαφάδος, Μαυροματίδης, 2015).

Συνεπώς, το πεδίο ακτινοβολίας ενός αστικού περιβάλλοντος αποτελείται από την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμική ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία αφορά την άμεση ακτινοβολία (κατευθείαν από τον ηλιακό δίσκο), την διάχυτη ακτινοβολία (κατόπιν σκέδασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από σωματίδια στην ατμόσφαιρα, σύννεφα, σκόνη, ρύποι κ.α.) και την ανακλώμενη ακτινοβολία (κατόπιν ανάκλασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από τα διάφορα στοιχεία της αστικής επιφάνειας) στις διάφορες επιφάνειες, ενώ η θερμική ακτινοβολία (ή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος) αφορά την ακτινοβολία που επανεκπέμπεται από το έδαφος, τις επιφάνειες (π.χ. κτήρια) και την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 14: Απεικόνιση του πεδίου ακτινοβολίας, σε αστικό περιβάλλον
[Πηγή: Ίδια Επεξεργασία]

Στις βιοκλιματικές μελέτες αστικών περιοχών και μελέτης θερμικής άνεσης του περιβάλλοντα χώρου, το πεδίο ακτινοβολίας εκφράζεται μέσω της **Μέσης Θερμοκρασίας Ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature – T_{mrt} ³⁵)**. Η Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας καθορίζει το ισοζύγιο ενέργειας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον, ως συνάρτηση των διαφόρων υλικών (και της μορφολογίας). Μέσω των επιφανειακών τους θερμοκρασιών, τα υλικά του αστικού περιβάλλοντος, τα υλικά των κτιρίων, τα συστήματα σκίασης, η βλάστηση, διαμορφώνουν μέσω των ανταλλαγών ακτινοβολίας τις συνθήκες στο μικροκλίμα, επηρεάζοντας έτσι τη θερμική ισορροπία και άνεση.

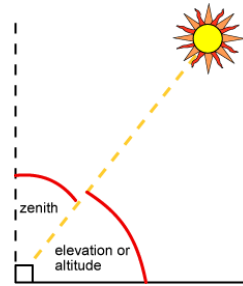
Η μέση ετήσια πορεία της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή του αθροίσματος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και της διάχυτης ακτινοβολίας του ουράνιου θόλου²³ σε ένα τόπο, ακολουθεί σε γενικές γραμμές τη μέση ετήσια πορεία του ύψους του ηλίου, με μέγιστες τιμές το καλοκαίρι και ελάχιστες το χειμώνα. Ενδεικτικές μέσες τιμές ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για την Αθήνα κατά τη χειμερινή περίοδο είναι 200-250 W/τετρ. μ. και 800 - 850 W/τετρ. μ. κατά τη θερινή περίοδο, ενώ οι μέσες τιμές της διάχυτης ακτινοβολίας κυμαίνονται από 90-100 W/τετρ. μ. το χειμώνα, έως 190-200 W/τετρ. μ. το καλοκαίρι (ΤτΕ, 2011:34)

Συγκεκριμένα, οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το ισοζύγιο ακτινοβολίας σε μία αστική περιοχή είναι:

- **Ο χρόνος**, τόσο εποχιακά όσο και κατά την διάρκεια του εικοσιτετράωρου, όπου έχει διαφορετική επίδραση στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας.
- **Το γεωγραφικό πλάτος και ο προσανατολισμός της περιοχής**, τα οποία ανάλογα με την εποχή και την θέση του ηλιακού δίσκου βοηθούν στον υπολογισμό του ποσοστού ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η κάθε περιοχή. Η

²³ Ο αστικός θόλος εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους έως το ύψος των κτιρίων

θέση της φωτεινής πηγής ορίζεται κάθε φορά από το ύψος της φωτεινής πηγής σε σχέση με τον ορίζοντα και από την γωνία αζιμουθίου, δηλαδή την κατεύθυνση προς την οποία είναι στραμμένη μια επιφάνεια βάσει της κατεύθυνσης του Βορρά. (Πηγή εικόνας: Σημειώσεις μαθήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Κατσαφάδος)



- **Η γεωμετρία του χώρου**, όπου οι διαστάσεις και ο σχηματισμός των οντοτήτων επηρεάζουν χωρικά την διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε κάθε μελέτη υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο λόγος W/H, δηλαδή η σχέση πλάτους δρόμου (Width) με ύψος κτιρίων (Height), εξετάζοντας έτσι κατά πόσο η μια πλευρά επηρεάζει την μικροκλιματική συμπεριφορά της άλλης πλευράς.
- **Ο συντελεστής θέασης του ουρανού (Sky view factor)**, 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, εδάφους), 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. Η επίδραση της βλάστησης στην ηλιακή ακτινοβολία είναι μέσω της σκίασης και της απορρόφησης. Κατά την θερινή περίοδο το φύλλωμα εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία δημιουργώντας συνθήκες σκίασης, ενώ μέσω της απορρόφησης της, διατηρείται η επιφανειακή θερμοκρασία των φυλλωμάτων χαμηλότερα των γειτονικών υλικών (όπως για παράδειγμα της θερμοκρασίας της ασφάλτου). Έτσι, συνήθως κάτω από ένα δένδρο, τους θερινούς μήνες η επί κρατούσα θερμοκρασία είναι χαμηλότερη σε σχέση με την θερμοκρασία της ίδιας περιοχής χωρίς το δέντρο.
- **Οι οπτικές και θερμικές ιδιότητες των υλικών** που χρησιμοποιούνται (ανακλαστικότητα, θερμοχωρητικότητα, συντελεστής εκπομπής).

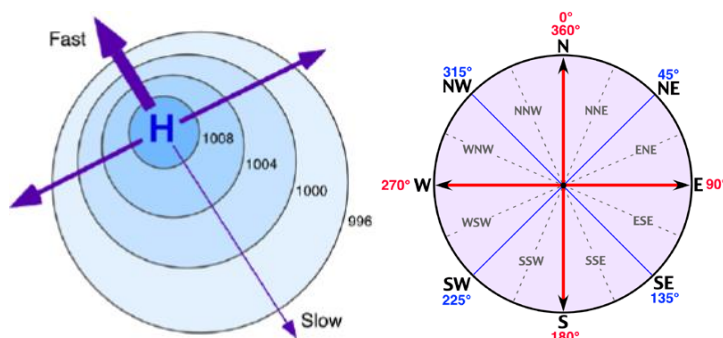
Η ανακλαστικότητα (albedo) εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια, το οποίο ανακλάται από αυτή. Το εύρος των τιμών της ανακλαστικότητας διαφόρων επιφανειών, είναι από 0 έως 1. Συγκεκριμένα όταν παίρνει την τιμή 0 το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφάται όλο, ενώ όταν παίρνει την τιμή 1 όλη η προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται και δεν υπάρχει καθόλου απορρόφηση. (Graves, 1998). Η ανακλαστικότητα αφορά τόσο τα υλικά εδαφοκάλυψης, όσο και τα υλικά κατασκευής. Τα ανοιχτόχρωμα υλικά ανακλούν μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απ' ό,τι τα σκουρόχρωμα υλικά.

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. Τα ανοιχτόχρωμα υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα θεωρούνται ως ψυχρά, ενώ τα σκουρόχρωμα με χαμηλή θερμοχωρητικότητα θεωρούνται θερμά.

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.

2.4.3 Πεδίο Ανέμου

Η περιστροφική κίνηση της Γης περί τον άξονα της, το ανάγλυφο και η ηλιακή ακτινοβολία που παίρνει τόσο η ατμόσφαιρα όσο και η επιφάνεια του εδάφους, είναι οι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν έτσι ώστε ο ατμοσφαιρικός αέρας που περιβάλλει τη Γη να βρίσκεται διαρκώς σε κίνηση. Η κίνηση αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζεται άνεμος. Έτσι, ο άνεμος αφορά κάθε ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα που έχει κάποια σχετική ταχύτητα ως προς το έδαφος. Ο άνεμος πνέει από την περιοχή με υψηλές πιέσεις προς την περιοχή με χαμηλότερες πιέσεις (εικόνα 15). Επίσης, ως μετεωρολογικό στοιχείο, προσδιορίζεται από δύο στοιχεία, την διεύθυνση και την ταχύτητα ή ένταση του. Η διεύθυνση του ανέμου πάνω από μια περιοχή αφορά την διεύθυνση ή το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος (εικόνα 15). Οι διαφοροποιήσεις του ως προς τη διεύθυνση και την ένταση του μπορεί να είναι εποχιακές ή ετήσιες και επηρεάζονται, αναλόγως από την κλίμακα μελέτης, την τοπολογία και τον τύπο κάλυψης της επιφάνειας.



Εικόνα 15: Απεικόνιση διεύθυνσης του ανέμου
(Κατσαφάδος, 2016)

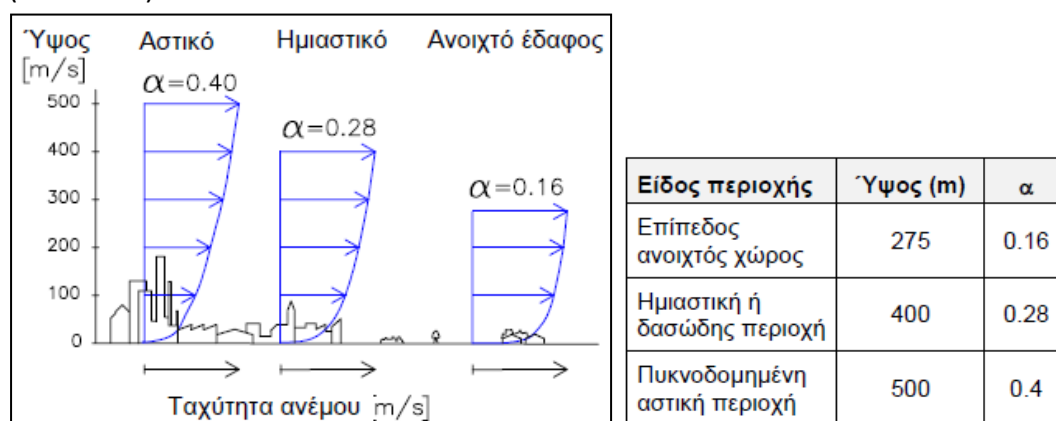
Είναι εύλογο, λοιπόν, να υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις συνθήκες ανέμου από ένα μέρος μιας πόλης σε ένα άλλο, ή ακόμα σε μικροκλίμακα από ένα μέρος ενός χώρου σε ένα άλλο. Ενώ, ανάλογα με το κλίμα, μια ορισμένη στάθμη ανέμου μπορεί να χαρακτηριστεί ως επιθυμητή ή ανεπιθύμητη. Γι' αυτό, ο άνεμος είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης των ατόμων. Σε ψυχρά κλίματα ο άνεμος σχεδόν πάντα θα μειώσει τις εξωτερικές

συνθήκες άνεσης, ενώ το αντίθετο ισχύει για τα θερμά κλίματα. Για να δημιουργηθούν συνθήκες άνεσης, οι άνθρωποι συνήθως προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους και το επίπεδο ρουχισμού τους ανάλογα με την εποχή.

Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας επιρροής της ροής του ανέμου σε κάθε κλίμακα, κάθε περιοχής είναι η **τραχύτητα της αστικής επιφάνειας (roughness)**. Γι' αυτόν τον λόγο, σε περιπτώσεις υπολογισμού δεικτών θερμικής άνεσης, η τραχύτητα του της επιφάνειας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Για τον υπολογισμό της λαμβάνονται υπόψη η μορφολογία του εδάφους, το ύψος των κτιρίων αλλά πολλές φορές και η βλάστηση. Εντός του αστικού περιβάλλον η τραχύτητα του εδάφους εμφανίζει ποικιλία διακύμανσης, επηρεάζοντας έτσι την ροή του αέρα και συνεπώς τις συνθήκες θερμικής άνεσης. (Ketterer, Gangwisch, Frohlich, Matzarakis, 2016).

Η θερμοκρασία του αέρα στην Ελλάδα, εκτός από τη μεταβολή της παράλληλα με το γεωγραφικό πλάτος, παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από τόπο σε τόπο και λόγω του έντονου αναγλύφου της. Αυτό διαπιστώνεται και στο ότι η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία του αέρα κατά τους θερινούς μήνες, Ιούλιο – Αύγουστο μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 32°C και 36°C, ενώ στις πεδιάδες της Κεντρικής Ελλάδος μπορεί να ξεπεράσει και τους 40 °C, (ΤτΕ, 2011:35). Το θέρος κατά τις ημέρες που δεν πνέουν Ετησίες (μελέτμια) στο εσωτερικό της χώρας επικρατεί νηνεμία με ελαφρές αύρες ορέων και αύρες πεδιάδων, (ΤτΕ, 2011:40).

Συνεπώς, η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζεται από το ανάγλυφο (τραχύτητα ανάγλυφου) και διαφοροποιείται μεταξύ αστικού – ημιαστικού – ανοικτού εδάφους. Ο ελεύθερος, ανεμπόδιστος άνεμος πάνω από την επιφάνεια της γης ονομάζεται γεωστροφικός άνεμος. Ανάλογα με την τραχύτητα (α) της επιφάνειας της γης το γεωστροφικό ύψος ποικίλει από περίπου 275 m σε περίπου 500 m (εικόνα 16).



Εικόνα 16: Απεικόνιση της διαφοροποίησης της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα την τραχύτητα της κάθε περιοχής,

(Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. 2011. Πρόγραμμα βιοκλιματικών αναβαθμίσεων δημόσιων ανοικτών χώρων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ανακτήθηκε από: http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf)

Έτσι, ο άνεμος για κάθε επιφάνεια αναγλύφου, είναι αντιστρόφως ανάλογος της τραχύτητας του εδάφους. Συγκεκριμένα, στα αστικά περιβάλλοντα συναντάται

μεγάλη τραχύτητα εδάφους με μικρότερες ταχύτητες ανέμου, ενώ αντίθετα συμβαίνει στις μη καλυμμένες επιφάνειες – και τους ανοικτούς χώρους. Στην παραπάνω εικόνα 16 φαίνονται οι συνοριακές συνθήκες της ροής του ανέμου από μια περί-αστική σε μια αστική περιοχή. Τα στοιχεία του ανέμου συνήθως μετρώνται από μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται 10 μ. πάνω από το έδαφος, ούτως ώστε να μην υπάρχουν εμπόδια (όπως κτίρια, βλάστηση) που να εμποδίζουν την κίνηση του ανέμου. Τα δεδομένα μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου στα 10μ. μπορούν να αναχθούν στο επίπεδο των πεζών χρησιμοποιώντας δοκιμές σε αεροσύραγγα ή σε εξελιγμένους υπολογισμούς ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics ή CFD), μέσω προσομοιώσεων που λαμβάνουν υπόψη κάθε φορά τον υπό μελέτη χώρο. Είναι σημαντικό κάθε χώρος να αντιμετωπίζεται ως ειδική περίπτωση και πριν τον βιοκλιματικό σχεδιασμό παρέμβασης να μελετώνται η γεωγραφική θέση και κλιματική ζώνη, και τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής.

2.4.4 Θερμοκρασία και υγρασία

Η διαμόρφωση των παραμέτρων μικροκλίματος, της θερμοκρασίας και της υγρασίας, επηρεάζεται άμεσα από τα πεδία της ακτινοβολίας και ανέμου που αναφέρθηκαν προηγουμένως (2.4.2, 2.4.3). Αυτό γιατί τόσο η θερμοκρασία όσο και η υγρασία, στο αστικό περιβάλλον, διαμορφώνονται από τις συνθήκες της ηλιακής ακτινοβολίας και του αέρα, μέσω της μεταφοράς και ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ των επιφανειών.

Επομένως, βάσει της υφιστάμενης θερμοκρασίας και υγρασίας, όπως έχουν διαμορφωθεί στις τοπικές συνθήκες, υπολογίζονται και οι δείκτες θερμικής άνεσης. Έτσι, τόσο η ηλιακή ακτινοβολία, με τον βαθμό διαθεσιμότητας του ήλιου και της σκιάς, όσο και η ροή του ανέμου μπορούν, ανάλογα με το γενικό κλίμα της περιοχής και την εποχή, να χαρακτηριστούν είτε ως θετικοί είτε ως αρνητικοί παράγοντες.

Συνεπώς, σε μια βιοκλιματική πρόταση παρέμβασης πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη τις υφιστάμενες κλιματικές συνθήκες που επηρεάζουν την αστική μορφολογία, την ηλιακή ακτινοβολία και το πεδίο του ανέμου. Για παράδειγμα, σε θερμά-ξηρά κλίματα είναι απαραίτητος ο σκιασμός, ενώ σε θερμά-υγρά ο άνεμος και ο σκιασμός. Αντίστοιχα, σε ψυχρές περιοχές είναι απαραίτητες οι συνθήκες ηλιασμού και άπνοιας, ενώ σε κλίματα με εποχιακές διακυμάνσεις θερμοκρασίας είναι απαραίτητη η δημιουργία χώρων, που να προσαρμόζονται ανάλογα με την εποχή. Παράλληλα, ο άνεμος σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία σε μια αστική περιοχή, επηρεάζουν δραματικά τη δυνατότητα φυσικού αερισμού των κτηρίων, από την οποία εξαρτάται η χρήση παθητικών (φυσικών) μεθόδων δροσισμού, έναντι τεχνικών μεθόδων (κλιματιστικά). Ο φυσικός αερισμός είναι πολύ σημαντικός ιδιαίτερα σε εύκρατα κλίματα, καθώς παρέχει επαρκή δροσισμό κατά τη διάρκεια τόσο της ημέρας όσο και της νύχτας. Για παράδειγμα, η σκίαση ενός μεγάλου ανοικτού χώρου με τη χρήση δένδρων ή τεχνητών μέσων βοηθά τα

γειτονικά κτήρια να μειώσουν την εσωτερική τους θερμοκρασία, κάτι το επιθυμητό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

2.5 Συμβολή πρασίνου στο βιοκλιματικό σχεδιασμό

Στο σχεδιασμό των υπαίθριων αστικών χώρων, έχει μεγάλη σημασία η επιλογή της βλάστησης και του πρασίνου. Αυτό γιατί τα φυτά και τα δένδρα μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά στον έλεγχο της θερμοκρασίας και στην εξοικονόμηση ενέργειας που καταναλώνεται για ψύξη, θέρμανση και φωτισμό. Ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία που αναλύθηκαν παραπάνω (2.4.2, 2.4.3), είναι δύο από τους σημαντικότερους φυσικούς παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την διαμόρφωση του αστικού χώρου.

Συνεπώς, η προσεκτικά μελετημένη χωροθέτηση της φύτευσης και η επιλογή των κατάλληλων ειδών για τον αστικό χώρο είναι παράγοντες που καθορίζουν τις μικροκλιματικές συνθήκες στον χώρο στον οποίο θα τοποθετηθούν. Τα δέντρα και, εν γένει η βλάστηση, αποτελούν ίσως την καλύτερη μέθοδο βελτίωσης του μικροκλίματος καθώς, εκτός των άλλων περιβαλλοντικών οφελών που προσφέρουν, συνδυάζουν σκιασμό, εξάτμιση, διαπερατότητα αέρα και θέα, ενισχύοντας έτσι τις θερμικές, ακουστικές και οπτικές συνθήκες άνεσης των ανθρώπων στο εξωτερικό περιβάλλον, αλλά και την ισορροπία στην ενεργειακή ζήτηση των κτιρίων. Έτσι, κατά το σχεδιασμό τοποθέτησης βλάστησης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ύψη των γειτονικών κτιρίων, το πλάτος των δρόμων, τα οπτικά χαρακτηριστικά των υλικών (εξωτερικών όγκων και όψεων των κτιρίων), αλλά και τη ήδη υπάρχουσα βλάστηση, εξετάζοντας τη γεωμετρία και το μέγεθος κόμης, καθώς και τη σκιά διαμόρφωσης σε εποχές του έτους. Ιδιαίτερα σημαντική είναι επίσης η, κατά περίπτωση, επιλογή φυλλοβόλων ή αιιθαλών δέντρων για το σχεδιασμό του χώρου. Επίσης, σε μια βιοκλιματική μελέτη αστικού χώρου θα πρέπει να αποτυπώνονται οι συνθήκες σκιασμού τόσο στην υφιστάμενη (πριν την αναβάθμιση) όσο και στην προτεινόμενη παρέμβαση, για τις κρίσιμες ώρες του έτους. Η αποτύπωση αυτή αφορά τις συνθήκες στην επιφάνεια του χώρου, αλλά κυρίως στο επίπεδο του ανθρώπου (περίπου 1,50 m πάνω από το έδαφος, αλλά και σε οριζόντια διεύθυνση). Συνεπώς, η βιοκλιματική πρόταση παρέμβασης, χρήση βλάστησης ή άλλου τρόπου, πρέπει να διασφαλίζει κυρίως της συνθήκες άνεσης στο επίπεδο που δραστηριοποιούνται οι άνθρωποι. Τέλος, η φύτευση δένδρων που είτε με την πτώση των καρπών τους είτε με άλλο τρόπο, ρυπαίνουν και αλλοιώνουν μόνιμα τα ευνοϊκά οπτικά χαρακτηριστικά των υλικών εδαφοκάλυψης, θα πρέπει να αποφεύγεται.

Ειδικότερα, ο σχεδιασμός της φύτευσης με δέντρα, θάμνους ή χαμηλή βλάστηση στους υπαίθριους χώρους, βάσει των μικροκλιματικών φυσικών παραγόντων (ηλιακή ακτινοβολία και ροή ανέμου) που διαμορφώνονται ανάλογα με την χωρική και χρονική μεταβλητότητα, λειτουργεί αποτελεσματικά σε σχέση με τα κτίρια και προσφέρει τα παρακάτω στο αστικό μικροκλίμα²⁴.

Πίνακας 6: Περιγραφή τρόπων επίδρασης της βλάστησης στο αστικό περιβάλλον

ΤΡΟΠΟΙ ΧΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ
Ηλιασμό – ηλιοπροστασία/ σκίαση	Φίλτρο φυσικού φωτός –οπτική άνεση–
	Σκίαση (καλοκαίρι), Θέρμανση (χειμώνα)
Φυσικό αερισμό – Ανεμοπροστασία	Πηγή δροσισμού το καλοκαίρι
	Ανεμοφράκτης το χειμώνα
Έλεγχος του ήχου	Μείωση θορύβου –ακουστική άνεση–
Επίδραση στο περιβάλλον	Καταπολέμηση της σκόνης
	Περιορισμός ατμοσφαιρικής ρύπανσης
	Συγκράτηση εδαφών
	Εμπλουτισμός υδροφόρου ορίζοντα
	Προστασία της βιοποικιλότητας
	Αισθητική βελτίωση
	Οπτική άνεση
Βελτίωση συνθηκών θερμικής άνεσης	Σκίαση/ εξατμισοδιαπνοή
	Χειραγώγηση ψυχρών ανέμων
	Διευκόλυνση θερινής αύρας
Μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων	Ανεμοπροστασία (χειμώνα) → περιορισμός απωλειών θερμότητας
	Ηλιασμός (χειμώνα)→
	Θέρμανση μέσω ηλιακής ακτινοβολίας
	ηλιοπροστασία/σκίαση (καλοκαίρι)→ μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για δροσισμό
Μείωση του φαινομένου Αστικής Θερμικής Νησίδας	

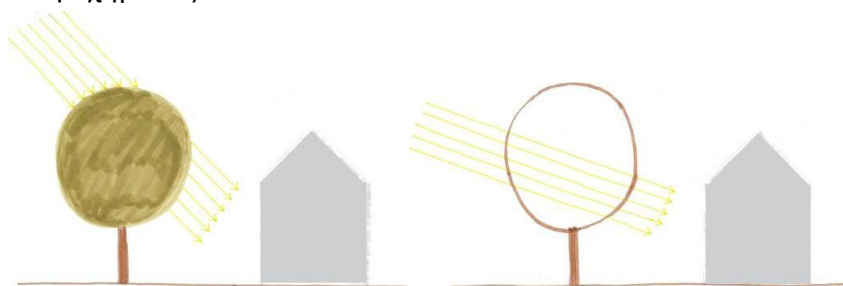
2.5.1 Ηλιασμός - Ηλιοπροστασία ή σκίαση

Η ικανότητα των φυτών να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία συμβάλλει σημαντικά στον έλεγχο του μικροκλίματος. Τα δέντρα, οι θάμνοι και τα φυτά εδαφοκάλυψης λειτουργούν ως μέσα ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θέση, το μέγεθος και η πυκνότητα του φυλλώματος, το σχήμα και ύψος του κάθε είδους, το είδος της βλάστησης και η ανθεκτικότητα, καθορίζουν τον τρόπο που γίνεται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ελέγχοντας έτσι το ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας και το ποσοστό σκίασης που δέχεται η κάθε περιοχή λόγω βλάστησης.

²⁴ Burden D., 2006. Benefits of urban street trees Ανακτήθηκε από:
https://www.michigan.gov/documents/dnr/22_benefits_208084_7.pdf

Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη, είναι με τη μορφή ορατού φωτός και ηλιακών υπέρυθρων ακτίνων (θερμική ακτινοβολία). Εντούτοις, η ενέργεια που φθάνει στο έδαφος απορροφάται, αντανακλάται ή εκπέμπεται από το έδαφος σαν θερμική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται επιδρά στο ενεργειακό ισοζύγιο και τη θερμική άνεση, όπως και η απορροφώμενη ακτινοβολία. Με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας τα κλαδιά και τα φύλλα ενός δέντρου μειώνουν άμεσα την ενέργεια που φτάνει στο έδαφος, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη θερμοκρασία στο έδαφος. Τα φυτά μπορούν να παρεμποδίσουν πλήρως την ηλιακή ακτινοβολία ή να τη φιλτράρουν (κατά τους Brown και Gillespie (1995) ανάλογα το είδος το 80-90% της ακτινοβολίας μπορεί να φιλτράρεται). Η βλάστηση βοηθά επίσης στον έλεγχο της αντανάκλασης της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος και στις κατακόρυφες επιφάνειες. Έτσι, λόγω της διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας από το φύλλωμα των δέντρων βελτιώνεται η φωτεινότητα της περιοχής και περιορίζεται η αίσθηση της θάμβωσης, δημιουργώντας συνθήκες οπτικής άνεσης στην περιοχή.

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο τα φυτά επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία είναι μέσω της σκίασης. Έτσι, τα φυλλοβόλα δέντρα, το χειμώνα αποδίδουν μέγιστη ηλιακή κάλυψη, ενώ τη θερινή περίοδο ικανοποιητικό σκιασμό (εικόνα 17), αντίθετα τα αειθαλή δέντρα αποδίδουν μόνιμη σκίαση της επιφάνειας καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Ο συνδυασμός φυσικού φωτισμού με την κατάλληλη σκίαση του χώρου, οδηγεί στις ιδανικές συνθήκες οπτικής άνεσης. Για παράδειγμα, είδη όπως το Σφενδάμι, η Βελανιδιά και η Οξιά έχουν πυκνή κόμη και παρέχουν πυκνή σκιά, ενώ άλλα όπως η Ιτιά που έχουν αραιή κόμη, παρέχουν ελαφριά σκιά. Αντιστοίχως, πυκνού φυλλώματος δέντρα ή σφαιρικού σχήματος αποδίδουν καλύτερη ηλιοπροστασία σε σχέση με τα αραιού φυλλώματος ή κατακόρυφου πυραμιδοειδή σχήματος.



Εικόνα 17: Φυλλοβόλα είδη.

Σκιασμός το καλοκαίρι (αριστερά) και ηλιασμός το χειμώνα (δεξιά).

[Πηγή: ΚΑΠΕ, 2011. «Πρόγραμμα βιοκλιματικών αναβαθμίσεων δημόσιων ανοικτών χώρων». Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ανακτήθηκε από: http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf]

Βάσει της αρχής του βιοκλιματικού σχεδιασμού, η Νότια πλευρά του κτιρίου πρέπει να χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση, ενώ η Βόρεια για προστασία από τους ανέμους το χειμώνα και ανάσχεση της θερμότητας, με δροσισμό τους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι, συνιστάται η φύτευση μεγάλων φυλλοβόλων δέντρων

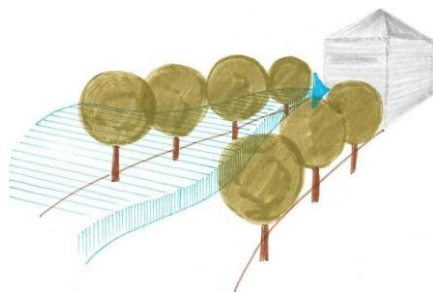
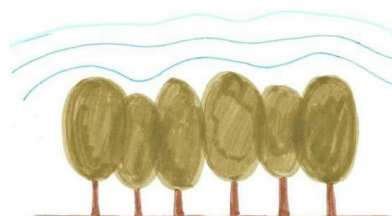
στις νότιες και δυτικές πλευρές του κτιρίου, ενώ αντίστοιχα αειθαλών δένδρων στη βόρεια πλευρά.

Άλλοι τρόποι σκιασμού των συμπαγών τμημάτων των κτηρίων είναι τα φυτεμένα δώματα, η χρήση αναρριχώμενων φυτών και τα τελευταία χρόνια, η νέα τεχνολογία των κατακόρυφων κήπων. Ενώ βασική διαφορά στην χρήση της φύτευσης ως μέσο σκίασης σε σχέση με άλλα μέσα σκιασμού, στέγαστρα, τέντες και άλλα, είναι το ότι δεν εμποδίζουν πλήρως την ηλιακή ακτινοβολία.

2.5.2 Ανεμοπροστασία – Φυσικός αερισμός

Η ταχύτητα του αέρα μπορεί να τροποποιηθεί σημαντικά με τον κατάλληλο σχεδιασμό των υπαίθριων χώρων και την προσθήκη βλάστησης. Η χειραγώγηση των ψυχρών ανέμων και η διευκόλυνση της θερινής αύρας καθορίζει τόσο τη θερμική άνεση (2.5.5) στο χώρο όσο και τη κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων (2.5.6. Ανάλογα τη θέση, το μέγεθος και τη πυκνότητα του φυλλώματος, το σχήμα και το ύψος του κάθε είδους, την κόμη (κεκλιμένη ή επίπεδη) καθώς και το είδος της βλάστησης, μπορεί να γίνει έλεγχος του αέρα, μέσω της παρεμπόδισης, διευθέτησης, εκτροπής και διήθησης του. Οι θάμνοι, τα κωνοφόρα, τα αειθαλή και τα φυλλοβόλα δέντρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ανάλογα την εποχή, χωριστά ή σε συνδυασμό, συμβάλλοντας στην τροποποίηση των κινήσεων του ανέμου. Έτσι, η συνδυασμένη φύτευση δέντρων και θάμνων μπορεί να βελτιώσει την προστασία από τον χειμερινό αέρα (δημιουργία ανεμοφράκτη) ή να αυξήσει το δροσισμό από τον καλοκαιρινό αέρα (φυσικός αερισμός).

Το χειμώνα, η κατάλληλη φύτευση και η δημιουργία ανεμοφράκτη, μπορεί να εκτρέψει τον ψυχρό αέρα και να μειώσει την ταχύτητά του, δημιουργώντας προφυλαγμένες υπήνεμες περιοχές, στην πίσω πλευρά, προστατεύοντας παράλληλα τους δρόμους, τα κτίρια αλλά και ολόκληρη την πόλη από υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες.



Ενώ το καλοκαίρι οι συστάδες δέντρων (σύνθεση δέντρων) μπορούν να κατευθύνουν τον αέρα προς ένα κτίριο, ενισχύοντας τον φυσικό αερισμό του. Η αποτελεσματικότητα χρήσης ενός τέτοιου φράκτη/ σύνθεσης δέντρων, ανά εποχή, ποικίλει ανάλογα με την σύνθεση των ειδών, του ύψους και τη κόμη τους. Έτσι, για μείωση της ταχύτητας

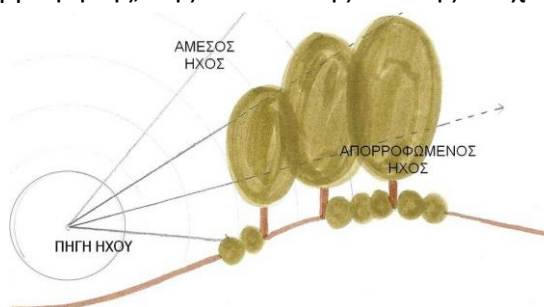
του ανέμου συνίσταται συνδυασμός διαφορετικών μεταξύ τους ειδών, με επίπεδη κόμη. Φυτά κατάλληλα για ανεμοφράκτες είναι το Κυπαρίσσι, τα διάφορα είδη Λεύκης, η Οξιά, η Πεύκη, το Πλατανοειδές Σφενδάμι, η Φλαμουριά, ο Γιουνίπερος, η Κρανιά, το Λιγούστρο, η Τούγια.

Βάσει της αρχής του βιοκλιματικού σχεδιασμού η Βόρεια πλευρά πρέπει να προστατεύεται από τους ανέμους το χειμώνα και από την υψηλή θερμοκρασία το καλοκαίρι. Έτσι, συνιστάται η φύτευση αιθαλών δένδρων στη βόρεια πλευρά διαμορφώνοντας ανεμοφράκτη το χειμώνα και φυσικό δροσισμό το καλοκαίρι.

2.5.3 Έλεγχος του ήχου

Η θέση, το ύψος, το πλάτος και η πυκνότητα της κόμης των φυτών είναι παράγοντες που μπορούν να ρυθμίσουν τον ήχο στο περιβάλλον. Η ικανότητά τους αυτή οφείλεται στους μηχανισμούς της απορρόφησης, της ανάκλασης και της διάχυσης της πηγής ήχου από τα φυλλώματα των φυτών, ανάλογα με την ένταση, τη συχνότητα και την κατεύθυνση της πηγής αυτής.

Τα δέντρα σε αστικούς χώρους προκαλούν επιπλέον απορρόφηση και διασπορά του ήχου, μειώνοντας



έτσι το αστικό θόρυβο. Κάθε τετραγωνικό μέτρο πρασίνου μειώνει το θόρυβο κατά 0,17 ντεσιμπέλ (Samara and Tsitsoni, 2010)²⁵. Η ενίσχυση των επιθυμητών θορύβων, φυσικών πηγές (π.χ. αστικά πάρκα) και ο περιορισμός των μη επιθυμητών, όπως ήχοι βιομηχανίας και κυκλοφορίας αυτοκινήτων, μπορούν να δημιουργήσουν *συνθήκες ακουστικής άνεσης σε έναν χώρο*. Η θέση, το ύψος, το πλάτος και η πυκνότητα της κόμης των φυτών είναι παράγοντες που μπορούν να ρυθμίσουν τον ήχο στο περιβάλλον. Έτσι, οι συστάδες φυτών που συγκροτούνται από πολλά διαφορετικά είδη, προσφέρουν καλύτερη ηχοπροστασία, λόγω της διαφορετικής ικανότητας των διαφόρων ειδών να απορροφούν τα διαφορετικά επίπεδα συχνότητας των πηγών θορύβου. Παράλληλα, η ενίσχυση των συστάδων με προσθήκη θάμνων ανάμεσα τους μπορεί να οδηγήσει στη αποτελεσματικότερη μείωση του θορύβου. Φυτά με πυκνό φύλλωμα που μπορούν να λειτουργήσουν ως στοιχεία ηχοπροστασίας είναι το Κυπαρίσσι, το Ευώνυμο, το Πυξάρι, το Λιγούστρο και η Τούγια. Επίσης, το φιλτράρισμα των ακουστικών κυμάτων μπορεί να γίνει και με τοποθέτηση βλάστησης στις όψεις των κτιρίων, αυξάνοντας έτσι τη διάχυση του ήχου στα όρια τους.

2.5.4 Επίδραση στο περιβάλλον

Καταπολέμηση της σκόνης: Η βλάστηση καθαρίζει τον αέρα με μηχανικό τρόπο, συγκρατώντας τη σκόνη από το φύλλωμα δέντρων και θάμνων. Λόγω της επιβράδυνσης της ταχύτητας του ανέμου μέσα από τη βλάστηση, η αιωρούμενη

²⁵ Samara T. and Tsitsoni T., 2010. The effects of vegetation on screening road traffic noise from a city ring road. Noise Control Engineering Journal. 59 (1): 68-74. Ανακτήθηκε από: <http://users.auth.gr/tsitsoni/files/eng/8%20apGetFile.pdf>

στην ατμόσφαιρα σκόνη επικάθεται στα φύλλα από τα οποία ξεπλένεται κατόπιν με τη βροχή. Τα δένδρα μπορούν να συγκρατήσουν μέχρι και το 75% της ρύπανσης που προέρχεται από τη σκόνη και τον καπνό (Hodge, 1995)²⁶.

Περιορισμός ατμοσφαιρικής ρύπανσης: Η βλάστηση μέσω του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης μπορεί να παράγει οξυγόνο που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στο περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Είδη ανθεκτικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η Ακακία και η Ακακία Κωνσταντινουπόλεως, η Ελιά, η Κατάληψη, ο Κράταιγος, το Κυπαρίσσι, η Λεύκη, η Μέλια, το Σφενδάμι, η Φλαμουριά, η Φτελιά, η Βερβερίδα, το Βιβούρνο, το Ευώνυμο, η Αγγελική, ο Πυράκανθος, κα.

Συγκράτηση εδαφών και Εμπλουτισμός υδροφόρου ορίζοντα: Η βλάστηση με το ριζικό σύστημα συμβάλλει επίσης στην πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών, κρατώντας τα συνεκτικά. Ενώ, συμβάλλει στην αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων στον αστικό χώρο, μειώνοντας την απορροή των όμβριων έως και 90%. Ένα μέρος της βροχόπτωσης συγκρατείται από τα φύλλα και ένα άλλο διεισδύει στο έδαφος, όπου ένα μέρος συγκρατείται από αυτό και ένα άλλο εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες (Kuchelmeister, 2000)²⁷. Η βλάστηση έχει την ικανότητα να αποθηκεύει τον υδάτινο όγκο που τα υλικά εδαφοκάλυψης αστικού περιβάλλοντος δεν μπορούν να πετύχουν.

Προστασία της βιοποικιλότητας: Οι αστικοί χώροι πρασίνου παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της βιοποικιλότητας μέσα στο περιβάλλον της πόλης, αλλά και δίνουν ευκαιρίες αναψυχής και κίνητρα των ατόμων για περπάτημα – ποδηλασία.

Αισθητική βελτίωση: Η χρήση του πρασίνου στον πολεοδομικό και αρχιτεκτονικό σχεδιασμό βελτιώνει την αισθητική αντίληψη και την απόλαυση του αστικού τοπίου, συμβάλλοντας στον εξωραϊσμό της πόλης και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η κατάλληλη χρήση φυτικού υλικού καθώς και άλλων φυσικών στοιχείων (νερό, πέτρα, ξύλο) μπορεί να βοηθήσει στην αρμονική σχέση μεταξύ κατασκευών, ανθρώπων και φυσικού περιβάλλοντος (Hodge, 1995, Burden, 2006).

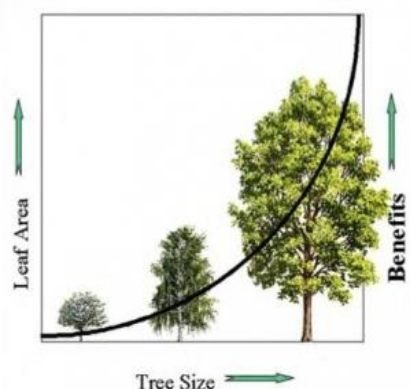
2.5.5 Βελτίωση συνθηκών θερμικής άνεσης

Η βλάστηση όπως προαναφέρθηκε λειτουργεί ως μέσω ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας και της σκίασης (2.5.1), όλη την περίοδο του έτους, αλλά και ελέγχου της ροής του ανέμου (2.5.2). Τα φύλλα των δένδρων συγκρατούν, αντανakλούν, απορροφούν και μεταβιβάζουν ηλιακή ακτινοβολία. Το όφελος της σκίασης μέσω της βλάστησης είναι η μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας. **[πηγή εικόνας: <http://www.urbantreealliance.org>].**

²⁶ Hodge S.J., 1995. Creating and managing woodlands around towns. HMSO, London Ανακτήθηκε από: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCHB011.pdf/\\$FILE/FCHB011.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCHB011.pdf/$FILE/FCHB011.pdf)

²⁷ Kuchelmeister G., 2000. Trees for the urban millennium: urban forestry update. Unasylva, 51: 49-55. Ανακτήθηκε από: http://www.fao.org/uploads/media/Trees_for_the_urban_millennium_urban_forestry_update.pdf

Η μείωση αυτή προκύπτει μέσω του μηχανισμού της εξατμισοδιαπνοής²⁸, όπου τα φυτά αποβάλλουν από τα φύλλα νερό στο περιβάλλον, με τη μορφή υδρατμών, αυξάνοντας έτσι τη σχετική υγρασία κάτω από το φύλλωμά τους. Ένα δένδρο με επάρκεια νερού, διοχετεύει καθημερινά στην ατμόσφαιρα μέχρι 400L νερό με μορφή υδρατμών (Kramer and Kozlowski, 1979).



Σε ζεστά και ξηρά κλίματα η αύξηση της υγρασίας μέσω φύτευσης μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία μέχρι και 5 βαθμούς, βελτιώνοντας έτσι την αίσθηση της θερμικής άνεσης το καλοκαίρι (McPherson et al., 1999). Έτσι, το καλοκαίρι όπου η θερμοκρασία είναι υψηλή, η βλάστηση συμβάλει στη μείωση της θερμοκρασίας μέσω της εξάτμισης του νερού. Τις θερμές καλοκαιρινές ημέρες, ένα δέντρο μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικό κλιματιστικό παράγοντας μέχρι και 100 γαλόνια του νερού ημερησίως. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα κλαδιά και τα φύλλα ενός δέντρου μειώνουν άμεσα την ενέργεια που φτάνει στο έδαφος, μειώνοντας επίσης με αυτόν τον τρόπο και τη θερμοκρασία στο έδαφος. Η βελτίωση της θερμικής άνεσης κάθε χρονική περίοδο επιτυγχάνεται μέσω των διαφορετικών ειδών βλάστησης, αλλά και της κατάλληλης τοποθέτησης τους για τον έλεγχο του ανέμου. Τα φυλλοβόλα δέντρα προσφέρουν σκιά το καλοκαίρι και ενισχύσουν το δροσισμό μέσω της εξατμισοδιαπνοής, ενώ το χειμώνα επιτρέπουν τον ηλιασμό του χώρου. Ενώ τα δέντρα με πυκνά φυλλώματα μπορούν να λειτουργήσουν και ως ανεμοφράγματα το χειμώνα όταν τοποθετούνται στην πλευρά του επικρατούντος ανέμου, διασφαλίζοντας έτσι την κλιματική ποιότητα στο χώρο και στο χρόνο. Άμεσο επακόλουθο είναι η μείωση του ενεργειακού φορτίου των παρακείμενων κτιρίων (2.5.6) και του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (2.5.7).

2.5.6 Μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων

Ο κατάλληλος σχεδιασμός και τοποθέτηση της βλάστησης στο αστικό περιβάλλον βοηθά στο έλεγχο των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων, διασφαλίζοντας φυσικές συνθήκες θέρμανσης, το χειμώνα και ψύξης το καλοκαίρι. Ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας, για μέγιστη αξιοποίηση της φυσικής αυτής πηγής, μπορεί να γίνει με την προσθήκη φυλλοβόλων δένδρων στις νότιες και δυτικές πλευρές του κτιρίου. Έτσι, το χειμώνα τα κτίρια λαμβάνουν η μέγιστη δυνατή ήλιο-κάλυψη, ενώ το καλοκαίρι το φύλλωμα απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία, δημιουργώντας ψύχοντας το εξωτερικό των κτιρίων. Ενώ με το έλεγχο της ροής του ανέμου και τη χρήση αιθιαλών δέντρων στην βόρεια πλευρά, δημιουργούνται συνθήκες

²⁸ Η απελευθέρωση του νερού υπό μορφή υδρατμών τόσο μέσω της φυσικής εξάτμισης όσο και μέσω της διαπνοής

ανεμοπροστασίας το χειμώνα , για μείωση των θερμικών απωλειών και κατάλληλου δροσισμού το καλοκαίρι. Οι θερμικές απώλειες των κτηρίων, προκαλούνται από τη διαφυγή αέρα από τους αρμούς, ενώ όταν ο άνεμος είναι έντονος οι απώλειες μπορεί να φτάσουν και το 50% των συνολικών θερμικών απωλειών. Τέλος, στο σχεδιασμό τοποθέτησης βλάστησης στο αστικό χώρο, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η θέση της φύτευσης σε σχέση με την τροχιά του ήλιου την χειμερινή και την εαρινή περίοδο, ώστε να αποδίδεται μεγαλύτερη σκίαση το καλοκαίρι και μικρότερη το χειμώνα.

2.5.7 Μείωση του φαινομένου Αστικής Θερμικής Νησίδας

Οι αστικές περιοχές όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.4.2 εμφανίζουν συνήθως υψηλότερη θερμοκρασία απ' ότι οι περι-αστικές περιοχές. Με την χρήση βλάστησης μπορεί ανατραπεί το φαινόμενο αυτό, μειώνοντας την αναλογία δομημένων υλικών που απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και επανεκπέμπουν ως θερμική. Επίσης, η βλάστηση μπορεί να ψύξει τον περιβάλλοντα χώρο με την διαδικασία της εξάτμισοδιαπνοής (2.5.5), όπου τα φυτά αποβάλλουν από τα φύλλα νερό στο περιβάλλον, μειώνοντας την θερμοκρασία του αστικού χώρου.

Οι επιδράσεις που ασκεί η βλάστηση στο φαινόμενο αυτό είναι²⁹:

1. Η ανεμπόδιστη διείσδυση του νερού της βροχής στο έδαφος, αποθηκεύοντας το λόγω του μεγάλου πορώδους. Οδηγώντας έπειτα στη εξάτμισή του και κατά συνέπεια στο δροσισμό του περιβάλλοντος.
2. Σκιάζει τις επιφάνειες οδοστρωμάτων, οικοδομών κ.α. και διατηρεί τη θερμοκρασία τους σε «θερμοκρασία αέρος υπό σκιάν».
3. Οι κλιματιστικές συσκευές δεν απομακρύνουν τη θερμική ενέργεια από την πόλη. Συνεπώς, ένα μέτριου μεγέθους δένδρο διαπνέει περίπου 400 λίτρα νερού/24 ώρες, καταναλώνοντας σε ενέργεια 250.000 kcal, όση περίπου αντλούν 9 οικιακές συσκευές κλιματισμού κατά την 24ώρη λειτουργία τους (1000 kcal/h).
4. Συγκρατεί μεγάλο ποσοστό των σωματιδίων και ρύπων του αέρα.

²⁹ TEE, Χρυσομαλλίδου Ν., Θεοδοσίου Θ., Τσικαλουδάκη Κ., «Αειφόρος Ανάπτυξη Ελεύθερων Χώρων σε αστικό περιβάλλον» Ανακτήθηκε από:
http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1162/kma_m1162_xrisomallidou.pdf



Κεφάλαιο 3

Μοντελοποίηση 3D γεωχωρικών δεδομένων σε αστικό περιβάλλον

3.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) αποτελεί το Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems, G.I.S.), έννοια που διατυπώθηκε πρώτη φορά σε συνέδριο της CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) από τον Roger Tomlinson το 1968. Η έννοια χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει ένα σύστημα ανάλυσης χαρτογραφικών δεδομένων, που είχε αναπτυχθεί για την καναδική κυβέρνηση (Tomlinson, 1968). Κατά καιρούς έχουν αποδοθεί διάφοροι ορισμοί για ΣΓΠ, μια πιο σύγχρονη εκδοχή ορίζει τα ΓΣΠ ως ένα “σύνολο υλικού, λογισμικού και διαδικασιών, το οποίο με κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική αναφορά” καθώς παράλληλα αποτελούν ισχυρό εργαλείο υποστήριξης στη λήψη αποφάσεων και στην επίλυση ποικίλων προβλημάτων διαχείρισης, σχεδιασμού και ανάπτυξης (Χαλκιάς, 2006). Συνεπώς, τα ΓΣΠ είναι σχεδιασμένα για την συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία, ανάλυση, διαχείριση και παρουσίαση τύπου γεωγραφικών δεδομένων σε ψηφιακό περιβάλλον. Χρησιμοποιούνται σε πολλά πεδία εφαρμογών διότι δίνουν λύσεις σε πολλά χωρικά προβλήματα (Χαλκιάς, 2011), όπως αναλύεται και παρακάτω.

Τα χαρακτηριστικά τους, συνεπώς, υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε πολλές διοικητικές και παραγωγικές δραστηριότητες, οι οποίες ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες (Στεφανάκης, 2003):

Κοινωνικοοικονομικές εφαρμογές: όπως ο πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός, η τουριστική ανάπτυξη, η ανάδειξη αρχαιολογικών χώρων και μνημείων κ.α.

Περιβαλλοντικές εφαρμογές: όπως η άμβλυνση φυσικών κινδύνων και καταστροφών, η ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων κ.α.

Εφαρμογές διαχείρισης: όπως η οργάνωση δικτύων κοινής ωφέλειας, η διαχείριση στόλου οχημάτων, συγκοινωνιακών δικτύων, υποδομών κ.α.

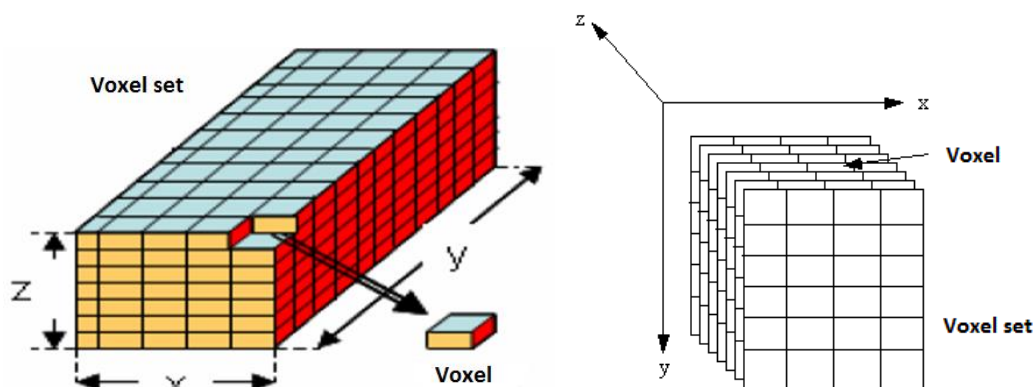
Τα γεωγραφικά ή χωρικά δεδομένα είναι δεδομένα με χωρική αναφορά. Τα δεδομένα αυτά αποτελούνται από τρεις διαστάσεις, τη χωρική, την περιγραφική και τη χρονική. Η χωρική διάσταση αναφέρεται στη γεωμετρία, στην κλίμακα, στη θέση, στις χωρικές σχέσεις των δεδομένων και σε άλλα χωρικά χαρακτηριστικά. Η

περιγραφική διάσταση αναφέρεται στις ιδιότητες των δεδομένων, ενώ η χρονική διάσταση στα στιγμιότυπα (Χαλκιάς, 2011). Στα ΓΣΠ τα δεδομένα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στα ψηφιδωτά (raster) και στα διανυσματικά (vector). Τα ψηφιδωτά δεδομένα διαιρούνται σε διατάξεις ψηφίδων (δομικά στοιχεία αυτού του τύπου δεδομένων), με σχήμα τετραγώνου συνήθως και με συγκεκριμένες διαστάσεις. Οι ψηφίδες αναπαριστούν ένα τμήμα της επιφάνειας της γης και απεικονίζουν μία ιδιότητα ή ένα χαρακτηριστικό αυτού του τμήματος. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για την απεικόνιση φυσικών ή νοητών συνεχών πεδίων, ενώ τα περισσότερα προέρχονται από τους δορυφόρους τηλεπισκόπησης. Αντίθετα, τα διανυσματικά δεδομένα αναπαριστούν τριών ειδών χωρικές οντότητες, ανάλογα με το σχήμα τους. Οι οντότητες αυτές μπορεί να είναι σημεία (points), γραμμές (polylines) ή πολύγωνα (polygons) (Καλογήρου, 2015).

Τα ΓΣΠ είναι κυρίως γνωστά για την δυνατότητα αναπαράστασης των δεδομένων σε δύο διαστάσεις (2D GIS). Στις αρχές της δεκαετίας του '90, έγινε η εισαγωγή της 2.5D διάστασης, επιτρέποντας στους χρήστες μια καλύτερη προσέγγιση του πραγματικού κόσμου. Στην συνέχεια, η εισαγωγή της τρίτης διάστασης και η σύνδεση της με την θεματική πληροφορία, δημιούργησε την αναγκαιότητα εδραίωσης των 3D GIS για επέκταση των πληροφοριών στις τρεις διαστάσεις, όχι μόνο περιγραφικά, αλλά και απεικονιστικά. Συνεπώς, η ανάγκη για τρισδιάστατα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών γίνεται επιτακτικότερη δεδομένου, της πολύπλοκης πραγματικότητας του χώρου αλλά και της εισαγωγής της διάστασης του χρόνου, ως τέταρτη διάσταση (4D GIS).

Συγκεκριμένα, στα **2D GIS** οι οντότητες είναι γεω-αναφερμένες, με γεωγραφικές διαστάσεις x , y , το γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Οι οντότητες αναπαρίστανται ως ζευγάρια x , y συντεταγμένων, που μπορούν να είναι σημεία, γραμμές ή πολύγωνα. Στα **2.5D GIS** υπάρχουν οι δύο βασικές γεωγραφικές διαστάσεις σε άξονα κανάβου x,y αλλά και μια τρίτη διάσταση z . Η διαφορά των 2.5D με τα 3D GIS, είναι ότι υπάρχουν σε κάθε σημείο του 2D $x-y$ χώρου ως μια μοναδιαία τιμή z για κάθε 2D τοποθεσία. Ενώ οι **3D οντότητες**, αφορούν γεωγραφικούς όγκους, που υπάρχουν στο πραγματικό χώρο, όπως πολύπλοκα γεωλογικά, ωκεανογραφικά και μετεωρολογικά μοντέλα, ή κτίρια με ορόφους ή μοντέλα βλάστησης. Οι οντότητες εξακολουθούν να έχουν τις διαστάσεις x,y,z όπως και στα 2.5D, αλλά ένας γεωγραφικός όγκος (3D) μπορεί να υπάρχει οπουδήποτε στο 3D $x-y-z$ χώρο, ενώ για κάθε 2D τοποθεσία μπορούν να υπάρχουν πολλαπλές z τιμές. Ένα 2.5D GIS αποδίδει τα ύψη, ως μια απλουστευμένη τρισδιάστατη κατά προσέγγιση αναπαράσταση. Η τρισδιάστατη αναπαράσταση αποδίδεται έπειτα σε ένα 3D πρόγραμμα, με την αναπαράσταση πρόσθετων παραμέτρων όπως κλίσεις σκεπής ή άλλα σχήματα και την απόδοση μεγαλύτερης ακρίβειας. Ένα 3D μοντέλο περιγράφεται ως ένα συμπαγές μοντέλο που αναπαριστά τις τιμές κάθε παραμέτρου ως κουτί με τρεις διαστάσεις «box» ή ως 3D πλέγμα (grid), δημιουργώντας έτσι την ογκομετρική

πληροφορία της παραμέτρου (εικόνα 18). Παρεμβάλλοντας τιμές στον όγκο αυτό δημιουργείται το 3D πλέγμα που αποτελείται από τα «voxels». Η λέξη «voxel» βασίζεται στην σύνδεση των λέξεων vox, “volume” και el, “element”, ενώ αναπαριστά την τιμή ενός απλού πλέγματος στο τρισδιάστατο χώρο. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται το 3D πλέγμα (voxel set), με τη τρισδιάστατη παρεμβολή των τιμών (voxels) στον όγκο, για διαφορετικές προβολές.



Εικόνα 18: Σκίτσο αναπαράστασης του πλέγματος voxels στο τρισδιάστατο χώρο. (Karakula, 2007)

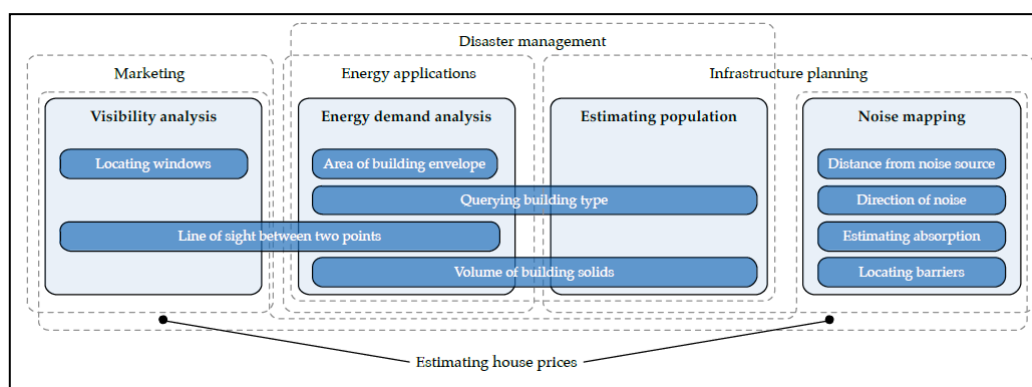
3.1.1 Πλεονεκτήματα τρισδιάστατων μοντέλων

Συνεπώς, γίνεται κατανοητό ότι οι ανάγκες για 3D πληροφόρηση γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες έναντι της 2D πληροφόρησης με ανάγκη για «γεω-πληροφόρηση». Τομείς που αξιοποιούν την 3D πληροφόρηση είναι, τομείς του αστικού σχεδιασμού, της περιβαλλοντικής μοντελοποίησης, των τηλεπικοινωνιών, του σχεδιασμού τοπίου, των γεωλογικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, των μεταφορών, της αγοράς ακινήτων, των υδρογραφικών δραστηριοτήτων, των στρατιωτικών εφαρμογών και ενεργειών διάσωσης. Αυτό γιατί, η ανάγκη για «location-specific information» και «location-based services» γίνεται πλέον μέρος της καθημερινότητας για κάθε τομέα δραστηριοποίησης. Δημιουργώντας έτσι ένα συνδεδετικό κρίκο μεταξύ του εικονικού κόσμου πληροφόρησης και του πραγματικού κόσμου πληροφόρησης.

Οι συναλλαγές των περισσότερων επιχειρήσεων βασίζονται στα συστήματα πληροφοριών όπου εκμεταλλεύονται τον τομέα της γεω-πληροφορικής (*location-specific information*) (Sonnen, Morris, 2000) για την λήψη αποφάσεων και εφαρμογής αυτών. Συνεπώς, η χρήση των 3D GIS επιφέρει την δια-λειτουργικότητα όλων αυτών, επιφέροντας την σύνδεση με τη τρίτη διάσταση στο χώρο. (Zlatanova, Rahman, Pilouk, 2002).

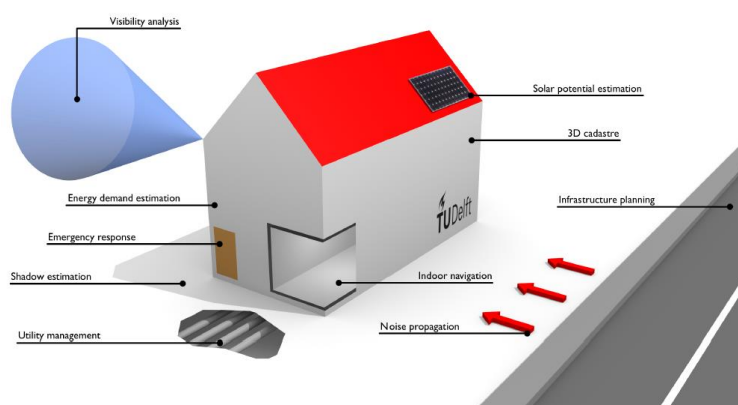
Μεταξύ των διάφορων τομέων που επωφελούνται από την υιοθέτηση και χρήση των τρισδιάστατων GIS, όπως αναφέρθηκε είναι οι τομείς της μοντελοποίησης του περιβάλλοντος και του αστικού σχεδιασμού. Οι 3D αστικές εφαρμογές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, η πρώτη εμπεριέχει εφαρμογές για αποκλειστική 3D

αναπαράσταση (πχ. σχεδιασμός πόλης), ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί την τρισδιάστατη πληροφορία (πχ. για τη μελέτη του τρόπου διάχυσης του σήματος κινητής τηλεφωνίας μέσα σε αστικό ιστό) (Roland, 2000). Η διαχείριση και απεικόνιση του σύγχρονου πολύπλοκου περιβάλλοντος (φυσικού και δομημένου) δημιουργεί τη ανάγκη δημιουργίας 3D χωρικών μοντέλων, όπου η περιγραφική πληροφορία θα συνδέεται με τη χωρική πληροφορία σε ένα μοντέλο τριών διαστάσεων. Τα πλεονεκτήματα στην χρήση 3D-GIS στον αστικό σχεδιασμό στοχεύουν στη δυνατότητα κατανόησης της πολύπλοκης αστικής νομοθεσίας, της σύγκρισης μεταξύ υφιστάμενων και υπό σχεδίαση κτιριακών όγκων, της διαχείρισης του χώρου για την τοπική αυτοδιοίκηση αλλά και της τουριστικής χρήση κ.α.



Εικόνα 19: Απλουστευμένη διαγραμματική αναπαράσταση των πεδίων εφαρμογών τρισδιάστατων μοντέλων. Με τεθλασμένη γραμμή είναι οι γενικοί τομείς που επωφελούνται από την τρισδιάστατη πληροφορία, με γαλάζιο οι επιμέρους κατηγορίες ανάλυσης ανά τομέα και με σκούρο μπλε αποτελούν οι συγκεκριμένες λειτουργίες, πεδίων εφαρμογής τρισδιάστατων μοντέλων.

Πηγή: ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2015, «Applications of 3D City Models: State of the Art Review», 2015.



Εικόνα 20: Οι διάφοροι τομείς εφαρμογής των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων για περιβαλλοντική προσομοίωση και βοήθεια στην λήψη αποφάσεων

[Πηγή: ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2015, «Applications of 3D City Models: State of the Art Review», 2015].

Ο τομέας του αστικού σχεδιασμού όπως αναφέρθηκε παρουσιάζει ποικιλία εφαρμογών που μπορούν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες των 3D GIS, συνδέοντας την τρισδιάστατη χωρική πληροφορία με την θεματική (εικόνα 20). Έτσι, ο 3D

σχεδιασμός βοηθά στην ανάπλαση του χώρου χρήση ρεαλιστικής αποτύπωση, ενώ παράλληλα ελέγχει τον τρόπο επίδρασης μια νέα οικοδομής στο υφιστάμενο χώρο, λόγω σκίασης, οπτικής αλλοίωσης, κα. Επίσης, μπορεί κανείς να υπολογίσει το ποσοστό σκίασης ή ηλιακής έκθεσης κάθε κτιρίου, δημιουργώντας «πράσινα σπίτια». Ενώ αντίστοιχα η μελέτη του προσανατολισμού της στέγης βοηθά στην βέλτιστη επιλογή τοποθεσίας για πιθανή εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελς ή κάποιας άλλης παρέμβασης. Επίσης, η 3D πληροφόρηση βοηθά στην μοντελοποίηση ζωνών προστασίας οικιστικής ζώνης από πλημμυρικό κίνδυνο ή νομικών ζωνών, για τον έλεγχο τήρησης ή μη της νομοθεσίας (επιτρεπόμενοι όροι δόμησης, συντελεστές ποσοστού κάλυψης). Επίσης, η μοντελοποίηση των επιπέδων θορύβου ή κινδύνου των κτιρίων τριών διαστάσεων βοηθά σε περιπτώσεις έργων υποδομής (πχ. διάνοιξη σήραγγας για κάποιο μέσο μαζικής μετακίνησης)

Ο τομέας της εκτίμησης ακινήτων αξιοποιεί τις 3D δυνατότητες του χώρου ώστε να βελτιώσει τις ευκαιρίες για αγορά αυτών. Έτσι, για την ανάλυση τιμής – εκτίμησης ακινήτων, λαμβάνονται υπόψη οι όροφοι κάθε κτιρίου και ο παράγοντας της θέας από κάθε σημείο ξεχωριστά, ενώ παράλληλα η τρισδιάστατη αναπαράσταση των κενών χώρων γραφείων, βάσει τοποθεσίας, βοηθάει την κίνηση στην κτηματαγορά. Αντιστοίχως, εκτιμάται το «line of visibility», δηλαδή το πόσο φαίνεται το κτίριο υπό ενοικίαση από διάφορα σημεία.

Η δημιουργία του όγκου κτιρίων γίνεται για την εκτίμηση χωρητικότητας κατοίκων ανά οικοδομικό τετράγωνο, ανάλογα την χρήση γης. Έτσι, ανάλογα το ύψος του κτιρίου χρειάζεται για τον έλεγχο διάχυσης του σήματος GPS και διαδικτύου

Μεταξύ αρκετών ακόμα, η τρισδιάστατη πληροφορία χρησιμεύει στην λήψη αποφάσεων για την δημόσια ασφάλεια.

Τέλος, η περίπτωση αυτή της εργασίας, όπου η ανάλυση του μικροκλίματος στο αστικό περιβάλλον τριών διαστάσεων και η παρέμβαση σε αυτό και την προσθήκη βλάστησης, μπορεί να βοηθήσει στη ενεργειακή μείωση των αναγκών ζήτησης των κτιρίων για ψύξη το καλοκαίρι ή και την βελτίωση των εξωτερικών συνθηκών άνεσης.

3.1.2 Μέθοδοι αναδόμησης τρισδιάστατων μοντέλων

Ένα ΓΣΠ μπορεί να βοηθήσει στην διαχείριση δεδομένων πλεγματικής μορφής (raster type, ορθοφωτοχάρτες, Digital Surface Models, Digital Elevation Model) και διανυσματικής μορφής (vector type). Η χρησιμότητα αυτών των δεδομένων βοηθά στην αναδόμηση των αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις. Τα ΓΣΠ δέχονται δεδομένα, τα οποία με τις σειρά τους έχουν ήδη υποστεί επεξεργασία, όπου με αντίστοιχα κατάλληλη διαχείριση τους εξάγονται ξανά και εισάγονται σε κατάλληλο λογισμικό για περαιτέρω 3D επεξεργασία. Έρευνες που έχουν γίνει επί του θέματος καταλήγουν στο διαχωρισμό τεσσάρων διαφορετικών προσεγγίσεων (Stoter, Zlatanova, 2003) των μεθόδων ανακατασκευής τρισδιάστατων αντικείμενων. Οι μέθοδοι, χειρωνακτικές είτε ημιαυτόματες, είναι:

- **Bottom-up:** Τα τρισδιάστατα αντικείμενα δημιουργούνται μέσω της εξώθησης του ίχνους τους (footprints) από δυσδιάστατους χάρτες (2D Maps). Για την εξώθηση του ύψους χρησιμοποιούνται δευτερογενείς δεδομένα (μέσω της φωτογραμμετρίας, δορυφορικών μεθόδων και επίγειων τοπογραφικών μεθόδων καθώς και ψηφιακών σαρωτών). Το πρόβλημα αυτής της μεθόδου είναι ότι για κάθε ίχνος κτιρίου χρησιμοποιείται μια τιμή και ότι οι οροφές των κτιρίων δεν εμφανίζονται με λεπτομέρεια. Βέβαια, με τον τρόπο αυτόν καθιστάτε γρήγορα μια τρισδιάστατη, χωρίς λεπτομέρεια μοντελοποίηση.
- **Top-down:** Σε αυτή την μέθοδο, πληροφορία για την εξώθηση του ύψους δίνεται από τις οροφές των κτιρίων. Χρησιμοποιούνται δηλαδή δεδομένα από αεροφωτογραφίες ψηφιακών σαρώσεων και υψομετρική πληροφορία από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, DTM και το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας, DSM. Βέβαια, η δημιουργία των 3D μοντέλων εξαρτάται πλήρως από την ανάλυση εικονοστοιχείου των αρχικών δεδομένων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και στην παρούσα πτυχιακή μελέτη, ανάλυση της οποίας γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο.
- **Λεπτομερής ανακατασκευή:** Για τη δημιουργία των κτιρίων, χρησιμοποιούνται πολύπλοκοι αλγόριθμοι, καθώς η μοντελοποίηση εμπεριέχει μεγάλο επίπεδο λεπτομέρειας. Ουσιαστικά, χρησιμοποιούνται σημεία από λέιζερ σαρώσεις σε νέφη σημείων (laser scanning – point clouds) ή αεροφωτογραφίες σε συνδυασμό με προκαθορισμένα σχήματα κτιρίων. Με ορθή χρήση αυτών των αλγορίθμων, παράγονται αυτοματοποιημένα, γρήγορα και ρεαλιστικά κτίρια.
- **Συνδυασμός παραπάνω:** Τέλος, υπάρχει και η δυνατότητα συνδυασμού όλων των παραπάνω μεθόδων για την δημιουργία τρισδιάστατων κτιρίων – αντικειμένων. Βέβαια, ο συνδυασμός περικλείει κίνδυνο σφαλμάτων εφόσον τα δεδομένα δεν έχουν την ίδια ακρίβεια και προέρχονται επίσης από διαφορετικές πηγές.

3.1.3 Διαφορετικά Επίπεδα Λεπτομέρειας (Levels of Detail – LoD)

Τα επίπεδα λεπτομέρειας (LoD) συναντώνται με παρόμοιο τρόπο στα ΓΣΠ και στα 3D μοντέλα πόλεων. Τα LoDs εκφράζουν το πόσο καλά έχουν απεικονιστεί τα χαρακτηριστικά των κτιρίων σε σχέση με την πραγματική τους μορφή, βάσει της γεωμετρικής τους πολυπλοκότητας, αλλά και άλλων μετρήσεων, όπως η χωροσημασιολογική συνοχή τους και η ανάλυση της υφής τους. Η κατηγοριοποίηση των LoDs αποτελεί κομμάτι του προτύπου CityGML³⁰. Σύμφωνα με τον Thomas H. Kolbe, το CityGML είναι ένα μοντέλο για την αποθήκευση και ανταλλαγή τρισδιάστατων 3D πόλεων, ενώ βασίζεται στα διεθνή πρότυπα των οργανισμών ISO (International Organization for Standardization) και OGC (Open Geospatial Consortium).

³⁰ <http://www.citygml.org/> ,
<http://www.opengeospatial.org/standards/citygml> .

Περιγράφει δηλαδή τα κοινά 3D αντικείμενα των πόλεων, όπως σπίτια, γέφυρες, ποτάμια, δρόμους, βλάστηση ακόμα και έπιπλα. Το CityGML διαφοροποιεί 5 διαδοχικά επίπεδα λεπτομέρειας Levels of Detail – LoD, όπου τα αντικείμενα λαμβάνουν περισσότερη λεπτομέρεια όσο αυξάνεται και το επίπεδο λεπτομέρειας. Ενώ παράλληλα το ίδιο αντικείμενο μπορεί να αναπαριστάται σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, για την ανάλυση και απεικόνιση αυτού σε διαφορετικές κλίμακες. Στα ΓΣΠ, τα επίπεδα λεπτομέρειας (LoD) αντιστοιχούν με την «γενίκευση» (generalization). Συγκεκριμένα, τα επίπεδα λεπτομέρειας διαχωρίζονται στα:

Πίνακας 7: Διαδοχικά επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs)

LoD 0	ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM), ίχνος 2.5D αποτύπωσης ορίων κτιρίων
LoD 1	κύριοι όγκοι κτιρίων (block model), χωρίς στέγες.
LoD 2	πρόσθετα γεωμετρικά στοιχεία, μπαλκόνια και στέγη
LoD 3	πραγματική αρχιτεκτονική μορφή, με στέγη, παράθυρα, πόρτα και την υφή αυτών.
LoD 4	ολοκληρωμένο μοντέλο, με εσωτερικές δομές, (δωμάτια, σκάλες, έπιπλα).



Εικόνα 21: Αναπαράσταση επιπέδων λεπτομέρειας (LoD), κατά το πρότυπο CityGML, όπου η γεωμετρική και σημασιολογική πολυπλοκότητα σταματά το LoD 4 που περιγράφει μέχρι και στοιχεία εσωτερικού χώρου.

[Πηγή: Biljecki, F.; Ledoux, H.; Stoter, J. (2016). "An improved LOD specification for 3D building models". *Computers, Environment and Urban Systems*.]

- Το πρώτο και χαμηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας (*LoD 0*) αποτελεί ένα 2.5D Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM). Σε αυτό το επίπεδο δεν υπάρχει η έννοια του υψόμετρου, δηλαδή του όγκου του κτιρίου. Απεικονίζει τα περιγράμματα των κτιρίων όπως φαίνονται από τοπογραφικά διαγράμματα ή σχέδια κατόψεων. Η απεικόνιση των κτιρίων σε αυτό το επίπεδο αποτελεί τη βάση για την τρισδιάστατη αναπαράστασή τους.
- Στο δεύτερο επίπεδο λεπτομέρειας (*LoD 1*) τα κτίρια αναπαρίστανται με έναν απλό όγκο, πρισματικά κτίρια με επίπεδες στέγες (blocks model). Οι όγκοι των κτιρίων προκύπτουν από τα περιγράμματα τους, δηλαδή από το προηγούμενο επίπεδο λεπτομέρειας (*LoD 0*), υψωμένα στο πραγματικό τους ύψος, το οποίο προκύπτει είτε από τοπογραφικές είτε από φωτογραμμετρικές εργασίες.
- Στο τρίτο επίπεδο (*LoD 2*) τα κτίρια απεικονίζονται με εξωτερικές γεωμετρικές δομές, για καλύτερη αναπαράσταση του σχήματος τους. Σε αυτό το επίπεδο

αναπαρίστανται επίσης και οι στέγες, τα μπαλκόνια των κτιρίων για καλύτερη κατανόηση της γεωμετρίας τους.

- Στο επόμενο επίπεδο (*LoD 3*) απεικονίζονται κτίρια υψηλής λεπτομέρειας, καθώς δίνεται έμφαση στις υφές του αντικειμένου, δηλαδή οι όψεις και οι στέγες των κτιρίων απεικονίζονται όπως είναι στην πραγματικότητα (αρχιτεκτονική δομή) και όχι με την χρήση φωτουφών. Όσον περισσότερη λεπτομέρεια έχει το κτίριο, τόσο περισσότερη γεωμετρική πληροφορία προκύπτει, γεγονός που συντελεί στην πιο ρεαλιστική μορφή του.
- Στο τελευταίο επίπεδο λεπτομέρειας (*LoD 4*), δίνεται έμφαση πέρα της εξωτερικής μορφής του κτιρίου που έχει αποδοθεί σε προηγούμενο επίπεδο, στη εσωτερική δομή του κτιρίου. Έτσι, αποδίδονται οι εσωτερικοί χώροι, τα έπιπλα, το δώμα, οι σκάλες κ.α.

3.2 Envi-met Basic v4.1.1 Winter

Το Envi-met είναι ένα προγνωστικό, τριών διαστάσεων και υψηλής ανάλυσης μικροκλιματικό μοντέλο. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για ανάλυση μικρής κλίμακας αλληλεπιδράσεων μεταξύ στοιχείων του αστικού σχεδιασμού (κτίρια, δρόμοι, κ.α.) και του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, κ.α.), με την βοήθεια ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Στον υπολογισμό αυτής της αλληλεπίδρασης λαμβάνονται υπόψη τα διαφορετικά στοιχεία του χώρου, τα όρια κτιρίων, το υλικό κατασκευής και οι ιδιότητες κάθε στοιχείου στην επιφάνεια. Βασίζεται στους θεμελιώδεις νόμους της μηχανικής των ρευστών (Computational Fluid Dynamics – C.F.D.), της θερμοδυναμικής και σε νόμους της ατμόσφαιρας. Στην προσομοίωση λαμβάνονται υπόψη και οι τρεις διαστάσεις στον χώρο, υπολογίζοντας έτσι τον άνεμο, τις διαταραχές, την θερμοκρασία του ανέμου, την υγρασία, την ροή ακτινοβολίας και την διασπορά των ρύπων. (Bruse, 1999). Βασικό χαρακτηριστικό του προγράμματος αποτελεί επίσης η δυνατότητα, μέσω της 3D επεξεργασίας, λεπτομερής μοντελοποίησης της βλάστησης. Έτσι, γίνεται δυνατή η μοντελοποίηση του ποσοστού φωτοσύνθεσης, λαμβάνοντας υπόψη την τοπική ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα CO₂ και πολλούς άλλους παραμέτρους. (Bruse, 2004b). Το λογισμικό Envi-met βρίσκεται υπό συνεχή ανάπτυξη, με την βασική έκδοση³¹ του να παρέχεται ελεύθερα στους χρήστες, ενώ έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε αρκετά άρθρα και δημοσιεύσεις, για προσεγγίσεις αστικού μικροκλίματος.

Οι υπολογισμοί στο μοντέλο εμπεριέχουν:

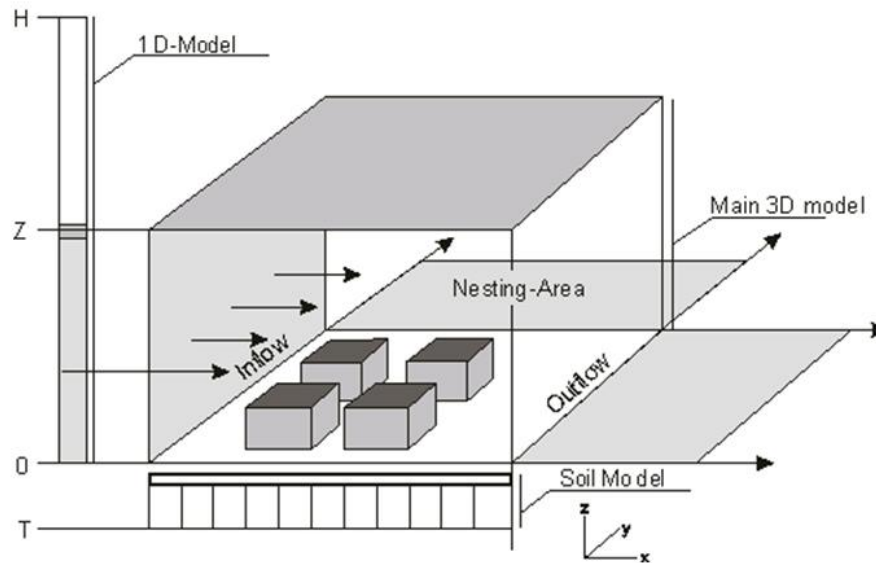
- Μικρού και μεγάλου μήκους ροή ακτινοβολίας σε σχέση με την σκίαση, την αντανάκλαση και την εκ νέου ακτινοβολία από το δομημένο περιβάλλον και τη βλάστηση

³¹ <http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=news:start>

- Διαπνοή, εξάτμιση και ροή θερμότητας από τη βλάστηση στον αέρα, με την πλήρη προσομοίωση όλων των φυσικών παραμέτρων των φυτών (π.χ. ρυθμός φωτοσύνθεσης)
- Θερμοκρασία επιφανειών και τοιχωμάτων, των προσόψεων και στις στέγες.
- Ανταλλαγή θερμότητας και νερού μέσα στο σύστημα του εδάφους
- 3D αναπαράσταση της βλάστησης, με την δυναμική μοντελοποίηση του υδάτινου ισοζυγίου για μεμονωμένα είδη.
- Διασπορά των αέριων μαζών και σωματιδίων. Το μοντέλο υποστηρίζει σωματίδια, αδρανή αέρια και αέρια του κύκλου αντίδρασης του όζοντος NO-NO₂.
- Υπολογισμός βιομετεωρολογικών δεικτών, όπως οι δείκτες Predicted Mean Vote (PMV/PPD), Physiological Equivalent Temperature (PET), Universal Thermal Climate Index (UTCI)

3.2.1 Αρχιτεκτονική του μοντέλου Envi-met

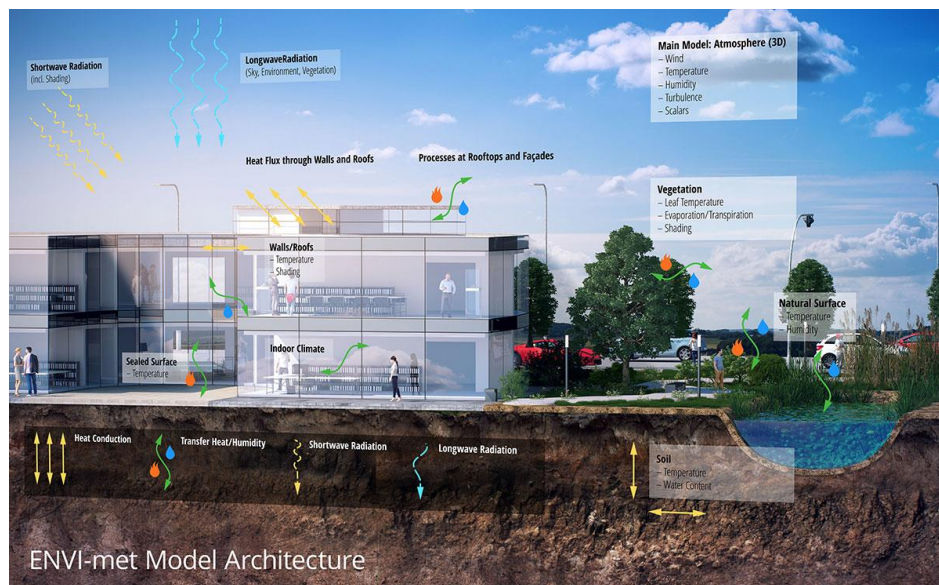
Το λογισμικό Envi-met αποτελεί ουσιαστικά ένα **μονοδιάστατο συνοριακών διαστάσεων μοντέλο (1D Model)**, όπου περιέχει κάθετα μέχρι τα 2500m (το ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος – planetary boundary layer (PBL) –, δηλαδή το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας, που επηρεάζεται από την παρουσία του εδάφους μέσω της τυρβώδους ροής της θερμότητας) το προφίλ διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων και ένα **τριών διαστάσεων μοντέλο** που περιέχει τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, του εδάφους, των κτιρίων και της βλάστησης. Γύρω από το κύριο μοντέλο είναι η περιοχή, όπως λέγεται «nesting», όπου κύρια λειτουργία της είναι να δημιουργήσει σταθερά πλευρικά όρια στο κυρίως μοντέλο (εικόνα 22) (Bruse, 1999) Συνεπώς το τρισδιάστατο μοντέλο μετατρέπεται σε ένα μονοδιάστατο μοντέλο το οποίο εκτείνεται σε ύψος 2500m. Οι τιμές του μονοδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιούνται ως αναφορά τόσο για την εισροή όσο και για τις οριακές συνθήκες (top) για το τρισδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 22: Παρουσίαση μοντέλου στο Envi-met

[Πηγή: <http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=start>]

Το μέγεθος του μοντέλου εξαρτάται από την χωρική ανάλυση του μοντέλου. Όμως, λόγω των υπολογιστικών περιορισμών της μνήμης, το μοντέλο με μεγαλύτερο αριθμό κελιών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι το μοντέλο με 250x250 κελιά οριζόντια και 30 κελιά κάθετα. Η εικόνα 23 δείχνει την αρχιτεκτονική του κύριου μοντέλου με τις βασικά χαρακτηριστικά επεξεργασίας του.



Εικόνα 23: Αρχιτεκτονική μοντέλου στο Envi-met (μοντέλα ατμόσφαιρας, εδάφους, βλάστησης)³².

[Πηγή: <http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=start>].

³² <http://www.envi-met.info/hg2e/doku.php?id=intro:modelconcept>

➤ 1D Model

Το Envi-met έχει την δυνατότητα να προσομοιώνει μόνο ένα μέρος της ατμόσφαιρας, γι' αυτό τον λόγο είναι χρήσιμο να χρησιμοποιούνται οριακές συνθήκες για τα πλευρικά και κάθετα όρια του τρισδιάστατου μοντέλου. Για να δημιουργηθούν αυτές οι οριακές συνθήκες, το 1D οριακό μοντέλο δημιουργεί μονοδιάστατα προφίλ των μετεωρολογικών παραμέτρων, της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας, των διανυσμάτων του ανέμου (οριζόντιας διεύθυνσης), της κινητικής ενέργειας και των αλλαγών της τύρβης. Έτσι, για να γίνει η διασφάλιση των συνθηκών στρωτής ροής στο μοντέλο, το οριακό μοντέλο εκτείνεται ως το υψόμετρο των 2500m (μέσο ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος). Έτσι, αυτό που παρέχει δεδομένα στα όρια του τρισδιάστατου μοντέλου είναι το μονοδιάστατο ορίων μοντέλο με τα οριζόντια ομογενείς κάθετα προφίλ των μετεωρολογικών παραμέτρων. (Bruse,1999) Επιπλέον, παρέχει το κατακόρυφο προφίλ όλων των μεταβλητών για το **όριο εισροής (inflow boundary)** του τρισδιάστατου μοντέλου. Το τελευταίο ορίζεται ως το όριο στην προσήνεμη πλευρά του μοντέλου.

➤ Nesting Area

Η περιοχή ένθεσης (nesting area) αποτελείται από ζώνες που περιβάλλουν το 3D μοντέλο. Η χρήση της επιτρέπει την μετακίνηση των ορίων του μοντέλου μακριά, χωρίς την σπατάλη κελίων υπολογισμού. (δείτε αναλυτικότερα παρακάτω)

➤ Πλευρικές οριακές συνθήκες (LBC)

Με τις πλευρικές οριακές συνθήκες το Envi-met διαχειρίζεται τα όρια του μοντέλου. Το μοντέλο Envi-met περιλαμβάνει τρεις διαφορετικού είδους πλευρικές οριακές συνθήκες (**LBC, Lateral Boundary Conditions**). (Bruse, 2015b):

1. **Ανοικτές LBC:** Οι τιμές της διπλανής κυψέλης του πλέγματος, κοντά στα όρια του μοντέλου αντιγράφονται στα όρια του μοντέλου, για κάθε χρονικό βήμα. (αποτελεί και η βασική ρύθμιση στο λογισμικό)
2. **Κλειστές LBC (ή forced):** Οι τιμές του μονοδιάστατου μοντέλου αντιγράφονται στα όρια του μοντέλου.
3. **Κυκλικές LBC:** Οι τιμές κατάντη του ορίου του μοντέλου αντιγράφονται ανάντη του ορίου του μοντέλου.

Ο χρήστης μπορεί να διαλέξει LBC για την θερμοκρασία, την υγρασία και την τύρβη. Οι *ανοικτές και κυκλικές LBC*, ενώ επιτρέπουν την έναρξη της προσομοίωσης ορίζοντας μόνο μερικές αρχικές παραμέτρους, δεν είναι δυνατό να δημιουργήσουν ακριβή σενάρια. Με αποτέλεσμα να κάνουν δύσκολη την σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις πραγματικές συνθήκες. Αντιθέτως, οι *κλειστές LBC (ή forced)* επιτρέπουν την δημιουργία πραγματικών ή φανταστικών σεναρίων ορίζοντας έναν ημερήσιο κύκλο οριακών συνθηκών για τους διάφορους

μετεωρολογικούς παράγοντες, όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία (που έχουν μετρηθεί από εξωτερικές πηγές).

➤ Σύνδεση 1D όρια – 3D μοντέλο

Για την σύνδεση των οριακών συνθηκών του 1D οριακού μοντέλου και του κύριου 3D μοντέλου, τα ατμοσφαιρικά κελιά στα όρια του 3D μοντέλου πρέπει να μην είναι δεσμευμένα με κτίρια ή άλλα αντικείμενα. Επίσης, για να μοντελοποιηθεί επαρκώς το τοπικό μικροκλίμα, η περιοχή μελέτης θα πρέπει να τοποθετείται στο κέντρο του μοντέλου. (Bruse, 1999) Οι τιμές του μονοδιάστατου οριακού μοντέλου μεταφέρονται στο ανώτατο όριο του 3D μοντέλου. Για την διασφάλιση όμως της οριζόντιας ομοιογένειας στο άνω όριο του 3D μοντέλου, η κάθετη έκταση του 3D μοντέλου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη από το μέγιστο κτίριο της μελέτης.

➤ Το κύριο 3D μοντέλο

Το κύριο τρισδιάστατο μοντέλο αποτελείται από τρεις ορθογώνιας κατεύθυνσης άξονες, δύο οριζόντιες (x και y) και μια κατακόρυφη (z), όπου δημιουργούν, στην περιοχή του μοντέλου, κύβους τριών διαστάσεων. Η περιοχή του μοντέλου αποτελείται από έναν αριθμό κελιών (*grid cells*), (σε μορφή κάναβου) που αναπαριστούν διαφορετικά αντικείμενα, όπως κτίρια, βλάστηση ή ατμόσφαιρα. Ο αριθμός των κελιών εξαρτάται από την περιοχή του μοντέλου και την χωρική της ανάλυση. Το κάθε κελί ορίζεται από τις δικές του φυσικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, ένα κελί που αναπαριστά κτίριο, ορίζεται από το είδος υλικού του, ενώ αντίστοιχα το είδος υλικού ορίζεται από μια συγκεκριμένη θερμική περιεκτικότητα αλλά και από άλλες παραμέτρους. Συνδυάζοντας την βάση δεδομένων όλων των άλλων αντικειμένων του μοντέλου, δημιουργείται μια λεπτομερής αναπαράσταση του αστικού περιβάλλοντος. Στις βασικές ρυθμίσεις του λογισμικού (*default settings*), το κατώτερο ατμοσφαιρικό κελί του κάναβου χωρίζεται κάθετα σε 5 μικρότερα κελιά με μέγεθος $\Delta z_g = 0.2 \Delta z$. Αυτό γίνεται για την μεγαλύτερη ορθότητα των υπολογισμών στην επιφάνεια. (Bruse, 1999)

Συνεπώς, το τρισδιάστατο ατμοσφαιρικό μοντέλο συνδέεται με το τρισδιάστατο εδαφικό μοντέλο το οποίο φτάνει σε έως 5m βάθος (εικόνα 23). Ενώ το μοντέλο βλάστησης βρίσκεται και στο ατμοσφαιρικό αλλά και στο εδαφικό μοντέλο.

Το **ατμοσφαιρικό μοντέλο** αποτελεί και το κυρίως 3D μοντέλο. Στο ατμοσφαιρικό μοντέλο οι κύριες διαδικασίες του αστικού μικροκλίματος που προσομοιώνονται είναι το πεδίο ανέμου, η θερμοκρασία του ανέμου και η κατανομή της υγρασίας, η τύρβη, η διασπορά των αέριων μαζών, σωματιδίων και ρύπων, η ακτινοβολία, η διαδικασία ανταλλαγής μεταξύ του εδάφους και του δομημένου περιβάλλοντος.

Το **εδαφικό μοντέλο** συνδέεται με την κάτω πλευρά του ατμοσφαιρικού μοντέλου και προσομοιώνονται αντίστοιχα οι επιφάνειες, η εδαφική θερμοκρασία, η

βλάστηση, η υδάτινη περιεκτικότητα στο έδαφος και τα υδάτινα σώματα. Ενώ, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας από τις επιφάνειες στην εδαφική μάζα και αντιστρόφως. Στο εδαφικό μοντέλο, υπολογίζονται μέχρι το βάθος των $z=-5\text{m}$ υδρολογικές και θερμοδυναμικές διαδικασίες. Η κάθετη έκταση των 5m εγγυάται σταθερές συνθήκες που αφορούν την θερμοκρασία και περιεκτικότητα σε νερό, του εδάφους, μέσα στην τυπική περίοδο προσομοίωσης (24 ώρες - 5 μέρες). Για κάθε κατακόρυφο κελί του πλέγματος μπορεί να επιλεγεί ένα διαφορετικό υλικό, ώστε να μπορεί να γίνει καλύτερη προσέγγιση για τα διάφορα είδη αστικού εδάφους. Το έδαφος έχει μεγάλη επίδραση στο μικροκλίμα ενώ παράλληλα εμφανίζει μεγάλη κάθετη ανομοιογένεια. Έτσι, το έδαφος στο Envi-met χωρίζεται σε διαφορετικά είδη εδάφους όπου διαφοροποιούνται σε υδρολογικές και θερμοδυναμικές παραμέτρους. Το εδαφικό προφίλ του Envi-met χωρίζεται σε 20 επίπεδα, όχι ίδιας απόστασης. Τα ανώτερα επίπεδα έχουν καλύτερη κάθετη ανάλυση από τα κατώτερα. Όσον αφορά τα υδάτινα σώματα, αναπαριστούνται ως ένας ειδικός τύπος εδάφους, ενώ σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης λογισμικού δεν στηρίζεται η μοντελοποίηση ρηχών νερών τύπου σιντριβάνι.

Τέλος, στο **μοντέλο της βλάστησης** αναπαριστάτε η 3D γεωμετρία των φυτών, η θερμοκρασία του φυλλώματος του φυτού, η διαδικασία ανταλλαγής με το περιβάλλον καθώς και η υγεία του φυτού. Στο Envi-met μοντέλο της βλάστησης αναπαριστάτε ως συγκεντρώσεις κελιών που έχουν επιφάνεια πυκνότητας φυλλώματος στο ατμοσφαιρικό μοντέλο και επιφάνεια πυκνότητας ριζών στο εδαφικό μοντέλο. Εκτός από την επίδραση τους στο πεδίο ανέμου και στην ακτινοβολία, τα φυτά χρησιμοποιούν βιολογικούς μηχανισμούς που ρυθμίζουν την ανταλλαγή CO_2 και υδρατμών με την ατμόσφαιρα.

3.2.2 Μέσος Αναμενόμενος Θερμικός Δείκτης (PMV)

Ο Μέσος Αναμενόμενος Θερμικός Δείκτης (Predicted Mean Vote)³³ ορίστηκε από τον Fanger (1972). Συσχετίζει την ισορροπία ενέργειας του ανθρώπινου σώματος με την θερμική άνεση του ατόμου, χρησιμοποιώντας την παρακάτω συνάρτηση. Ο δείκτης PMV δημιουργήθηκε για κυρίως για σταθερές εσωτερικές συνθήκες, αλλά επεκτείνοντας τα σχετικά μέρη της ροής ενέργειας με την ηλιακή και μεγάλο μήκους ακτινοβολία και χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του ανέμου πάνω από εσωτερικές συνθήκες, ο δείκτης ημπίρει να εφαρμοστεί και σε εξωτερικές συνθήκες (German VDI 3787 Part 2, 2008). Εφόσον, τυπικά, ο δείκτης PMV/PPD συσχετίζει την ισορροπία ενέργειας του σώματος με την θερμική αίσθηση, αμφισβητείτε αν μπορεί να γίνει η επέκτασης του μοντέλου πέρα των αρχικών συνθηκών ορισμού του. Η μόνη παράμετρος του μοντέλου PMV που επιδρά στις περιβαλλοντικές συνθήκες είναι η θερμική κατάσταση των ενδυμάτων, ενώ

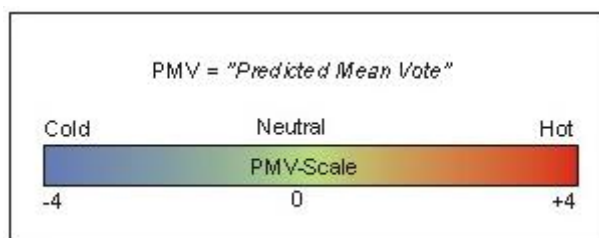
³³ <http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=apps:biomet>

αντίθετα η θερμοκρασία του δέρματος εξαρτάται από την δραστηριότητα του ατόμου (θερμοκρασία δέρματός & θερμοκρασία από τα ρούχα).

Ο δείκτης PMV όπως και κάθε θερμικής άνεσης δείκτης, αποτελεί μια σταθερή τιμή. Γι' αυτό τον λόγο εκτιμάτε στο μοντέλο ότι το άτομο βρίσκεται σε σταθερές συνθήκες για μεγάλο χρονικό διάστημα, εξωτερικών συνθηκών, έτσι ώστε η αλλαγή κατάσταση της ενέργειας να έχει μπορέσει να σταθεροποιηθεί.

Ο δείκτης PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), μπορεί επίσης να μοντελοποιηθεί μέσω του λογισμικού Envi-met, καθώς σχετίζεται άμεσα με τον PMV. Ο PPD αφορά το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων από τις κλιματικές συνθήκες.

Συνήθως η τιμή PMV κυμαίνεται μεταξύ -4 (πολύ ψυχρό) και +4 (πολύ θερμό)³⁴, ενώ οι τιμές κοντά στο 0 αποτελούν τιμές ουδέτερες θερμικής άνεσης. Καθώς όμως ο δείκτης συσχετίζεται και με την ισορροπία ενέργειας μπορεί να λάβει υψηλότερες ή και χαμηλότερες τιμές.



Εικόνα 24: Κλίμακα δείκτη θερμικής άνεσης

Η συνάρτηση υπολογισμού του δείκτη PMV, είναι:

$$PMV = \left[0.028 + 0.303 * \exp \left(-0.036 * \frac{M}{A_{Du}} \right) \right] * \left(\frac{H}{A_{Du}} - E_d - E_{sw} - E_{re} - L - R - C \right)$$

Στην συνάρτηση περιλαμβάνονται, εμπειρικοί συντελεστές για την ενεργειακή ισορροπία στο σώμα, μεταβλητές που αφορούν την ενέργεια που παράγεται από το σώμα, την ανταλλαγή υδατμών με το δέρμα, την ανταλλαγή ενέργειας από αναπνοή, την ανταλλαγή ενέργειας με τα ρούχα.

Για τον υπολογισμό του δείκτη PMV, το Envi-met λαμβάνει υπόψη μετεωρολογικές μεταβλητές, σε ύψος 1.6m ή το πιο κοντινό ύψος ανάλογα το πλέγμα του μοντέλου, αλλά και μεταβλητές που αφορούν το ανθρώπινο σώμα.

3.2.3 Χαρακτηριστικά του Envi-met v4.0

Κύριο χαρακτηριστικό της έκδοσης Envi-met v4.0 είναι ότι επιτρέπει τόσο την δισδιάστατη σχεδίαση αλλά και την πλήρη τρισδιάστατη σχεδίαση του μοντέλου. Το περιβάλλον είναι πλέον φιλικό και ελκυστικό στον χρήστη για την δημιουργία ενός λεπτομερή μοντέλου με ρεαλιστικό χαρακτήρα. Με την τρισδιάστατη

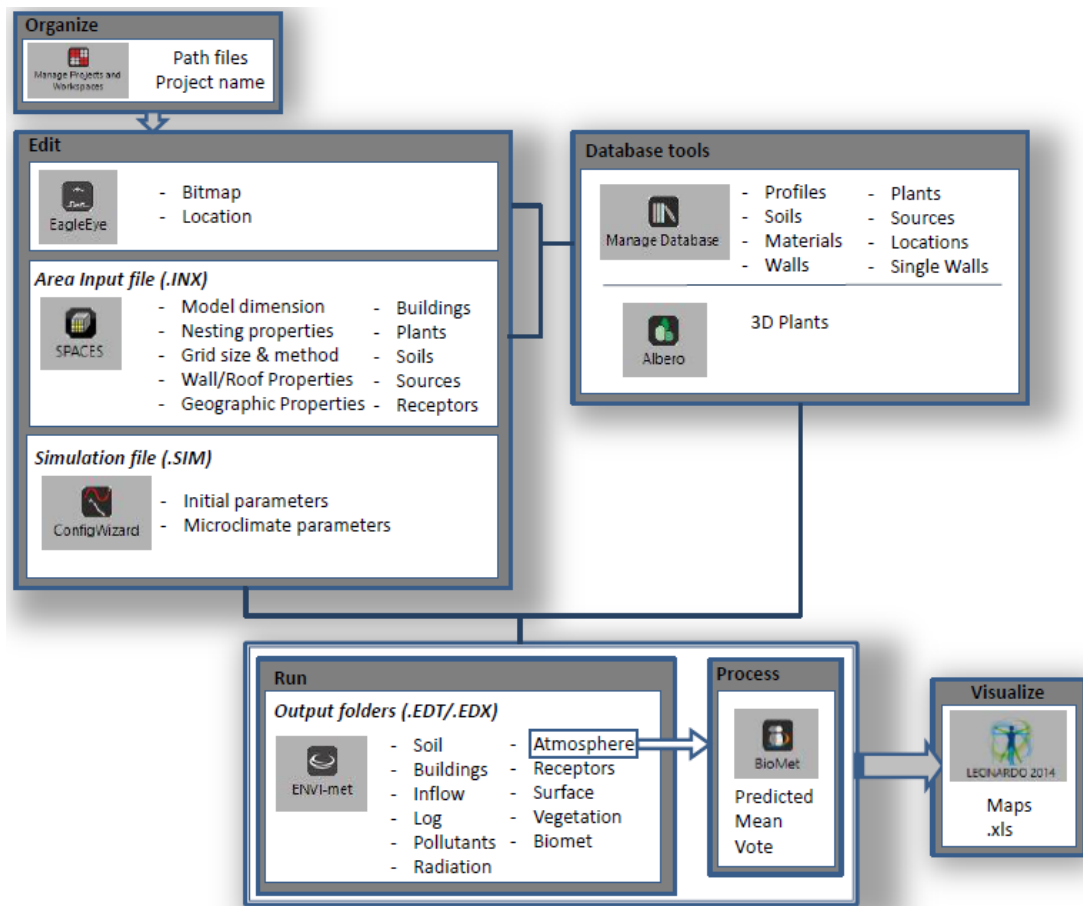
³⁴ http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=apps:biomet_pmv

μοντελοποίηση δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής διαφορετικών υλικών κατασκευής στα κτίρια και στις οροφές αυτών, αλλά και η εισαγωγή τρισδιάστατων φυτών. Για την κατασκευή λεπτομερούς δομημένου περιβάλλοντος, γίνεται η εισαγωγή του υλικού κατασκευής του τοίχου (πχ. οπλισμένο σκυρόδεμα) δίνοντας την δυνατότητα διαφοροποίησης του με το υλικό που τοποθετείτε για το παράθυρο (πχ γυαλί). Όσον αφορά το τρισδιάστατο μοντέλο βλάστησης, η 3D βάση δεδομένων μέσω της εφαρμογής Albergo, δίνει την δυνατότητα αναπαράστασης της δομής των φυτών που προσεγγίζει την πραγματική. Πλέον τα φυτά μπορούν να αναπαριστούνται εκτός από στήλες με διαφορετικές τιμές LAD (Leaf Area Density), αλλά και ως τρισδιάστατη μορφή, όπου βάσει της πραγματικής του δομής η κατανομή της πυκνότητας του φυλλώματος αλλάζει. Τέλος, δίνεται και δυνατότητα μοντελοποίησης της τοπογραφίας του αναγλύφου, συνυπολογίζοντας έτσι της πλαγίες και την έκθεση τους στον ήλιο κατά τον υπολογισμό του μικροκλίματος.

3.2.4 Ροή δεδομένων στο Envi-met

Η δομή του προγράμματος (εικόνα 25) είναι:

- 1.** Δημιουργία διεύθυνσης (directory) φακέλων
- 2.** Εισαγωγή μορφολογικών στοιχείων περιοχής (θέση, επιφάνειες, κτίρια, φύτευση, πηγές ρύπων κ.α.) – σύνδεση με βάση δεδομένων
- 3.** Εισαγωγή στοιχείων προσομοίωσης (ώρα έναρξης, ημερομηνία, διάρκεια, κ.α.) και κλιματολογικών χαρακτηριστικών (θερμοκρασία, υγρασία).
- 4.** Εκτέλεση προσομοίωσης
- 5.** Δημιουργία βιοκλιματικών δεδομένων
- 6.** Εξαγωγή αποτελεσμάτων



Εικόνα 25: Διάγραμμα ροής λειτουργίας του λογισμικού Envi-met.
[Πηγή: Ίδια Επεξεργασία]

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά το διάγραμμα ροής:

- Στο Manage Projects and Workspaces, γίνεται η οργάνωση, δηλαδή δημιουργείται το directory του φακέλου προσομοίωσης. Σε αυτόν τον φάκελο θα δημιουργηθούν οι υποφάκελοι με τα αρχεία προσομοίωσης αλλά και η βάση δεδομένων για την αντίστοιχη προσομοίωση.
- Στην συνέχεια, εφόσον δημιουργηθεί ο φάκελος που θα δημιουργηθούν τα δεδομένα του μοντέλου, επεξεργάζονται μέσω των εφαρμογών EagleEye και SPACES. Στο EagleEye μπορεί να γίνει η δημιουργία υποβάθρου της περιοχής μελέτης όπου θα χρησιμοποιηθεί έπειτα στο SPACES για την δημιουργία του μοντέλου. Στο SPACES δημιουργείται ένα αρχείο μορφής .INX και ορίζονται τα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Στο παράθυρο των αρχικών συνθηκών του μοντέλου, στην εφαρμογή SPACES, προσδιορίζονται οι ακριβείς διαστάσεις του μοντέλου (default size 60x60x30), το μέγεθος του κελιού για κάθε άξονα dx,dy,dz (grid size), ο αριθμός των nesting grids, το εδαφικό προφίλ των nesting grids, το κατακόρυφο δίκτυο των στρωμάτων (Equidistant ή μορφές Telescoping), τα υλικά κατασκευής για τοίχους – ορόφους, η περιστροφή και γεωγραφική θέση του μοντέλου στη γη.

Παρακάτω αναλύονται τα βασικά σημεία ορισμού στο αρχικό μοντέλο:

-Διάσταση μοντέλου

Όσον αφορά την διάσταση του μοντέλου στην παρούσα έκδοση (60x60x30 – Envi-met Basic), στην περιοχή μελέτης δημιουργείται πλέγμα με κυψέλες - κελιά. Όσο μικρότερη η διάσταση των κελιών σε μέτρα, τόσο υψηλότερη και η ανάλυση του μοντέλου, με λεπτομερέστερη δυνατότητα σχεδιασμού. Ενώ όσον αφορά την τρίτη διάσταση, το συνολικό ύψος του μοντέλου σε μέτρα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιο του ύψους της υψηλότερης δομής, ούτως ώστε να μην υπάρχουν υπολογιστικά σφάλματα στα αποτελέσματα.

-Nesting Area

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, γύρω από το πυρήνα του κύριου μοντέλου δημιουργείται μια ένθετη περιοχή, **nesting area**, όπου επιτρέπει την μετακίνηση των ορίων του μοντέλου μακριά από το κυρίως μοντέλο, χωρίς να σπαταληθούν πολλά υπολογιστικά κελιά. Όσο περισσότερα nesting grids χρησιμοποιηθούν, τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα για αριθμητικά προβλήματα στα όρια του μοντέλου. Έτσι, αποφεύγετε και η διαταραχή της εσωτερικής δομής του μοντέλου. Με την χρήση τους, επιτυγχάνεται επίσης η κάλυψη μεγαλύτερων εκτάσεων στο οριζόντιο επίπεδο, χωρίς ο αριθμός των κελιών του πλέγματος να αυξάνεται κατά πολύ. Η δευτερεύουσα αυτή περιοχή δημιουργείται αυτόματα από το πρόγραμμα ώστε να επιτευχθεί η εν λόγω απομάκρυνση των ορίων. Ο λόγος για τον οποίο επιβάλλεται να χρησιμοποιούμε την nesting area είναι ότι το μοντέλο δεν μπορεί να υπολογίσει πραγματικές τιμές στα κελιά των ορίων.

-Δίκτυα στρωμάτων

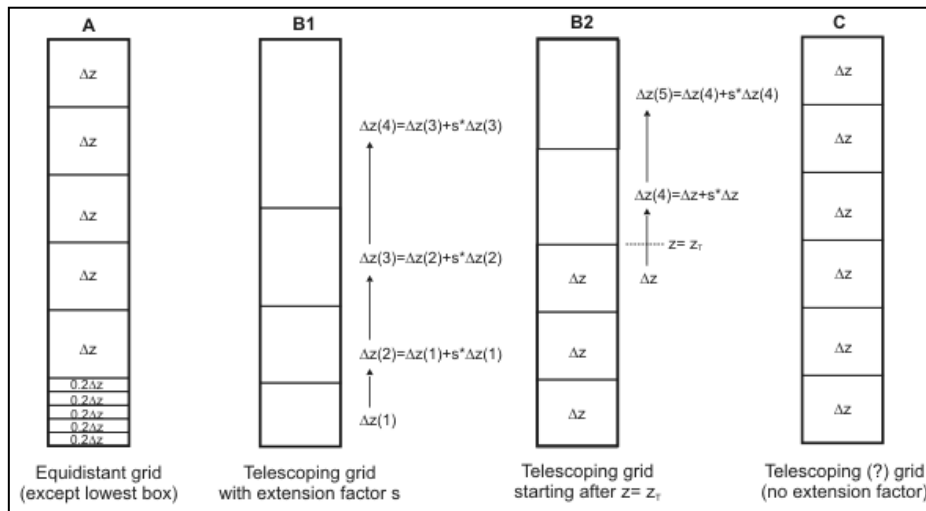
Ενώ, σημασίας αποτελεί και ο ορισμός της μορφής του δικτύου των στρωμάτων που θα έχουν τα κελιά στον κατακόρυφο άξονα. Αναλυτικά αναφέρονται οι τέσσερις μορφές των δικτύων (εικόνα 26):

- **Equidistant A** : Όλα τα στρώματα έχουν ο ίδιο ύψος. Μόνο το χαμηλότερο στρώμα χωρίζεται σε 5 υποστρώματα με $dz_s=0.2*dz$. Η χρήση του γίνεται όταν το μοντέλο έχει περιορισμένο ύψος και οι διαστάσεις σε όλα τα ύψη έχουν σχεδόν ίδιο ενδιαφέρον.
- **Telescoping B1** : Το δίκτυο αυτό καλύπτει μοντέλα που περιλαμβάνουν υψηλά αντικείμενα – δομημένο περιβάλλον, που πρέπει να συμπεριληφθούν στην μελέτη αλλά τα ανώτερα τμήμα εμφανίζουν λιγότερο ενδιαφέρον. Καθορίζεται του κατώτερου στρώματος (dz_{start}) και το ποσοστό της αύξησης του ύψους του επόμενου στρώματος (s).

Το ύψος των επόμενων στρωμάτων υπολογίζεται με τον τύπο:

$$dz_{(k)} = \left[1 + \left(\frac{s}{100} \right) \right]^{k-1} * dz_{start}, \quad max_s = 20\%$$

- **Telescoping B2** : Σε αυτή την περίπτωση καθορίζεται ένα συγκεκριμένο ύψος (z_t), όπου η αύξηση του ύψους των στρωμάτων θα ξεκινάει μετά από αυτό. Ενώ όλα τα στρώματα κάτω από αυτό όριο είναι καταναμεμημένα με σταθερό dz_{start} .
- **Telescoping C** : Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει αύξηση s . Ενώ αν οριστεί ως $s=0$, τότε όλα τα στρώματα έχουν το ίδιο ύψος.



Εικόνα 26: Μορφές κατακόρυφου δικτύου³⁵.

(Πηγή: <http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=start>)

Αφού δημιουργηθούν οι αρχικές συνθήκες του μοντέλου, ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει και να μοντελοποιήσει την περιοχή μελέτης. Στο γραφικό περιβάλλον, στήνεται η τρισδιάστατη δομή του μοντέλου προσδιορίζοντας την θέση και το ύψος των κτιρίων, τη θέση των φυτών, τα υλικά των επιφανειών και το είδος του εδάφους, την θέση των πηγών (εκπομπής σωματιδίων, άνθρακα κ.α.), την σύνδεση με τις βάσεις δεδομένων και την θέση των υποδοχέων (receptors), που βοηθούν μέτρηση των παραμέτρων μοντελοποίησης ανά συγκεκριμένο χρονικό βήμα..

Για να δημιουργηθεί το μοντέλο στο γραφικό περιβάλλον του Envi-met, δεν αρκεί η απλή δημιουργία του μοντέλου αλλά χρειάζεται και η σχετική πληροφορία σύνδεσης με τις παραπάνω παραμέτρους ορισμού. Το πρόγραμμα Envi-met χρησιμοποιεί αρχεία από διάφορες βάσεις δεδομένων ώστε να αποδώσει την αντίστοιχη πληροφορία αντικειμένου για κάθε μια κυψέλη του πλέγματος. Τα αρχεία βάσεων δεδομένων που περιλαμβάνει το λογισμικό είναι η βάση δεδομένων εδαφών (*SOILS.DAT*), των κατακόρυφων εδαφικών προφίλ (*PROFILES.DAT*), της απλής βλάστησης (*PLANTS.DAT*) και 3d βλάστησης (*albero*), της διασποράς σωματιδίων και αέριων μαζών (*SOURCE.DAT*), των διαφόρων υλικών κατασκευής (*MATERIALS.DAT*) αλλά και συγκεκριμένα των τοίχων (*WALLS.DAT*) και της τοποθεσίας (*LOCATION.DAT*). Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει τοπικές βάσεις δεδομένων που

³⁵ <http://www.envi-met.info/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm>

συνδέονται με αυτές που το ίδιο παρέχει, για μια καλύτερα προσεγγιστική μοντελοποίηση.

Η βάση δεδομένων **εδαφών (SOILS.DAT)** αφορά τα διάφορα φυσικά εδάφη και υλικά επίστρωσης των επιφανειών. Κατά τους Clapp & Hornberger καλύπτονται όλες τις βασικές κατηγορίες εδάφους (1978). Δεν δίνεται πληροφορία για το πόσο υγρό είναι το έδαφος αλλά πληροφορίες σχετικές με την σύσταση και τις ιδιότητες του. Η βάση δεδομένων των **κατακόρυφων εδαφικών προφίλ (PROFILES.DAT)** συνδέεται άμεσα με την βάση δεδομένων των εδαφών. Ουσιαστικά στο SOILS καθορίζονται τα διαθέσιμα εδαφικά υλικά και στο PROFILES η κατακόρυφη μορφή (στο τρισδιάστατο μοντέλο) αυτών που αποτελούνται από τα υλικά αυτά. Σε αυτή την βάση περιγράφονται επίσης η ανακλαστικότητα, η τραχύτητα της επιφάνειας και η ακτινοβολία μεγάλου μήκους του κάθετου προφίλ των εδαφών. Το μοντέλο επιτρέπει επίσης στον χρήστη να ορίσει κάθε είδους φυτό, από κοντό – θαμνώδες έως ψηλό δένδρο, δυσδιάστατης και τρισδιάστατης δομής, χρησιμοποιώντας τις βάσεις δεδομένων **PLANTS.DAT** και του **Albero**. Στο αρχείο βάσης γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των τρόπων που ένα φυτό δεσμεύει το CO₂ καθώς και σχετικά με την πυκνότητα περιοχής φυλλώματος LAD (Leaf Area Density) και την πυκνότητα περιοχής ριζών RAD (Root Area Density). Για την δυνατότητα προσομοίωσης της απελευθέρωσης και της διασποράς αερίων και σωματιδίων χρησιμοποιείται η βάση δεδομένων **SOURCES**. Οι πληροφορίες που εμπεριέχονται αφορούν τον τύπο της πηγής (σημειακή, γραμμική, επιφανειακή πηγή), το ύψος των εκλύσεων και τον ρυθμό εκπομπής σε ωριαία βάση (24 ωρών). Στην έκδοση basic του λογισμικού δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης ενός τύπου πηγής. Οι διαθέσιμες πηγές είναι αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, PM_{2.5}, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), Οξείδια του αζώτου (NO), διοξείδιο του θείου (SO₂). Τέλος, οι βάσεις δεδομένων που αφορούν τα υλικά κατασκευής **(MATERIALS)** και τα χαρακτηριστικά υλικών τοίχων **(WALLS)**, συνδέονται στενά καθώς η πρώτη περιλαμβάνει τις ιδιότητες κάθε υλικού, όπως απορροφητικότητα, αντανάκλαση, θερμική κατάσταση, θερμική αγωγιμότητα κ.α. ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει το πάχος κάθε υλικού κατασκευής, παραδείγματος χάριν την διαφορετικότητα πάχους οπλισμένου σκυροδέματος και γυαλιού.

- Μέσο της εφαρμογής ConfigWizard, δημιουργείται αρχείο μορφής .SIM, που αποτελεί το αρχείο προσομοίωσης. Βασικό αρχείο εισόδου είναι το αρχείο .INX που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο βήμα και περιέχει τον σχεδιασμό του τρισδιάστατου μοντέλου. Τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου για να δημιουργηθούν στην συνέχεια τα κάθετα προφίλ του 1D οριακού μοντέλου είναι το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής, η ημέρα και η διάρκεια της προσομοίωσης, το χρονικό βήμα καταγραφής των αποτελεσμάτων, η οριζόντια

ταχύτητα του ανέμου στα 10m ύψος, το μήκος τραχύτητας του εδάφους, η διεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου, η θερμοκρασία του αέρα (°C) στα 2 m ύψος, η υγρασία σε υψόμετρο 2500m και η σχετική υγρασία τα 2m (%). Οι τιμές που εισάγονται αφορούν την ημέρα και την ώρα που έχει θέση ο χρήστης να ξεκινήσει η προσομοίωση. Έτσι, για να δημιουργηθούν ρεαλιστικές οριακές συνθήκες των προαναφερόμενων μεταβλητών, το μονοδιάστατο μοντέλο ενσωματώνεται στον χρόνο μέχρις ότου τα κάθετα προφίλ των μετεωρολογικών παραμέτρων φτάσουν σε σταθερή κατάσταση. (Bruse,1999) Οι παράμετροι που προαναφέρθηκαν αποτελούν τις βασικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την λειτουργία του μοντέλου.

Στην συνέχεια αναφέρονται τα διάφορα μέρη που μπορεί ο χρήστης ανάλογα την περιοχή μελέτης του να καθορίσει για την δημιουργία του τελικού μοντέλου προσομοίωσης.

- **[OUTPUTTIMING]**, ορίζεται το χρονικό βήμα αποθήκευσης των κύριων αρχείων και τον αρχείων log, αλλά και αν θα προσμετρούνται στα αποτελέσματα οι τιμές των nesting grids
- **[SOLARADJUST]**, λαμβάνει υπόψη τη μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία, εφόσον σε κάποιες περιοχές οι ροές ηλιακής ενέργειας μπορεί να είναι αρκετά υψηλές ή πολύ χαμηλές. Έτσι γίνεται δυνατή, η ρύθμιση πλήρους ημερήσιου κύκλου με τιμές ροών από 50% έως 150% των αρχικών.
- **[CLOUDS]**, λαμβάνει υπόψη την κάλυψη από σύννεφα, αλλά συνήθως οι αναλύσεις γίνονται σε συνθήκες απουσίας σύννεφων, ώστε οι χωρικές και χρονικές διαφοροποιήσεις να παρατηρούνται καλύτερα.
- **[TIMING]**, ρύθμιση για αλλαγή χρονικού βήματος ανανέωσης δεδομένων επιφανειών, πεδίου ροής και τύρβης, ακτινοβολίας του ήλιου και σκιών, των φυτών.
- **[TIMESTEPS]**, κριτήριο καθορισμού του χρονικού βήματος αποτελεί το ύψος του ήλιου. Μικρά χρονικά βήματα χρησιμοποιούνται συνήθως όταν η ηλιοφάνεια και κατά συνέπεια η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη, ενώ μεγαλύτερα μπορούν να χρησιμοποιούνται τις πρωινές και τις βραδινές ώρες. Το ύψος του ήλιου χωρίζεται σε 3 διαστήματα, που ορίζονται από δύο οριακές τιμές, τα height A και height B.

1^ο διάστημα: $sun\ height < height\ A$

2^ο διάστημα: $height\ A \leq sun\ height < height\ B$

3^ο διάστημα: $height\ A \leq sun\ height$

Μπορούν να οριστούν διαφορετικά χρονικά βήματα σε κάθε διάστημα, αλλά στο 3^ο διάστημα θα πρέπει να είναι μικρότερο καθώς το διάστημα αυτό ενεργοποιείται όταν το ύψος του ήλιου βρίσκεται στο μέγιστο.

- **[SOILDATA]**, καθορίζονται η αρχική θερμοκρασία και σχετική υγρασία στο έδαφος και στις επιφάνειες του μοντέλου. Οι ρυθμίσεις για την θερμοκρασία και υγρασία αφορούν 3 επίπεδα – στρώματα, επιφανειακό, μεσαίο, βαθύ.
- **[PLANTMODEL]**, για να υπολογιστεί η διαπνοή των φυτών, είναι απαραίτητη η γνώση της αντίστασης των πόρων του. Οι πόροι είναι ενεργά μέρη του συστήματος της βλάστησης και αντιδρούν σε περιβαλλοντικές επιδράσεις όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα και το διαθέσιμο νερό στο έδαφος. Το Envi-met διαθέτει δύο μεθόδους υπολογισμού της αντίστασης των πόρων. Η μια βασισμένη στην εργασία του Deardorff (1978), που υπολογίζει την αντίσταση συναρτήσει της διαθεσιμότητας νερού και της ηλιακής εισροής και η άλλη ονομάζεται μοντέλο A-gs και ακολουθεί την εργασία του Jacobs (1994) και υπολογίζει τον ρυθμό φωτοσύνθεσης και από αυτό καταλήγει στην ζήτηση CO₂ και τελικά στην κατάσταση των πόρων.
- **[SIMPLEFORCE]**, ρύθμιση που δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής ημερήσιας διακύμανσης τιμών για την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία, στο χρονικό βήμα ορισμού
- **[TURBULENCE]**, ρύθμιση που αφορά το εσωτερικό μοντέλο στροβιλισμού (τύρβης) και επιλέγεται μεταξύ προγνωστικού και διαγνωστικού μοντέλου
- **[SOURCESV4]**, αποτελούν πολύπλοκες εισαγόμενες πληροφορίες, όπως προ αναφέρθηκε και στην βασική έκδοση δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν ταυτόχρονα παραπάνω από μία πηγή (χημικές διεργασίες). Ειδική περίπτωση αποτελεί αυτή των πηγών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), αν χρησιμοποιείται το μοντέλο A-gs οι πηγές CO₂ θα προστίθενται στο εσωτερικό μοντέλο CO₂ και όχι στο μοντέλο αέριων στοιχείων.
- **[LBC-TYPES]** λόγω του ότι το μοντέλο δεν μπορεί να υπολογίσει για κελιά κατά μήκος των ορίων του μοντέλου χρειάζονται απλουστευμένες υποθέσεις ώστε να ληφθούν υπόψη οι τιμές και να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Σε αυτό βοηθάνε οι Lateral Boundary Conditions. Με τις εξαναγκασμένες ή κλειστές LBC, οι τιμές είναι σταθερές σε αυτά τα όρια, με τις ανοικτές LBC, οι τιμές από τα εσωτερικά κελιά αντιγράφονται σε αυτά τα όρια, ενώ με τις κυκλικές LBC, οι τιμές στο όριο εκροής (outflow boundary) αντιγράφονται στο όριο εισροής (inflow boundary). Οι LBC επιλέγονται ανάλογα με την περίπτωση μελέτης, ενώ επιλέγονται για την θερμοκρασία, την υγρασία και τις αναταράξεις της κινητικής ενέργειας. Οι ανοικτές LBC, έχουν την μικρότερη επίδραση στα εσωτερικά του μοντέλου, τις περισσότερες φορές προτείνετε η χρησιμοποίησή τους, αλλά πάντα με τον κίνδυνο αριθμητικής αβεβαιότητας εφόσον αντιγράφει την τιμή του εσωτερικού στα όρια. Τα κλειστά LBC αποτελούν την πιο σταθερή λύση λόγω του ότι οι τιμές των ορίων που σταθεροποιήσουν το τρισδιάστατο μοντέλο χρησιμοποιούνται από το μονοδιάστατο μοντέλο που δημιουργείται. Το μονοδιάστατο μοντέλο

έχει όμως σημαντική επίδραση στα δεδομένα του κυρίως μοντέλου, γι' αυτό αν δεν είναι αν είναι αντιπροσωπευτικό για τις μέσες συνθήκες του χρήστη θα οδηγήσει σε στρέβλωση αποτελεσμάτων.

- Τα παραγόμενα αρχεία (output files) οργάνωνται σε υποφάκελους στο κύριο φάκελο δημιουργίας του αρχείου προσομοίωσης. Οι υποφάκελοι που δημιουργούνται είναι οι atmosphere, biomet, buildings, inflow, log, pollutants, radiation, receptors, soil, surface, vegetation και αποτελούν τα δεδομένα για την πλήρη κατάσταση του τρισδιάστατου μοντέλου, συμπεριλαμβανομένων της ατμόσφαιρας, των επιφανειών και του εδάφους. Τα δεδομένα έχουν μορφή **αρχείου .EDI/EDT**, αρχεία δυαδικού τύπου, ενώ χρειάζονται και τα δύο για την επιτυχή εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Επίσης δημιουργούνται τα αρχεία των **υποδοχέων (receptors)**, όπου παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση της ατμόσφαιρας, των επιφανειών και του εδάφους σε επιλεγμένα σημεία του μοντέλου. Οι διάφορες μεταβλητές αποθηκεύονται στα αρχεία αυτά. Τα αρχεία αποθηκεύονται με δύο τρόπους, είτε ως στιγμιότυπα, με την τρέχουσα κατάσταση όλων των υποδοχέων την ίδια χρονική στιγμή, είτε ως χρονική ακολουθία των καταστάσεων του μοντέλου σε συγκεκριμένη θέση κατά την διάρκεια όλης της προσομοίωσης. Τέλος, στο φάκελο inflow δημιουργούνται και τα αρχεία που περιγράφουν την κατάσταση του μονοδιάστατου μοντέλου (**1D Model files**) και αποθηκεύονται τα αποτελέσματα του μονοδιάστατου μοντέλου, έτσι δημιουργούνται οι διάφορες αρχικές και συνοριακές συνθήκες για το μοντέλο.
- Για την δημιουργία των βιοκλιματικών παραμέτρων χρησιμοποιείται η εφαρμογή Biomet, μέσω του οποίου γίνεται και η πρόβλεψη της θερμικής άνεσης (PMV) της εξεταζόμενης περιοχής. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί τα παραγόμενα δεδομένα της προσομοίωσης και συγκεκριμένα το φάκελο δημιουργίας που αναφέρεται στην ατμόσφαιρα. Έτσι, γίνεται ο υπολογισμός του P.M.V. (Predicted Mean Vote), όπου βασίζεται στο μοντέλο του Fanger (1972) και συσχετίζει την ενεργειακή ισορροπία του ανθρώπινου σώματος με την προσωπική αίσθηση θερμικής άνεσης του ατόμου που εκτίθεται στις εξεταζόμενες συνθήκες. Ο δείκτης μπορεί να συγκριθεί άμεσα με τον δείκτη P.P.D. (Predicted Percentage of Dissatisfied), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό των δυσαρεστημένων με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη το Envi-met αφορούν τόσο μετεωρολογικές μεταβλητές αλλά και μεταβλητές σχετικές με κατάσταση του ανθρώπινου σώματος. Συγκεκριμένα, ως οι μετεωρολογικές μεταβλητές είναι η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία για την ακτινοβολία, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου και η σχετική υγρασία. Ενώ, ως μεταβλητές σχετικές με κατάσταση του ανθρώπινου σώματος ορίζονται η ταχύτητα βαδίσματος των ατόμων μέσα στο μοντέλο, η ανταλλαγή ενέργειας μέσα στο ανθρώπινο σώμα, η κατανομή μεταξύ ενέργειας

και μεταβολισμού (Mech. Factor) και η αντίσταση των ενδυμάτων στη μεταφορά θερμότητας. Έτσι, φαίνεται ότι η ισορροπία της θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα εξαρτάται πολύ από τον τρόπο που είναι ντυμένος. Η θερμική αίσθηση των ρούχων μετράται σε clo, όπου ισχύει $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ KW}^2/\text{W}$. Τέλος, το Envi-met ορίζει την ανθρώπινη ύπαρξη μέσα στο μοντέλο, ως άνδρα 35 χρονών, ύψους 1.75m και 75 κιλών, τα στοιχεία αυτά μπορούν να τροποποιηθούν από τον χρήστη.

➤ Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των βιοκλιματικών δεικτών μπορούν να παρουσιαστούν μέσω της εφαρμογής Leonardo. Το Leonardo χρησιμοποιεί τρία βασικά επίπεδα για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων:

- Επίπεδο δεδομένων: παρουσιάζει συνεχή δεδομένα (π.χ. θερμοκρασίες, βιοκλιματικά δεδομένα).
- Ειδικό επίπεδο: παρουσιάζει ξεχωριστά δεδομένα (π.χ. κτήρια, φυτά).
- Επίπεδο διανυσμάτων: παρουσιάζει διανυσματικά δεδομένα (π.χ. πεδίο ανέμου).

Η οπτικοποίηση ρυθμίζεται ώστε να παρουσιάζει το αστικό περιβάλλον με το επιθυμητό τμήμα των αποτελεσμάτων οριζοντίως (κάτοψη), καθέτως (τομή) ή σε τρισδιάστατη μορφή. Ενώ επιτρέπεται επίσης και η εξαγωγή των δεδομένων του κανάβου για κάθε z του κατακόρυφου άξονα, σε αρχείο .xls.

3.3 Περιοχή Μελέτης

Για την εφαρμογή 3D ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων, αναζητήθηκε περιοχή μελέτης που συγκεντρώνει ένα πλήθος αστικών χαρακτηριστικών ικανά ώστε να εφαρμοστεί η μελέτη αστικού μικροκλίματος. Το αστικό κέντρο της Αθήνας εμφανίζει ένα πλήθος δραστηριοτήτων, που έχει οδηγήσει στο φαινόμενο της αστικοποίησης. Η εν λόγω αύξηση του πληθυσμού οδήγησε λοιπόν στην ανάγκη δημιουργίας πυκνοδομημένου αστικού αναγλύφου, με κορεσμένες αστικές γειτονίες – συνοικίες και παράλληλη μείωση του πρασίνου ανά κάτοικο.

Ως μια τυπική χαρακτηριστική αστική συνοικία του πυκνοδομημένου αστικού κέντρου των Αθηνών, μπορούν να χαρακτηριστούν τα Πετράλωνα. Τα Πετράλωνα αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες συνοικίες της Αθήνας. Εκτείνονται από την οδό Πειραιώς μέχρι το λόφο Φιλοπάππου και από την οδό Χαμοστέρνας μέχρι τη γέφυρα Πουλόπουλου. Βρίσκονται ανατολικά από το Κουκάκι, βορειοανατολικά από το Θησείο και στα βορειοδυτικά από το Γκάζι. Χωρίζονται από τις γραμμές του Ηλεκτρικού Σιδηροδρόμου Αθηνών - Πειραιώς στα Άνω και Κάτω Πετράλωνα, με τα Άνω Πετράλωνα να είναι ανατολικά των γραμμών και τα Κάτω δυτικά. Γειτονικοί δήμοι στα νότια της συνοικίας είναι του Ταύρου και της Καλλιθέας. Σημαντικό για την μελέτη αυτή είναι ότι αποτελούν μια κορεσμένη και πυκνοκατοικημένη περιοχή με χαμηλά κυρίως κτίσματα, που γνώρισε έντονη ανοικοδόμηση, ήδη από την

Συνεπώς, βάσει των παραπάνω χαρακτηριστικών, η περιοχή που επιλέχθηκε για την μελέτη αστικού μικροκλίματος βρίσκεται στην συνοικία των Άνω Πετραλώνων και συγκεκριμένα στα όρια των δήμων Αθηνών, Ταύρου και Καλλιθέας (εικόνα 27). Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί ότι η μελέτη εστιάζει στα αστικά χαρακτηριστικά της περιοχής αυτής και όχι στην συγκεκριμένη χωρικά εντοπισμένη περιοχή. Συνεπώς, η μελέτη θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε οποιαδήποτε άλλη αστική περιοχή, με αντίστοιχα πυκνοδομημένο ανάγλυφο.

| 78

Όσον αφορά τους όρους δόμησης της περιοχής μελέτης, βάση του ΦΕΚ³⁶ και του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (ΓΠΣ) του Δήμου Αθηνών του 1988, ο συντελεστής δόμησης των Άνω Πετραλώνων κοντά στον δρόμο Κοίλης, όπου βρίσκεται και η υπό μελέτη περιοχή της ανάλυσης, είναι 2,30. Ο δείκτης του συντελεστή δόμησης πολλαπλασιασμένος με την επιφάνεια (εμβαδόν) του οικοπέδου δίνει την συνολική επιφάνεια όλων των κτιρίων σε όλους τους ορόφους που θα ανεγερθούν στο οικόπεδο. Βάσει των δεδομένων που ανακτήθηκαν και αναλύθηκαν, όπως περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, το υπό μελέτη οικοδομικό τετράγωνο έχει εμβαδόν $3177,25m^2$. Πολλαπλασιασμένο επί τον εν λόγω συντελεστή δόμησης της περιοχής μελέτης, προκύπτει η συνολική επιφάνεια όλων των κτιρίων σε όλους τους ορόφους που θα ανεγερθούν στο οικόπεδο, βάσει νομοθεσίας. Έτσι, $3177,25m^2 * 2,30 = 7307,675m^2$. Για να διαπιστωθεί, το κατά πόσο αποκλίνει από την πραγματικότητα υπολογίστηκε συνολικό καθ' ύψος εμβαδόν για κάθε όροφο των κτιρίων, βάσει το ύψος των κτιρίων διαιρεμένο με το μέσο ύψος κάθε ορόφου, δηλαδή 3m. Έτσι βρέθηκε ο αριθμός των ορόφων ανά κτίριο. Συνεπώς, ο αριθμός των ορόφων επί το συνολικό εμβαδόν κάθε οικοπέδου, αθροίστηκε και προκύπτει ότι είναι $9270,934m^2$, δηλαδή μεγαλύτερο από το επιτρεπτό όριο. Η προσεγγιστική μελέτη του συντελεστή δόμησης για την περιοχή μελέτης, αναδεικνύει και το κάθετα πυκνοδομημένο ανάγλυφο της περιοχής. Τέλος, οι χρήσεις γης της περιοχής μελέτης αφορούν κυρίως γενική κατοικία με ελάχιστα καταστήματα στα ισόγεια.

3.3.1 Συλλογή Δεδομένων

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται λοιπόν στα νότια της συνοικίας Πετραλώνων και αποτελεί χαρακτηριστική αστική περιοχή, όπου βασίζεται η μελέτη ανάλυσης αστικού μικροκλίματος. Εμφανίζει επίσης πυκνό δομημένο σύστημα με ελάχιστους χώρους πρασίνου και δίνει τη δυνατότητα επέμβασης στο χώρο για την βελτίωση των συνθηκών μικροκλίματος. Συνεπώς, η μελέτη βασίζεται στην ανάλυση των αστικών παραμέτρων μικροκλίματος (πεδίο ακτινοβολίας, ανέμου, της θερμοκρασίας και υγρασίας) και της επίδρασης τους στις συνθήκες άνεσης των ατόμων στο χώρο αυτό. Ενώ στόχος αποτελεί η βελτίωση του μικροκλίματος, σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου, μέσω βιοκλιματικής πρότασης παρέμβασης στο περιβάλλοντα χώρο και συγκεκριμένα της συμβολής του πρασίνου στο αστικό περιβάλλον.

Έτσι, για την αποτύπωση της περιοχής μελέτης και της μελέτη του αστικού μικροκλίματος αυτής, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από αρμόδιες υπηρεσίες (Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε., ΕΛ.ΣΤΑΤ., Μετεωρολογικό Σταθμό Χαροκοπείου Πανεπιστημίου), από

36

<http://www.organismosathinas.gr/External%20files/%CE%93%CE%95%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%91%20%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%95%CE%9F%CE%94%CE%9F%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%91/%CE%91%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1%CF%82%20%CE%A6%CE%95%CE%9A%2080%20%CE%94%201988.pdf>

χαρτογραφικά υπόβαθρα του διαδικτυακού ιστότοπου Google Earth, αλλά και μέσω επιτόπιας αυτοψίας, στην υπό μελέτη περιοχή. Τα δεδομένα αφορούν στοιχεία αστικής μορφολογίας για την αποτύπωση του χώρου και της υφιστάμενης κατάστασης, μέσω φωτογραφιών και επιτόπιων παρατηρήσεων, χαρτογραφικού υπόβαθρου, για την δημιουργία των κτιρίων και της τρισδιάστατης πληροφορίας και κλιματολογικά δεδομένα, συγκεκριμένης ημέρας του χρόνου, για την μελέτη του αστικού μικροκλίματος της περιοχής. Αναλυτικά φαίνονται στον πίνακα 8 :

Πίνακας 8: Πίνακας συλλογής δεδομένων

Δεδομένα	Μορφή	Ημερομηνία	Σύστημα αναφοράς	Πηγή
Ορθοφωτοχάρτης 20cm	TIFF	2007-2009	ΕΓΣΑ '87	Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε.
<i>Digital Surface Model (DSM)</i> 80cm	TIFF (ERDAS Imagine)	2007-2009	ΕΓΣΑ '87	Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε.
<i>Digital Elevation Model (DEM)</i> 5m	TIFF (ERDAS Imagine)	2007-2009	ΕΓΣΑ '87	Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε.
Οδικοί άξονες	.shp	2001,2011	ΕΓΣΑ '87	ΕΛ.ΣΤΑΤ.
Όρια οικοδομικών τετραγώνων	.shp	2001,2011	ΕΓΣΑ '87	ΕΛ.ΣΤΑΤ.
Όρια κτιρίων	.shp	2001	ΕΓΣΑ '87	ΕΛ.ΣΤΑΤ.
Όρια δήμων	.shp	2015	ΕΓΣΑ '87	Geodata.gov
-Θερμοκρασία -Σχετική υγρασία -Ατμοσφαιρική πίεση -Ταχύτητα ανέμου -Διεύθυνση ανέμου	.xls	24/07/2016	-	Μετεωρολογικός Σταθμός Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

3.3.2 Στοιχεία από επιτόπια Παρατήρηση

Όπως φαίνεται και στον χάρτη (εικόνα 27), ως περιοχή μελέτης αναφέρονται τα 5 οικοδομικά τετράγωνα. Ενώ η μελέτη μικροκλίματος εστιάζει στα κτίρια του κεντρικού ΟΤ, καθώς και τα γειτονικά αυτών κτίρια των άλλων ΟΤ.

Όπως αναφέρεται και προηγουμένως, η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε ως ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα αστικού αναγλύφου, που διαμορφώνουν ανάλογα και το αστικό μικροκλίμα της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά, που παρατηρήθηκαν και στην επιτόπια μελέτη της περιοχής, είναι κυρίως το πυκνοκατοικημένο αστικό της δίκτυο, με την πυκνή δόμηση ανά οικοδομικό τετράγωνο. Επιπλέον, στην περιοχή συναντώνται, όπως υπολογίζεται και αργότερα (ενότητα 3.4.1), ψιλά κτίρια και ελάχιστα διώροφα ή μονοκατοικίες.

Χαρακτηριστικό επίσης της περιοχής είναι ότι οι δρόμοι πλησίον του υπό μελέτη ΟΤ είναι στενοί ήπιας κυκλοφορίας. Στη νότια πλευρά της περιοχής μελέτης βρίσκεται η λεωφόρος Καλλιρρόης. Η λεωφόρος ως αστικός άξονας ταχείας κυκλοφορίας επηρεάζει τις συνθήκες άνεσης και κλιματικής ποιότητας στην περιοχή μελέτης, διαμορφώνοντας ανάλογα τους παράγοντες που συνιστούν το αστικό μικροκλίμα. Οι δρόμοι αυτοί αποτελούν πηγή ρύπανσης για το περιβάλλον, τόσο λόγω των καυσαερίων από την καύση των μηχανών των αυτοκινήτων, όσο λόγω του ότι αποτελούν πηγή μη επιθυμητού θορύβου. Είναι χαρακτηριστικό ότι στα αστικά κέντρα της Δυτικής Ευρώπης οι δρόμοι καταλαμβάνουν ένα ποσοστό της τάξης του 15-20% της αστικής επιφάνειας (Rodrigue, 2013). Τόσο ο «κυκλοφοριακός φόρτος»³⁷, όσο και ο «ρυθμός ροής»³⁸, στην οδό Καλλιρρόης είναι μεγάλος. Με αποτέλεσμα, η συμφόρηση που δημιουργεί να υποβαθμίζει τις συνθήκες μετακίνησης, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής.

Όσον αφορά την βλάστηση, στο πυκνό αυτό αστικό περιβάλλον είναι ελάχιστη, με κάποια διάσπαρτα δένδρα μικρού ύψους κατά μήκος των δρόμων, που δεν αναλογούν σε αυτόν τον κάθετα πυκνοδομημένο ιστό. Επίσης, μεταξύ του δομημένου περιβάλλοντος και της Λεωφόρου Καλλιρρόης υπάρχουν δύο κοινόχρηστοι χώροι, ως μικρά πάρκα με χαμηλή βλάστηση. Όσον αφορά τις οικοδομές, παρατηρούνται ανοιχτόχρωμα κτίσματα, με κύρια υλικά κατασκευής να είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα – τσιμέντο. Ως υλικά εδαφοκάλυψης χρησιμοποιούνται η άσφαλτος για το οδικό δίκτυο και οι συμβατικές πλάκες πεζοδρομίου για τα πεζοδρόμια, ενώ παρατηρείται επίσης στα βορειοανατολικά της περιοχής ένας πεζοδρομημένος δρόμος με κόκκινες πλάκες. Χαρακτηριστικό επίσης της περιοχής, ως μέρος ενός πυκνοκατοικημένου αστικού ιστού, είναι οι ελάχιστοι και περιορισμένοι ακάλυπτοι χώροι στο εσωτερικό των οικοδομικών τετραγώνων. Τέλος, βόρεια των ορίων της υπό μελέτης περιοχής φαίνεται μια ελαφρά κλίση του εδάφους, λόγω του λόφου Κοίλης που βρίσκεται βορειότερα.

Παρακάτω αποτυπώνονται, με φωτογραφίες – τοπόσημα από την επιτόπια έρευνα, τα χαρακτηριστικά της υπό μελέτης περιοχής.

³⁷ Ο «κυκλοφοριακός φόρτος» εκφράζει τον συνολικό αριθμό των οχημάτων που διέρχονται από ένα σημείο ή διατομή της οδού στη μονάδα του χρόνου. Ανακτήθηκε από:

<https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2085/1/%CE%9A%CE%B5%CF%864.pdf>

³⁸ ο «ρυθμός ροής», ο οποίος εκφράζει τον συνολικό αριθμό των οχημάτων που διέρχονται από ένα σημείο ή διατομή οδού σε μία περίοδο μικρότερη της ώρας (συνήθως το 15λεπτο) ανοιγμένος στην ώρα (Transportation Research Board-HCM, 2010)



Εικόνα 28: Δορυφορική αποτύπωση περιοχής μελέτης με ενδεικτικά σημεία ενδιαφέροντος (τοπόσημα)

3.3.3 Στοιχεία αστικής μορφολογίας

Για την αποτύπωση της γεωμετρίας των κτιρίων της περιοχής μελέτης και των ορίων των οικοδομικών τετραγώνων, χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ορθοφωτοχάρτης του Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε. (2007-2009), με μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 20cm. Ενώ ως όρια των κτιρίων και των ΟΤ χρησιμοποιήθηκε το χαρτογραφικό υλικό που παρέχει η ΕΛ.ΣΤΑΤ από την απογραφή του 2001 και του 2011. Με συνδυασμό των δύο υποβάθρων και με έλεγχο της υφιστάμενης κατάστασης (2016) από το χαρτογραφικό υλικό στο διαδικτυακό ιστότοπο του Google Earth, έγινε η αποτύπωση της γεωμετρίας της περιοχής. Ενώ για την αποτύπωση της δόμησης και του ύψους των κτιρίων χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα εφάφους, Digital Surface Model (DSM), μεγέθους εικονοστοιχείου στο έδαφος τα 80cm και Digital Elevation Model (DEM), μεγέθους εικονοστοιχείου στο έδαφος τα 5m. Έπειτα, από επεξεργασία και διόρθωση των δεδομένων, όπου αναφέρεται παρακάτω αναλυτικά (3.4.1), διαπιστώθηκε ότι το κύριο και υπό μελέτη οικοδομικό τετράγωνο της περιοχής αποτελείται από 17 κτίρια, με το ύψος τους ποικίλει, από δόροφα κτίρια μέχρι και μονοκατοικίες. Το μέγιστο ύψος κτιρίου είναι περίπου 22m. Ενώ, όσον αφορά τα γειτονικά κτίρια του ΟΤ φαίνεται, τα περισσότερα να είναι πολυκατοικίες μεγάλου και παρόμοιου ύψους.

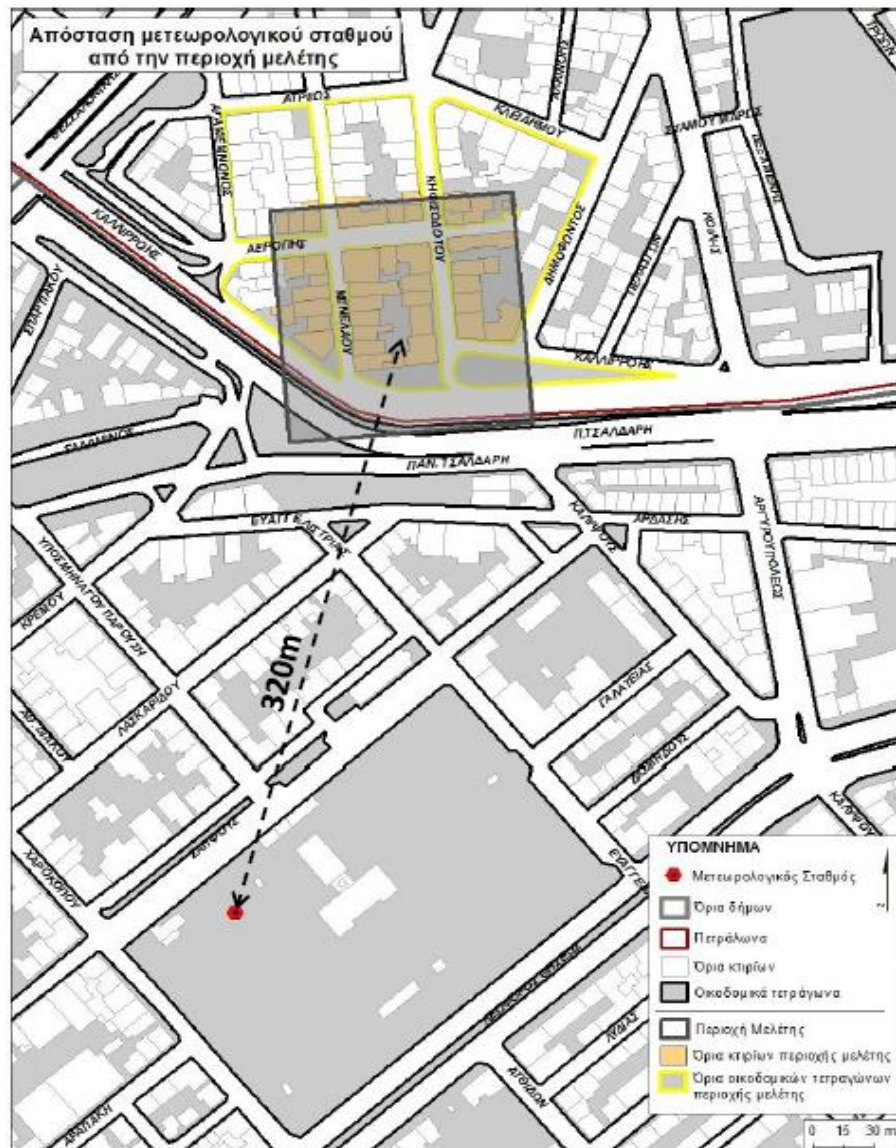
3.3.4 Κλιματολογικά δεδομένα

Τέλος, για την μελέτη του μικροκλίματος της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν μικροκλιματικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα ανακτήθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου που βρίσκεται μόλις 320m από το ΟΤ της περιοχής μελέτης (εικόνα 29). Ο σταθμός βρίσκεται εντός του Πανεπιστημίου, στην οδό Θησέως σε ύψος 10 μέτρα, με γεωγραφικές συντεταγμένες, Γεωγραφικό πλάτος 37°57'39.25''N, Γεωγραφικό μήκος 23° 42'27.77''E. Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν την θερμοκρασία σε βαθμούς °C στα 2m από το έδαφος, την σχετική υγρασία (%) στα 2m από το έδαφος, την ατμοσφαιρική πίεση (mb), την ταχύτητα του ανέμου(m/sec) και την διεύθυνση του ανέμου σε μοίρες. Τα δεδομένα για μελέτη του αστικού μικροκλίματος της περιοχής ανακτήθηκαν για τη θερινή περίοδο και συγκεκριμένα τη 24^η Ιουλίου 2016 όπου η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας εκείνη την μέρα ήταν 37,4°C. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, η συνεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας τους θερινούς μήνες στα αστικά κέντρα, δημιουργεί πληθώρα προβλημάτων αστικού μικροκλίματος που χρήζουν αντιμετώπισης. Η αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργεί αρνητικό αντίκτυπο στις συνθήκες άνεσης, μέσω της υποβάθμισης της κλιματικής ποιότητας στο περιβάλλον και της αύξησης των ενεργειακών αναγκών κατανάλωσης κτιρίων για ψύξη το καλοκαίρι. Έτσι, η ανάλυση του αστικού

μικροκλίματος ακραίων συνθηκών, βοηθά στη μελέτη προσαρμογής της περιοχής και περιορισμού αυτών των θερμοκρασιών. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ανάπλασης εξωτερικού περιβάλλοντος χώρου χρησιμοποιώντας τη βλάστηση, αποτελεί τρόπο προσαρμογής στις ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες της περιοχής, όπως θα αναλυθεί αργότερα. Τα δεδομένα, λοιπόν, ανακτήθηκαν ανά 10sec αλλά στο παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται με χρονικό βήμα 1 ώρας, όπου θα χρησιμοποιηθεί έπειτα και για την ανάλυση του μικροκλίματος μέσω προσομοίωσης στο λογισμικό Envi-met.

Πίνακας 9: Μετρήσεις μετεωρολογικού σταθμού του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, για τη 24^η Ιούλη 2016.

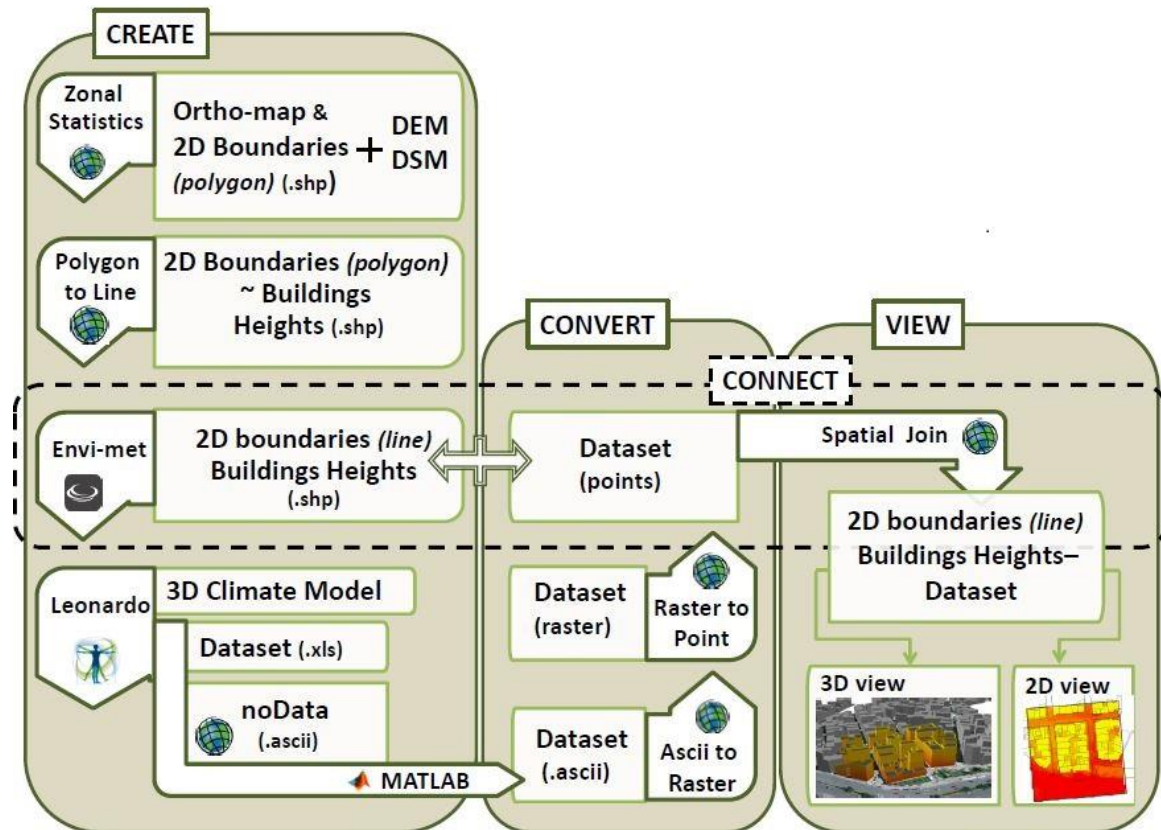
Ώρα	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Ατμοσφαιρική πίεση (mb)	Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Διεύθυνση ανέμου (μοίρες)
0:00:00	26.1	39	1008.3	2.1	112.5
1:00:00	25.5	44.5	1008.3	3	0
2:00:00	25.1	47	1008	3.1	67.5
3:00:00	24.8	42	1008.1	0	315
4:00:00	24.5	42	1008.7	0	292.5
5:00:00	27.5	43.5	1008.2	2.5	180
6:00:00	31.2	42	1008	0	337.5
7:00:00	32.9	39.5	1008	0	337.5
8:00:00	34.2	39	1007.4	0	337.5
9:00:00	35.6	38	1007.2	4.7	157.5
10:00:00	36.6	38	1007.2	3	112.5
11:00:00	37	37.5	1006.9	0.8	180
12:00:00	37	37	1006.6	0	180
13:00:00	37.4	37	1006.5	0	112.5
14:00:00	37	36	1006	2.9	135
15:00:00	35.4	36	1006.2	0	180
16:00:00	34.3	38	1006.1	1.1	180
17:00:00	33.3	39	1006.5	3.6	180
18:00:00	32.1	32	1006.4	3.2	180
19:00:00	31.3	33	1006.9	0	45
20:00:00	31	35	1007.2	0	180
21:00:00	29.5	41	1006.9	3	45
22:00:00	27.9	44	1006.9	0	45
23:00:00	27.1	50	1006.8	0	337.5



Εικόνα 29: Απόσταση της περιοχής μελέτης από το μετεωρολογικό σταθμό στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

3.4 Μεθοδολογική προσέγγιση

Για καλύτερη παρουσίαση της μεθοδολογικής προσέγγισης, επεξεργασίας, οργάνωσης και οπτικοποίηση των δεδομένων δημιουργήθηκε διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας, μοντελοποίησης των γεωχωρικών δεδομένων.



Εικόνα 30: Διάγραμμα ροής μεθοδολογικής προσέγγισης.

[Πηγή: Ίδια Επεξεργασία]

3.4.1 Επεξεργασία δεδομένων με ΓΣΠ

Η χρησιμότητα των ΓΣΠ στην οργάνωση και επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων, όπως και αναφέρθηκε προηγουμένως, βοήθη στην διαμόρφωση και παραγωγή νέων δεδομένων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τόσο γεω-επεξεργασίες για τα διανυσματικά δεδομένα, όπως επεξεργασία σε ένα επίπεδο, υπέρθεση επιπέδων (overlays) και χωρική σύνδεση (spatial Joins) όσο και γεω-επεξεργασίες ψηφιδωτών δεδομένων.

Γεω-επεξεργασία διανυσματικών δεδομένων

Σε πρώτο στάδιο, για την προσαρμογή του χαρτογραφικού υποβάθρου της ΕΛ.ΣΤΑΤ. στα όρια της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε χαρτογραφική υπέρθεση επιπέδων των τριών δήμων με την λειτουργία της **ένωσης (union)** και έπειτα η **χωρική σύνδεση** αυτών στα όρια της περιοχής μελέτης. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι το χαρτογραφικό υπόβαθρο της ΕΛ.ΣΤΑΤ. παρέχει ψηφιοποιημένα τα ΟΤ των δήμων για την απογραφή του 2001 και του 2011, ενώ για τα όρια των

κτιρίων μόνο για την απογραφή του 2001. Γι'αυτό τον λόγο, με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη εικονοστοιχείου 20cm αλλά και με παράλληλη εξέταση του χαρτογραφικού υποβάθρου του Google Earth και επιτόπιας αυτοψίας, έγινε η επεξεργασία και διόρθωσης των ορίων των κτιρίων, βάσει της υφιστάμενης κατάστασης στην περιοχή μελέτης. Έπειτα, με τα ίδια χαρτογραφικά υπόβαθρα, ψηφιοποιήθηκαν και οι πρόσθετοι όγκοι των κτιρίων που φαίνονταν από τον ορθοφωτοχάρτη, ώστε στην συνέχεια να μπορεί να γίνει ο υπολογισμός του ύψους των διαφορετικών αυτών όγκων σε κάθε κτίριο. (εικόνες 31)



Εικόνα 31: Όρια όγκων κτιρίων στη περιοχή μελέτης

Για να υπολογιστεί, το ύψος των κτιρίων (κύριος όγκος) και των πρόσθετων όγκων (δευτερεύον) κάθε κτιρίου ξεχωριστά χρειάστηκε να γίνει αναδιαμόρφωση του αρχείου των ορίων σχεδιασμού κάθε πολυγώνου. Έτσι, κάθε κτιριακός όγκος (κύριος και δευτερεύον) θα πρέπει να αποτελεί ξεχωριστή πολυγωνική οντότητα στο πίνακα περιεχομένων. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε χαρτογραφική υπέρθεση των επιπέδων των ορίων των κτιρίων και των πρόσθετων όγκων τους. Αρχικά εφαρμόστηκε η λειτουργία της **αποκοπής (clip)** όπου αποκόπηκε το αρχείο των κτιρίων στα όρια του αρχείου των πρόσθετων όγκων. Στην συνέχεια με την λειτουργία της **διαφοράς (difference)** συνδυάστηκε το αρχείο των κτιρίων με το παραγόμενο της προηγούμενης λειτουργίας. Ως παραγόμενο αρχείο αυτού είναι οι οντότητες που δεν επικαλύπτονταν μεταξύ τους. Τέλος, εφαρμόστηκε η λειτουργία της **συνένωσης (merge)**, όπου ενώθηκε το τελικό αρχείο των κτιρίων με αυτό των πρόσθετων όγκων του κτιρίου, με την δημιουργία ενός ενιαίου αρχείου αυτών.

Γεω-επεξεργασία ψηφιδωτών δεδομένων

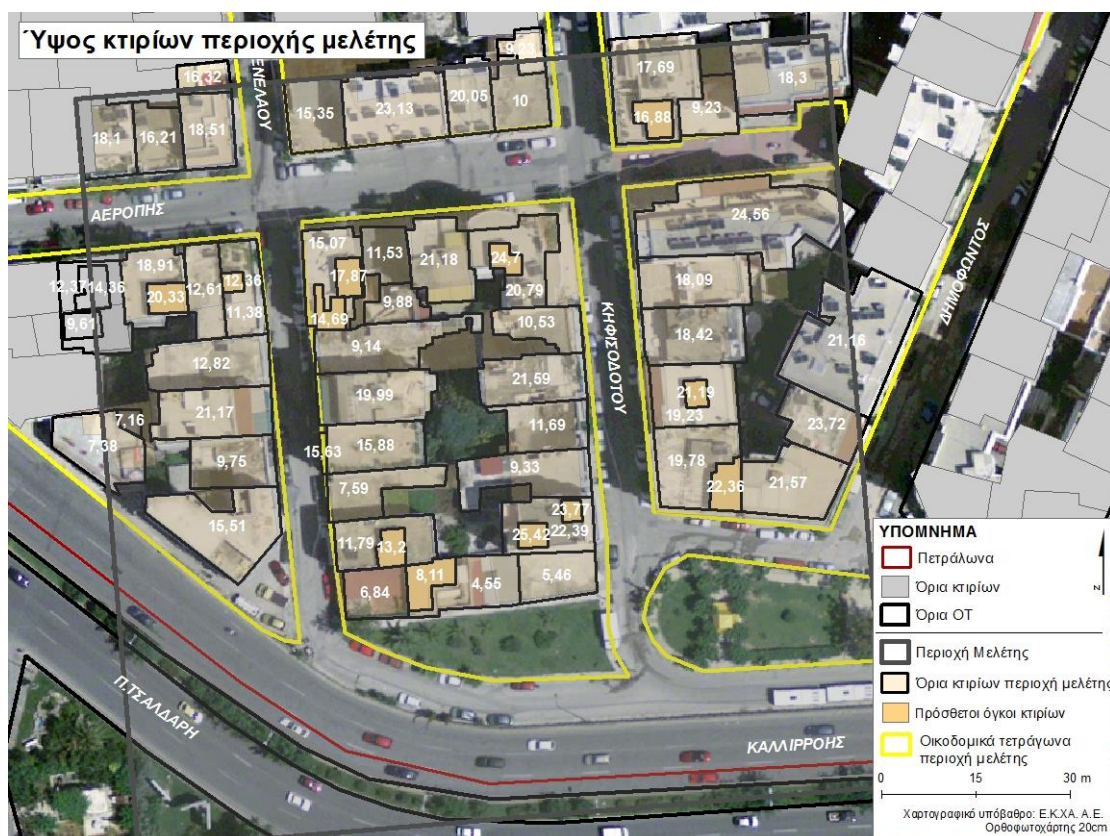
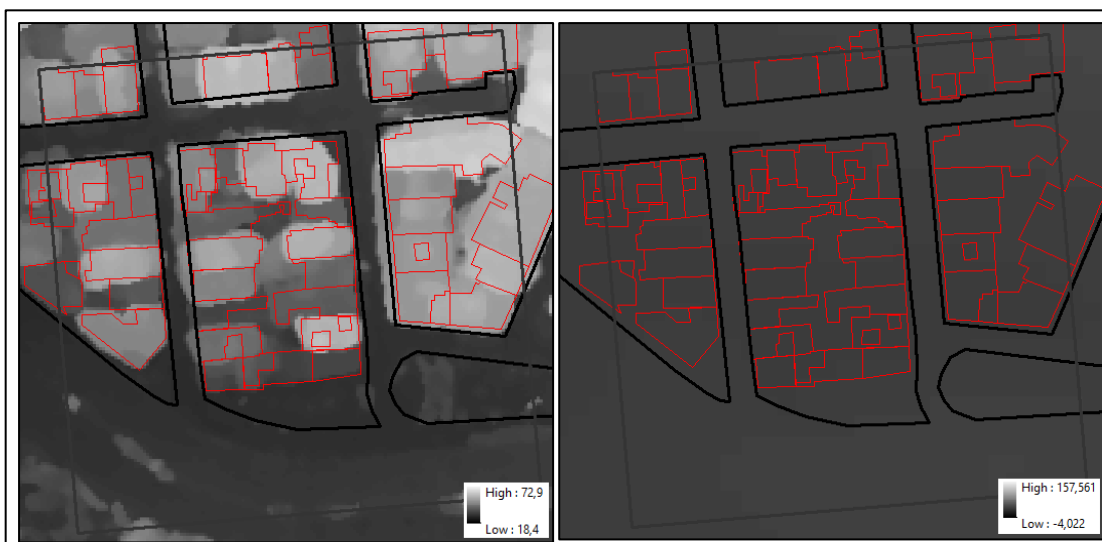
Για τον υπολογισμό του ύψους των κτιρίων το μέγεθος του εικονοστοιχείου στο έδαφος των DEM (5m) και DSM (80cm) για την σύγκριση και αφαίρεση του πρέπει να είναι ίδια. Συνεπώς, έγινε αλλαγή μεγέθους (**resize**) των αρχικών διαστάσεων του DEM, ώστε τα 5m μεγέθους εικονοστοιχείου του DEM να διαμορφωθούν ως 80cm. Έτσι, οι αρχικές διαστάσεις του DEM 920x7206 πολλαπλασιάστηκαν επί $(5m/0,8m)=6,25m$. Οι τελικές διαστάσεις του DEM διαμορφώθηκαν ως 5750x4500.

Υπολογισμός ύψους κτιρίων

Με την διαμόρφωση των ορίων των κτιρίων στα όρια της περιοχής μελέτης, βάσει του ορθοφωτοχάρτη και χρησιμοποιώντας το διαμορφωμένο DEM και το DSM, υπολογίστηκε για τα όρια των κτιρίων, μέσω της λειτουργίας **zonal statistics**, ο μέσος όρος των τιμών κάθε πολυγώνου για κάθε ένα από τα ψηφιδωτά αρχεία. Ως μέθοδος αναδόμησης τρισδιάστατων μοντέλων (ενότητα 3.1.2) ισχύει:

$$H_{building} = DSM - DEM$$

Έτσι, με αφαίρεση του μέσου όρου των τιμών του αρχείου DEM από το μέσο όρο των τιμών του DSM, για κάθε πολυγωνική οντότητα ορίων των κτιρίων, υπολογίζεται το ύψος του κάθε κτιρίου.



Εικόνα 32: Υπολογισμός ύψους των κτιρίων στην περιοχή μελέτης

3.4.2 Επεξεργασία δεδομένων στο λογισμικό Envi-met v.4.0

Η συλλογή δεδομένων από την επιτόπια αυτοψία, την επεξεργασία των χαρτογραφικών υποβάθρων και από το μετεωρολογικό σταθμό μέτρησης στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, χρησίμευσαν για την δημιουργία ενός μικροκλιματικού μοντέλου προσομοίωσης. Αρχικά, δημιουργήθηκε για τη υφιστάμενη κατάσταση στην περιοχή μελέτης, αναπαριστώντας το δομημένο ανάγλυφο, την ύπαρξη βλάστησης. Ενώ στη συνέχεια βάσει αυτού, δημιουργήθηκαν εναλλακτικά μοντέλα βελτίωσης των συνθηκών αστικού μικροκλίματος, ενισχύοντας την επικρατούσα βλάστηση. Έτσι, έγινε έλεγχος της συμβολής της βλάστησης ως τρόπος βελτίωσης των μικροκλιματικών συνθηκών και ποιότητα κλίματος. Βάσει των αρχών λειτουργίας του λογισμικού που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.2 έγινε και η ανάλογη επιλογή των παραμέτρων και συνθηκών, που εξυπηρετούν στο μοντέλο, προς προσομοίωση. Όπως περιγράφηκε, τα στάδια που περιλαμβάνει μια ανάλυση μικρής κλίμακας αλληλεπιδράσεων των στοιχείων αστικού σχεδιασμού στο περιβάλλον Envi-met, είναι η δημιουργία εικόνας υποβάθρου στο EagleEye, η εισαγωγή δεδομένων στο SPACES, ο καθορισμός των παραμέτρων μοντελοποίησης στο ConfigWizard, η εκτέλεση της προσομοίωσης και τέλος η επεξεργασία, παρουσίαση και οπτικοποίηση των δεδομένων στο Leonardo 2014. Το λογισμικό αυτής της έκδοσης δίνει την δυνατότητα εισαγωγής και οπτικοποίησης δεδομένων τόσο στις 2 διαστάσεις όσο και στις 3 διαστάσεις. Αυτό βοηθά τον χρήστη στη καλύτερη δημιουργία, παρουσίαση και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις 3 διαστάσεις του μοντέλου στο χώρο.

➤ Δημιουργία εικόνας υποβάθρου

Η δημιουργία εικόνας υποβάθρου για το μοντέλο είναι σημαντικό κομμάτι, εφόσον βοηθάει τον χρήστη στην ακριβή τοποθέτηση των διαφόρων στοιχείων που δίνει το λογισμικό (κτίρια, έδαφος, βλάστηση) στο κάναβο δημιουργίας του μοντέλου. Ειδικά σε περιπτώσεις περιοχών, περίπλοκου αστικού αναγλύφου, όπως η υπό μελέτη περιοχή, χρειάζεται η δημιουργία λεπτομερή σχεδίου της περιοχής μελέτης. Η δημιουργία εικόνας υποβάθρου μπορεί να δημιουργηθεί μέσω της εφαρμογής



Εικόνα 33: Εικόνα υποβάθρου για σχεδίαση στο λογισμικό Envi-met

EagleEye που δίνει το λογισμικό Envi-met v.4, στην περίπτωση όμως της υπό μελέτη περιοχής, η δημιουργία εικόνας έγινε για απόδοση μεγαλύτερης ακρίβειας μέσω περιβάλλοντος ΓΣΠ. Η εικόνα υποβάθρου περιλαμβάνει με ακρίβεια τα ψηφιοποιημένα όρια της περιοχής μελέτης, δηλαδή τα όρια των κτιρίων και των οικοδομικών τετραγώνων καθώς και τα διαζώματα πράσινου χώρου, κατά μήκος δεξιά και αριστερά της λεωφόρου Καλλιρρόης. Επίσης, στην εικόνα αναφέρεται η κλίμακα μελέτης και η περιστροφή του βορρά της περιοχής, ώστε η εισαγωγή των δεδομένων να γίνει έπειτα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο κানাβο. Το λογισμικό δεν δίνει την δυνατότητα για ακριβή σχεδίαση των ορίων που ακολουθούν πλάγια φορά. Γι' αυτό τον λόγο είναι χρήσιμο να τονιστεί ότι για καλύτερη τοποθέτηση των στοιχείων σχεδιασμού στο κানাβο, έγινε περιστροφή της εικόνας, έτσι ώστε τα όρια των οικοδομικών τετραγώνων και κτιρίων να είναι παράλληλα ή κάθετα με τις γραμμές του καναβου. Τέλος, η εικόνα αποθηκεύτηκε σε μορφή BMP File (bitmap), συμβατή μορφή εισαγωγής εικόνας για το λογισμικό Envi-met.

➤ Δημιουργία αρχείου εισαγωγής δεδομένων

Σε αυτό το στάδιο, μέσω της εφαρμογής SPACE, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να σχεδιάσει την περιοχή μελέτης του προς προσομοίωση, σε κানাβο/πλέγμα καθορισμένων ορίων. Ο κানাβος δυσδιάστατης μορφής με ακριβείς διαστάσεις κελιών (grids), σε οριζόντιο, κάθετο και κατακόρυφο άξονα θα εμπλουτιστεί, όπως φαίνεται αναλυτικά παρακάτω, με πληροφορίες που αφορούν την περιοχή μελέτης, δηλαδή πληροφορίες σχετικά με το έδαφος, την υπάρχουσα βλάστηση και τα κτίρια. Με την επιλογή *Basic Settings, New Area* εμφανίζεται το παράθυρο (εικόνα 34), όπου συμπληρώνονται οι βασικές πληροφορίες για το μοντέλο. Συγκεκριμένα, στην εικόνα 34 φαίνονται τα δεδομένα εισόδου του υπό μελέτη μοντέλου.

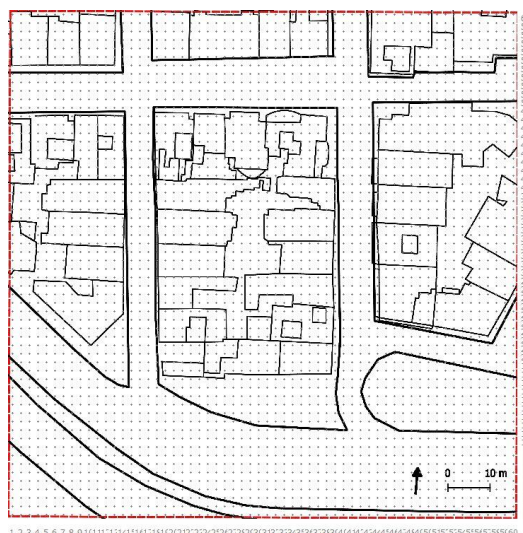
Εικόνα 34: Πεδίο ορισμού αρχικών παραμέτρων μοντέλου, SPACES

Ο καθορισμός των διαστάσεων του μοντέλου, στους άξονες x, y και z (κατακόρυφος άξονας ύψους) εξαρτάται από το μέγεθος της περιοχής μελέτης που μελετάτε κάθε φορά. Στην βασική έκδοση του Envi-met, όπου και χρησιμοποιείται, η μέγιστη δυνατή διάσταση που μπορεί να δοθεί στο μοντέλο για τα xyz-Grids είναι 60x60x30.

Παράλληλα, ανάλογα με την περιοχή μελέτης αλλά κυρίως την λεπτομέρεια που ο κάθε χρήστης θέλει να δώσει στο μοντέλο, καθορίζεται και το μέγεθος του κελιού σε μέτρα (grid size cell). Στόχος, λοιπόν, είναι ο σχεδιασμός και η μοντελοποίηση να γίνει, όχι μόνο σε μεγάλη λεπτομέρεια αλλά και σε ζώνη εκτεταμένης περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο, θα αποτυπωθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι συνθήκες της υφιστάμενης κατάστασης στην περιοχή μελέτης.

Έτσι, με στόχο να αποτυπωθεί μια ευρεία ζώνη της περιοχής μελέτης και με περιορισμό των διαστάσεων 60x60x30 που δίνει η βασική έκδοση του λογισμικού, η διάσταση κάθε κελιού στο κανάβο μελέτης ορίζεται στα 2m. Συνεπώς, $dx=dy=dz=2m$, με τη μέγιστη διάσταση του μοντέλου να διαμορφώνεται ως 120m x 120m x 60m, σε κλίμακα χάρτη.

Εικόνα 31: Παρουσίαση ορίων περιοχής μελέτης σε κανάβο 2x2 μέτρα, SPACES



Η μορφή του δικτύου των στρωμάτων των κελιών στο κατακόρυφο άξονα θα ακολουθούν την μέθοδο equidistant, όπου όλα τα στρώματα έχουν το ίδιο ύψος, πλην του χαμηλότερου που χωρίζεται σε 5 υποστρώματα με $dzs=0.2*dz$. Ενώ ο αριθμός των nesting grids που θα χρησιμοποιηθεί είναι 6 κελία για κάθε διάσταση στον χώρο, τα οποία δεν εκμεταλλεύονται υπολογιστικό χώρο αλλά απομακρύνουν τα όρια του μοντέλου από το κέντρο του, βελτιώνοντας έτσι την υπολογιστική ισχύ στην προσομοίωση. Συνυπολογίζοντας τα nesting grids, οι διαστάσεις του κανάβου γίνονται $x,y\text{-Grids}=60+12=72$, $z\text{-Grid}=30+6=36$. Έτσι, η εικόνα υποβάθρου, προσαρμόστηκε στις ανάλογες διαστάσεις, τοποθετώντας στο κέντρο του κανάβου το υπό μελέτη οικοδομικό τετράγωνο.

Έπειτα, καθορίζονται τα υλικά εδαφοκάλυψης από τις βάσεις δεδομένων του λογισμικού, SOILS και PROFILES. Έτσι, η περιοχή μελέτης, ως ένα τυπικό αστικό περιβάλλον, το μεγαλύτερο μέρος της, καλύπτεται πλην των δομημένων στοιχείων, από άσφαλτο (*Asphalt Road [ST]*) και από συμβατικές πλάκες πεζοδρομίου (*Pavement, Concrete [PP]*). Αντιστοίχως, ορίζεται και το υλικό κατασκευής των κτιρίων και της οροφής, ως το κοινό σε χρήση υλικό κατασκευής οικοδομών στην Αθήνα, οπλισμένο σκυρόδεμα – τσιμέντο, (*Concrete wall (cast dense) [C5]*). Από την βάση δεδομένων φαίνεται ότι κάθε υλικό εδαφοκάλυψης και επιφάνειας έχει, κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, για τα επιλεγμένα υλικά της περιοχής μελέτης φαίνεται στο πίνακα 10.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για ευκολία χρήσης του λογισμικού και σχεδίασης του μοντέλου, η στοίχιση της περιοχής μελέτης είναι χρήσιμο να γίνεται ως προς τα όρια των ΟΤ και δρόμων, με κάθετη και παράλληλη φορά. Γι' αυτό τον λόγο, στο πεδίο ορισμού περιστροφής, του παραθύρου βασικών παραμέτρων μοντέλου, πραγματοποιείται στροφή του μοντέλου κατά 5 μοίρες ωρολογιακά, όπως και είχε γίνει και στην εικόνα υποβάθρου (εικόνα 31). Το λογισμικό με αυτόν τον τρόπο τοποθετεί το σύμβολο του Βορρά και λαμβάνει υπόψη το προσανατολισμό του μοντέλου, για να γίνει η προσομοίωση της κατεύθυνσης του ανέμου.

Τέλος, στο πεδίο τοποθεσίας του μοντέλου επιλέγεται η Αθήνα. Ενώ ορίζονται επίσης με ακρίβεια οι γεωγραφικές συντεταγμένες και η τοπική ώρα του μοντέλου, ώστε αναλόγως να ληφθεί υπόψη η θέση του ήλιου για τη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την προσομοίωση.

Η εισαγωγή της εικόνας υποβάθρου που δημιουργήθηκε προηγουμένως γίνεται από την καρτέλα Digitize. Ο χρήστης μπορεί να την προσαρμόσει στα όρια του κάναβου, έτσι ώστε η απόσταση των κελιών να αντιστοιχεί στην αναγραφόμενη κλίμακα.

➤ Σχεδιασμός μοντέλου περιοχής

Με την εισαγωγή της εικόνας υποβάθρου και τον καθορισμό των βασικών χαρακτηριστικών του μοντέλου, μπορεί ο χρήστης στη συνέχεια να αποτυπώσει τα χαρακτηριστικά του χώρου και να δημιουργήσει το τελικό μοντέλο προς προσομοίωση. Το λογισμικό παρέχει, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη (ενότητα 3.2.4), έτοιμες βάσεις δεδομένων, για τα κτίρια, την βλάστηση, τα υλικά εδαφοκάλυψης και υλικών κατασκευής, τις πηγές εκπομπής αερίων. Αντίστοιχα, ο χρήστης μπορεί να ενισχύσει τις υπάρχουσες βάσεις δεδομένων, δημιουργώντας μια τοπική βάση δεδομένων, για την αναπαράσταση ενός πιο αντιπροσωπευτικού δείγματος για το μοντέλο.

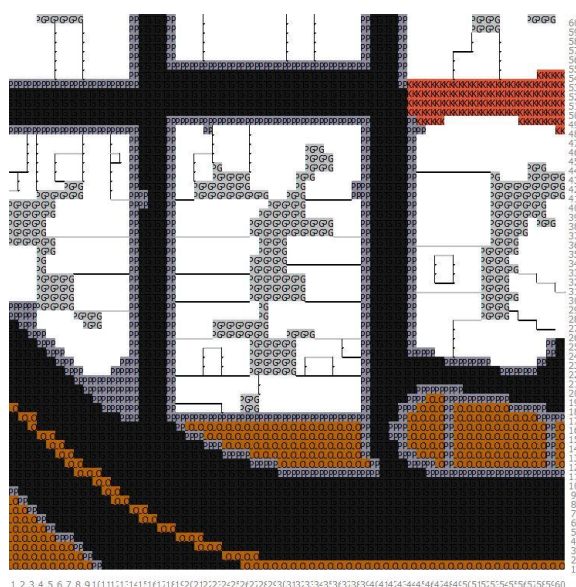
Μέσω του παραθύρου σχεδίασης και με κατεύθυνση τα όρια της εικόνας υποβάθρου δημιουργήθηκαν τα κτίρια της περιοχής μελέτης. Το μέγιστο ύψος κτιρίου ήταν 25m και το ελάχιστο 5m, ενώ συναντάται ποικιλία διακύμανσης μεταξύ των άλλων υψών. (εικόνα 35). Για την δημιουργία του εδαφικού προφίλ (εικόνα 36) τοποθετήθηκε κατά μήκος των δρόμων και της λεωφόρου Καλλιρρόης άσφαλτος (*Asphalt Road [ST]*), στα πεζοδρόμια συμβατικές πλάκες πεζοδρομίου (*Pavement, Concrete [PP]*), στο εσωτερικό των οικοδομικών τετραγώνων χρησιμοποιήθηκε άλλου τύπου υλικό κατασκευής πλάκας (*Concrete pavement Gray [PG]*), ενώ βορειοανατολικά του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν στο πεζοδρομημένο κομμάτι κόκκινες πλάκες (*Brick road (red stones) [KK]*). Για κάθε άλλη επιφάνεια επιλέχθηκε ότι υπάρχει χώμα (*Loamy Soil [LO]*). Στο πίνακα 10 φαίνονται χαρακτηριστικά οι διαφορετικές ιδιότητες κάθε υλικού εδαφοκάλυψης:

Πίνακας 10: Πίνακας υλικών εδαφοκάλυψης του μοντέλου προσομοίωσης.

Υλικό εδαφοκαλύψης	Τραχύτητα	Ανακλαστικότητα	Εκπομπή
Asphalt Road [ST]	0.01	0.2	0.9
Pavement,Concrete [PP]	0.01	0.4	0.9
Concrete pavement Gray [PG]	0.01	0.5	0.9
Brick road (red stones) [KK]	0.01	0.3	0.9
Loamy Soil [LO]	0.015	0.0	0.98



Εικόνα 35: Εισαγωγή ύψους κτιρίων στην περιοχή μελέτης, με ένδειξη οριοθετημένης περιοχής λεπτομέρειας σχεδιασμού στην εφαρμογή SPACES



Εικόνα 36: Παρουσίαση διαφόρων υλικών εδαφοκάλυψης του μοντέλου προσομοίωσης. Σχεδιασμός στην εφαρμογή SPACES.

Για τα στοιχεία της φύτευσης, η έκδοση v.4 δίνει την δυνατότητα σχεδίασης σε κάναβο δύο διαστάσεων και σε τρεις διαστάσεις, μέσω της εφαρμογής Albergo. Όπως φαίνεται στην εικόνα 37, η σχεδίαση σε τρεις διαστάσεις γίνεται για την καλύτερη προσέγγιση και παρατήρηση ενός φυσικού μοντέλου. Συνεπώς, ως στοιχεία φύτευσης για περιοχή μελέτης επιλέχθηκαν τόσο απλού τύπου φυτά (2D), αλλά και σύνθετου (3D). Συγκεκριμένα, για την περιοχή των ανοικτών χώρων στα νότια της περιοχής μελέτης επιλέχθηκε γρασίδι (*Grass 50cm aver, dense [GB]*) και φράχτες (*Hedge dense, 2m [H2]*).



Εικόνα 37: Σχεδίαση της βλάστησης στο μοντέλο προσομοίωσης, στην εφαρμογή SPACES.

Για την μοντελοποίηση των δένδρων χρησιμοποιήθηκαν τόσο απλής μορφή δένδρα (σε μορφή στηλών), αλλά και τριών διαστάσεων δένδρα από την βάση δεδομένων, Albergo. Έπειτα από επιτόπια αυτοψία και αναγνώριση των ειδών βλάστησης, έγινε προσπάθεια προσέγγισης της πραγματικότητας κατά την αναγνώριση των ειδών καθώς τα φυλλοβόλα δένδρα δεν ήταν διακριτά την χειμερινή περίοδο που πραγματοποιήθηκε η μελέτη. Σε κάθε περίπτωση, έστω και προσεγγιστικά χρησιμοποιήθηκαν συνήθη αστικά φυτά, που αναφέρονται στην ενότητα 2.5. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα διαφορετικά είδη και τα χαρακτηριστικά τους, που τοποθετήθηκαν συνολικά στην περιοχή, από τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων με τον μοναδιαίο αλφαριθμητικό κωδικό τους. Στο πίνακα 11 αναγράφεται επίσης το ύψος και το πλάτος των φυτών σε μέτρα που καταλαμβάνουν στο κάναβο του μοντέλου, καθώς και η ανακλαστικότητα του φυλλώματος τους. Όσο μεγαλώνει τιμή της ανακλαστικότητας του φυλλώματος, μεγαλώνει και η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα η επιφανειακή θερμοκρασία κάτω από το δένδρο να ελαττώνεται, με τις συνθήκες άνεσης στο περιβάλλον να βελτιώνονται. Στη περιοχή μελέτης παρουσιάζονται δένδρα, αλλά όχι ψηλά και πλούσιου φυλλώματος. Έτσι, η χρήση στηλών-δένδρων (*Tree very dense, leafless base [T1]*), από την απλή βάση δεδομένων, προς αναπαράσταση της βλάστησης που υπάρχει

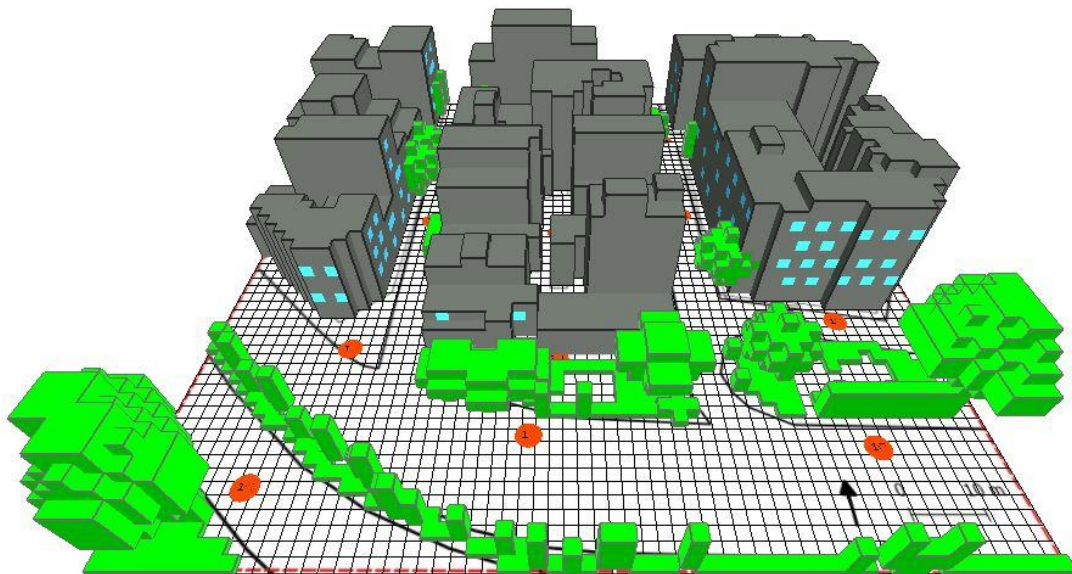
στο διάζωμα της λεωφόρου Καλλιρρόης, κρίνεται ως η καταλληλότερη επιλογή προς μοντελοποίηση.

Πίνακας 11: Πίνακας ειδών βλάστησης του μοντέλου προσομοίωσης

	Όνομα	Ύψος (m) Πλάτος (m)	Albedo Φυλλώματος
[OT]	Olive tree	4m 5m	0.50
[K4]	Koelieuteria paniculata laxm	4m 7m	0.70
[O3]	Robinia pseudoacacia	12m 7m	0.18
[A4]	black locust	22m 13m	0.18
[ZI]	Citrus Aurantium	4m 3m	0.40
[B9]	palm	6m 5m	0.18
[NC]	Square Tree – Low	5m 7m	0.60
[AC]	Acacia	2m 3m	0.60
[AJ]	Albizia Julibrissin	12m 11m	0.60
[B8]	field elm	20m 19m	0.18
[T1]	Tree very dense, leafless base	10m	0.2
[GB]	Grass aver, dense	50cm	0.2
[H2]	Hedge dense	2m	0.2



Εικόνα 38: Τρισδιάστατη παρουσίαση της βλάστησης στο μοντέλο προσομοίωσης, μέσω της εφαρμογής SPACES.



Εικόνα 39: Τρισδιάστατη παρουσίαση της περιοχής μελέτης του μοντέλου προσομοίωσης, στην εφαρμογή SPACES.

Τελευταίο βήμα σχεδίασης είναι η επιλογή διαφορετικών υλικών κατασκευής των κτιρίων. Ο ορισμός των διαφορετικών υλικών γίνεται μέσω 3D σχεδιασμού στην εφαρμογή SPACES. Έτσι, μπορεί να γίνει και αλλαγή των υλικών των προσόψεων και των οροφών κάθε κτιρίου. Στο μοντέλο σχεδίασης της περιοχής μελέτης έγινε η προσθήκη υλικού γυαλί (*Clear float glass [G4]*), για να αναπαραστήσει την ύπαρξη παραθύρου στο κτίριο. Ενώ ως ολικό υλικό κατασκευής των κτιρίων (τοιχοι, οροφές), όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιείται το σπλισμένο σκυρόδεμα – τσιμέντο, (*Concrete wall (cast dense) [C5]*). Παρακάτω, φαίνεται ο πίνακας ιδιοτήτων των δύο αυτών υλικών κατασκευής:

Πίνακας 12: Παρουσίαση ιδιοτήτων υλικών κατασκευής

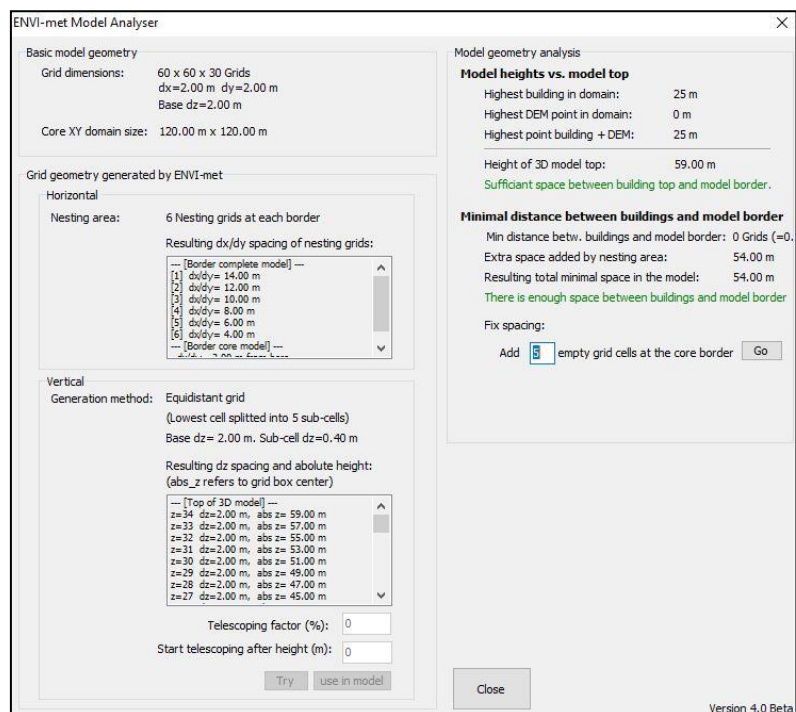
	<i>Concrete wall (cast dense) [C5]</i>	<i>Clear float glass [G4]</i>
Πάχος υλικού	0.3	0.02
Απορροφητικότητα	0.7	0.05
Μετάδοση/διαβίβαση	0	0.9
Αντανάκλαση	0.3	0.05
Εκπομπή	0.9	0.9
Θερμότητα	840	750
Θερμική Αγωγιμότητα	1.9	1.05
Πυκνότητα	2500	2500



Εικόνα 40: Αποτύπωση διαφορετικών υλικών κατασκευής του μοντέλου προσομοίωσης, στη εφαρμογή SPACES

Τέλος, η ολοκλήρωση της δημιουργίας του μοντέλου, γίνεται με τον έλεγχο των συννοριακών συνθηκών του. Ο έλεγχος των αρχικών παραμέτρων, πριν την δημιουργία παραμέτρων επεξεργασίας και έναρξη της προσομοίωσης, αποτελεί σημαντικό βήμα, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα στρέβλωσης των τελικών αποτελεσμάτων. Στο παράθυρο tools, μέσω του model inspector (εικόνα 41) επιβεβαιώνεται ότι το μοντέλο δημιουργίας έχει επαρκή περιθώριο γύρω από την περιοχή μελέτης. Αυτό σημαίνει, ότι βάσει των nesting grids και των διαστάσεων του μοντέλου, που έχουν οριστεί σε προηγούμενο βήμα, υπάρχει αρκετός χώρος μεταξύ των κτιρίων και των ορίων του μοντέλου.

Εικόνα 41: Έλεγχος επιτρεπόμενων οριακών συνθηκών του μοντέλου προσομοίωσης



Αντιστοίχως, στο κατακόρυφο άξονα γίνεται ο έλεγχος για επαρκή περιθώριο μεταξύ του υψηλότερου κτιρίου και των ορίων του μοντέλου. Συγκεκριμένα,

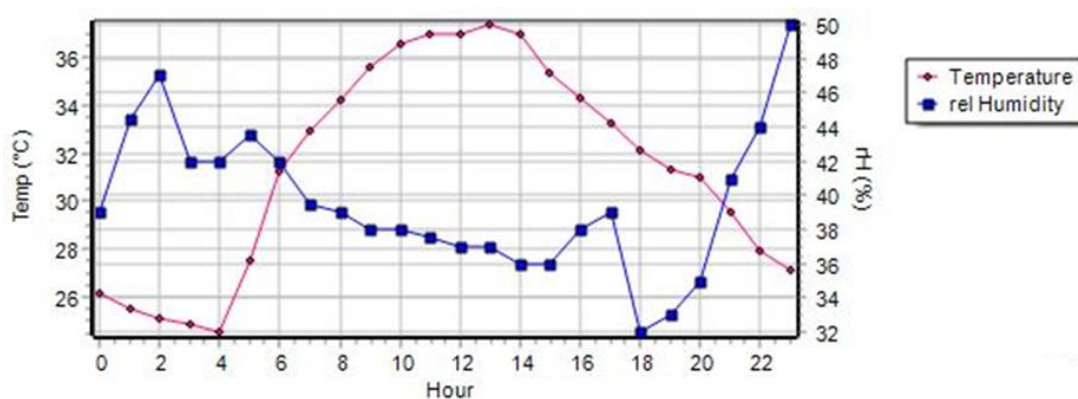
ορίζοντας 6 nesting grids (αρχικές συνθήκες) για τα όρια του μοντέλου, με $dx=dy=dz=2m$, δημιουργούνται 54m επιπλέον χώρου στα όρια του μοντέλου. Ενώ στο κατακόρυφο άξονα, με μέγιστο ύψος κτιρίου 25m, δημιουργείται αρκετός χώρος 59m μεταξύ του μέγιστου κτιρίου και του ορίου του μοντέλου. Ο χώρος αυτός ανταποκρίνεται στην συνθήκη, όπου θέτει το χώρο μεταξύ του μέγιστου κτιρίου και του ορίου του μοντέλου να είναι τουλάχιστον διπλάσιος του μέγιστου ύψους του κτιρίου, δηλαδή μεγαλύτερο ή ίσο από $2*25m=50m$.

➤ Καθορισμός παραμέτρων μοντελοποίησης

Ο καθορισμός των παραμέτρων μοντελοποίησης γίνεται μέσω της εφαρμογής ConfigWizard. Οι παράμετροι διαμορφώνουν και το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης για την δημιουργία του αρχείου προσομοίωσης (.SIM). Αρχικά, καθορίζεται το αρχείο εισαγωγής δεδομένων (.INX) που δημιουργήθηκε προηγουμένως μέσω της εφαρμογής SPACES. Αφού οριστεί το όνομα της προσομοίωσης και το που θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα, ρυθμίζονται και οι αρχικές συνθήκες του μοντέλου. Στην προκειμένη περίπτωση ως μέρα έναρξης της προσομοίωσης ορίζεται η 24^η Ιουλίου 2016, η οποία αποτέλεσε βάση της καταγραφής του μετεωρολογικού σταθμού στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο και την θερμότερη ημέρα του έτους. Η μελέτη προσομοίωσης, όπως προαναφέρθηκε, βασίζεται στην ανάλυση αστικού μικροκλίματος ακραίων συνθηκών θερμοκρασίας, με στόχο το περιορισμό αυτών. Αυτό γιατί, τη θερινή περίοδο τα κύματα καύσωνα σε συνδυασμό με το πυκνοδομημένο αστικό ιστό και την έλλειψη πρασίνου στις πόλεις, οδηγούν στη σταδιακή αλλοίωση της κλιματικής ποιότητας, ενισχύοντας φαινόμενα, όπως αυτό της αστικής θερμικής νησίδας. Γι' αυτό τον λόγο κρίνεται αναγκαία η μελέτη των παραγόντων που διαμορφώνουν το αστικό κλίμα και η εξάλειψη αυτών. Σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, η παρέμβαση με την χρήση αστικού πρασίνου μπορεί να δημιουργήσει βιωσιμότητα στην πόλη, περιορίζοντας τις ακραίες συνθήκες θερμοκρασιών, βελτιώνοντας παράλληλα τις συνθήκες άνεσης μέσα στο πυκνοδομημένο ιστό της πόλης.

Για την δημιουργία του αρχείου προσομοίωσης χρειάζεται να καθοριστούν αρχικά οι βασικές συνθήκες (πίνακας 13) της προσομοίωσης (ώρα, διάρκεια, μέρα, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, υγρασία κ.α.) και στην συνέχεια οι επιπρόσθετες παράμετροι που διαμορφώνουν το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης. Όσον αφορά το χρονικό εύρος διάρκειας και η ώρα εκκίνησης, συνίσταται να μην είναι μικρότερο των 6 ωρών και να ξεκινάει τις βραδινές ή πριν το ξημέρωμα. Αυτό, γιατί τα αποτελέσματα τις πρώτες ώρες της προσομοίωσης δεν είναι τα πλέον αντιπροσωπευτικά αλλά και για να μελετηθεί το εύρος των τιμών των διαφόρων παραμέτρων. Έτσι, επιλέγεται, η προσομοίωση να ξεκινά στις 00:00 τα ξημερώματα και να έχει διάρκεια 24 ώρες. Ως βασικές – αρχικές συνθήκες της μοντελοποίησης για τις 24/07/2016 ορίζονται τα μικροκλιματικά δεδομένα της ώρας έναρξης της προσομοίωσης βάσει του πίνακα 5. Έτσι, η ταχύτητα του ανέμου σε απόσταση 10m

από το έδαφος ορίζεται ως 2,1 m/s με διεύθυνση νοτιοανατολική (112,5°), ενώ η τραχύτητα του εδάφους ορίζεται με συντελεστή 0.1, ως η μεγαλύτερη δυνατή επιλογή τιμής που δίνει το λογισμικό, για να αποδοθεί η ανομοιομορφία του αναγλύφου στο αστικό περιβάλλον. Στην συνέχεια, η θερμοκρασία στις 00:00 έχει τιμή 26,1 °C και η σχετική υγρασία στα 2m είναι 39%. Ενώ γίνει ο ορισμός των αρχικών – βασικών συνθηκών για την έναρξη της μοντελοποίησης, ορίζονται βάσει των μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (πίνακας 5) και οι τιμές διακύμανσης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, ανά μια ώρα. Με τον ορισμό της διακύμανσης των τιμών μέσα στην μέρα, οι αναλύσεις μικρής κλίμακας βελτιστοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, εφόσον καθορίζεται με ακρίβεια η διακύμανση των τιμών στο μικροκλίμα την υφιστάμενη μέρα μελέτης. Με την εντολή simple forcing, δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα της διακύμανσης των τιμών της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας ανά μια ώρα στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 42: Διάγραμμα απεικόνισης θερμοκρασίας και υγρασίας της 24^η Ιουλίου 2016, με χρονικό βήμα μιας ώρας

Στην περίπτωση της υπό μελέτης περιοχής, βάσει των μετρήσεων, ορίζεται ως μέγιστη θερμοκρασία 37,4°C στις 13:00 και ελάχιστη 24,5°C στις 4:00 τα ξημερώματα, ενώ αντιστοίχως ως μέγιστη σχετική υγρασία 50% στις 23:00 και ελάχιστη 32% στις 18:00. Στο *παράρτημα*, παρατίθενται η ροή, για τις υπόλοιπες σχετικές ρυθμίσεις για την ολοκλήρωση καθορισμού παραμέτρων μοντελοποίησης. Είναι χρήσιμο να διευκρινιστεί ότι στα αποτελέσματα της προσομοίωσης δεν θα λαμβάνονται υπόψη τα nesting grids καθώς και για την απόδοση σταθερότητας στο μοντέλο χρησιμοποιούνται ως πλευρικές οριακές συνθήκες (LBC), οι εξαναγκασμένες ή κλειστές LBC.

Πίνακας 13: Ορισμός αρχικών – βασικών συνθηκών μοντέλου προσομοίωσης

Ημέρα προσομοίωσης	24/07/2016
Ώρα έναρξης της προσομοίωσης:	00:00
Συνολικός χρόνος προσομοίωσης (ώρες):	24 ώρες
Ταχύτητα ανέμου στα 10m από το έδαφος (m/s):	2,1 m/s
Κατεύθυνση ανέμου (σε μοίρες):	112,5°
Αρχική θερμοκρασία (σε Celsius):	26,1 °C = 299.25K
Ειδική υγρασία στα 2500m (g νερού/kg αέρα):	7 g/kg
Σχετική υγρασία στα 2m (%):	39 %

➤ **Εκτέλεση προσομοίωσης**

Η προσομοίωση γίνεται μέσω της εφαρμογής ENVI-met της καρτέλας Run, επιλέγοντας, ανάλογα με το μοντέλο δημιουργίας, την κατάλληλη κλίμακα πλέγματος που διαθέτει το λογισμικό. Οι κλίμακες είναι 150x150x35, 250x250x25, ενώ η διαθέσιμη κλίμακα της έκδοσης Envi-met basic είναι η 100x100x40, στη οποία βασίστηκε και το υπό μελέτη μοντέλο. Σε αυτό το σημείο επιλέγεται επίσης το αρχείο καθορισμού των παραμέτρων μοντελοποίησης (μορφής .SIM) που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα, το οποίο αποτελεί και το αρχείο εισαγωγής έναρξης της προσομοίωσης. Προτού ξεκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης (Run Simulation), γίνεται ο έλεγχος της (Test Simulation) για αποφυγή τυχόν σφαλμάτων κατά την δημιουργία του αρχείου εισαγωγής δεδομένων και των παραμέτρων μοντελοποίησης.

➤ **Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης οργανώνονται σε υποφακέλους του φακέλου προορισμού της προσομοίωσης. Οι υποφάκελοι αυτοί αφορούν τις παραμέτρους ορισμού του αρχείου δημιουργίας (.INX) και αρχείου προσομοίωσης (.SIM), και οργανώνονται στους υποφακέλους atmosphere, biomet, buildings, inflow, log, pollutants, radiation, receptors, soil, surface, vegetation. Τα αρχεία αυτά μπορούν να παρουσιαστούν μέσω της εφαρμογής Leonardo 2014. Η παρουσίαση γίνεται μέσω δημιουργίας χαρτών σε κλίμακα δύο διαστάσεων ανά ζεύγος αξόνων xy, xz, yz, είτε σε τρεις διαστάσεις αναπαράστασης, ή μέσω διαγραμμάτων ανά μία ώρα, είτε χρονοσειρών για κάθε κυψέλη του grid, είτε εξαγωγής τους σε αρχείο .xls. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε το παραγόμενο αρχείο .xls με τα αποτελέσματα κάθε κυψέλης του πλέγματος 60x60x30, το οποίο μεταφράστηκε σε συμβατή μορφή των ΓΣΠ για περαιτέρω επεξεργασία και οπτικοποίηση.

3.4.3 Μετατροπή δεδομένων

3.4.3.1 Αρχείων του Envi-met (.xls μορφή) σε ascii

Για να γίνει η διαχείριση και περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών χρειάστηκε να γίνει η μετατροπή των παραγόμενων αποτελεσμάτων του Envi-met σε μορφή συμβατή των ΓΣΠ. Η μετατροπή έγινε μέσω αλγόριθμου μετατροπής³⁹ και χρήση της γλώσσας προγραμματισμού *MATLAB*. Τα παραγόμενα αρχεία τύπου .xls του λογισμικού Envi-met μετατράπηκαν σε αρχεία τύπου .ascii, συμβατά κατά τα ΓΣΠ.

Ο αλγόριθμός χρησιμοποιεί δύο αρχεία, ένα αρχείο .xls και ένα κενό αρχείο .ascii χωρίς τιμές (noData file). Με αυτό τον τρόπο, μετατρέπονται – τοποθετούνται στην σωστή θέση – οι τιμές του .xls στις κενές θέσεις του αρχείου .ascii, που έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενη επεξεργασία. Η δημιουργία του κενού αρχείου .ascii γίνεται μέσω των ΓΣΠ και του εργαλείου “*Raster to ascii*”, στο ArcGIS. Για την δημιουργία αρχείου τύπου .ascii χρησιμοποιήθηκαν τα όρια της περιοχής μελέτης σε ψηφιδωτή μορφή (raster). Με αυτό τον τρόπο τα όρια του πλέγματος τιμών του λογισμικού Envi-met θα είναι όμοια με αυτά στο ψηφιδωτό αρχείο της περιοχής μελέτης. Επομένως, τα χαρακτηριστικά του αρχείου .ascii θα είναι όμοια με αυτά του πλέγματος, δηλαδή ο αριθμός των στηλών και γραμμών θα είναι ανάλογος των τιμών του GRID, δηλαδή $x-grid=y-grid=60$ έτσι και $ncol=nrow=60$, το μέγεθος της κυψέλης (cell size=2m) ανάλογο του πλέγματος $dx=dy=2m$ καθώς και οι γεωγραφικές συντεταγμένες της κάτω αριστερής κυψέλης στο αρχείο .ascii ίδιες με τις συντεταγμένες του σημείου στο πλέγμα. Συνεπώς, το .ascii αρχείο που δημιουργείται για την περιοχή μελέτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

ncols	60
nrows	60
xllcorner	474176,33229204
yllcorner	4201505,724076
cellsize	2
NODATA_value	-9999

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, για την ευκολότερη σχεδίαση του μοντέλου στο Envi-met, χρειάστηκε να γίνει περιστροφή του (εικόνα 43), ώστε οι γραμμές και οι στήλες του κάναβου να είναι βάσει της δομής των οδικών αξόνων γύρω από το υπό μελέτη Οικοδομικό Τετράγωνο. Έτσι, για την βέλτιστη σχεδίαση του μοντέλου στο Envi-met, βάσει γραμμικότητας, έγινε περιστροφή της διεύθυνσης του βορρά 5 μοίρες ωρολογιακά. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι η περιστροφή του μοντέλου έγινε μόνο για λόγους καλύτερης σχεδίασης των

³⁹ http://www.envi-met.info/hg2e/doku.php?id=extern:internet_software , Αλγόριθμος μετατροπής των παραγόμενων αρχείων του λογισμικού Envi-met σε μορφή συμβατή των ΓΣΠ. Συγγραφή: Liming Zhang



χαρακτηριστικών την περιοχής, στο λογισμικό Envi-met (μαύρο πολύγωνο, με κόκκινα όρια οικοδομικών τετραγώνων), ενώ η περαιτέρω μελέτη της εργασίας θα γίνει χωρίς την περιστροφή του μοντέλου (γκρι πολύγωνο, με ανοικτό κόκκινο όρια οικοδομικών τετραγώνων), δηλαδή στις αρχικές συνθήκες προσανατολισμού.

Εικόνα 43: Αποτύπωση περιστροφής

του αρχείου για σχεδίαση στο λογισμικό Envi-met (μαύρο πολύγωνο με κόκκινα όρια κτιρίων) και επαναφορά αυτού στη αρχική διεύθυνση προσανατολισμού (γκρι πολύγωνο με ανοικτό κόκκινο όρια κτιρίων) για περαιτέρω επεξεργασία σε ΓΣΠ.

Συνεπώς, το raster αρχείο εισαγωγής που ορίζεται για την δημιουργία αρχείου τύπου ascii, μέσω του εργαλείου “Raster to ascii”, είναι τα όρια της περιοχής μελέτης (γκρι πολύγωνο, με ανοικτό χρώμα για τα όρια οικοδομικών τετραγώνων), (εικόνα 43, 44). Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι η λειτουργία “Raster to



ascii” δεν επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει αρχείο ascii στα σαφή όρια του γκρι πολυγώνου – περιοχή μελέτης λόγω φυσικής στροφής του προσανατολισμού. Γι’ αυτό τον λόγο δημιουργείται αρχείο με 65 γραμμές και 65 στήλες, οι οποίες περιλαμβάνουν «no data» (μαύρη ένδειξη) για τις εκτός ορίων τιμές του πολυγώνου (εικόνα 43, 44).

Εικόνα 44: Δημιουργία ψηφιδωτού αρχείου raster, με «no data» τιμές εκτός του πολυγώνου της περιοχής μελέτης.

Τέλος, για να συμπληρωθεί το κενό αυτό αρχείο τύπου .ascii χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος μετατροπής, μέσω της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την μορφή του κενού αρχείου .ascii που δημιουργήθηκε προηγουμένως, ώστε να τοποθετήσει τα μικροκλιματικά αποτελέσματα του Envi-met στην σωστή θέση αυτού του .ascii αρχείου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η δημιουργία ενός αρχείου μορφής .ascii που περιέχει μικροκλιματικά δεδομένα (π.χ. τιμές θερμοκρασίας) ανά 2m ύψος του άξονα z, για συγκεκριμένη χρονική στιγμή μέσα στην μέρα.

3.4.3.2 Αρχείων ascii σε ψηφιδωτή μορφή (raster)

Σε επόμενο βήμα, για την δημιουργία ψηφιδωτού αρχείου raster, έγινε η αντίστροφη διαδικασία. Το εργαλείο "Ascii to Raster" του ArcGIS δίνει την δυνατότητα μετατροπής των αρχείων .ascii (3.4.3.1) που περιέχουν μικροκλιματικά δεδομένα (π.χ. τιμές θερμοκρασίας) ανά 2m ύψος του άξονα z, για συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σε ψηφιδωτά αρχεία raster. Συνεπώς, για την δημιουργία των ψηφιδωτής μορφής (raster) αρχείων, χρησιμοποιούνται τα μεταφρασμένα αρχεία .ascii όλων των τιμών, ορίζοντας τις διαστάσεις 60x60 για ncol, nrow και το μέγεθος κυψέλης 2m, όπως είχαν οριστεί στο προηγούμενο βήμα (3.4.3.1).

Η μετατροπή των αρχείων ascii σε αρχεία raster έγινε για όλα τα δεδομένα για δεδομένο ύψος, όπως επεξηγήθηκε. Τα αρχεία αυτά θα χρησιμεύσουν στην δόμηση της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων στο επόμενο βήμα, για την καλύτερη διαχείριση - οπτικοποίηση τους μέσα από ένα ΓΣΠ.

3.4.4 Δημιουργία τρισδιάστατης Γεωχωρικής Βάσης Δεδομένων

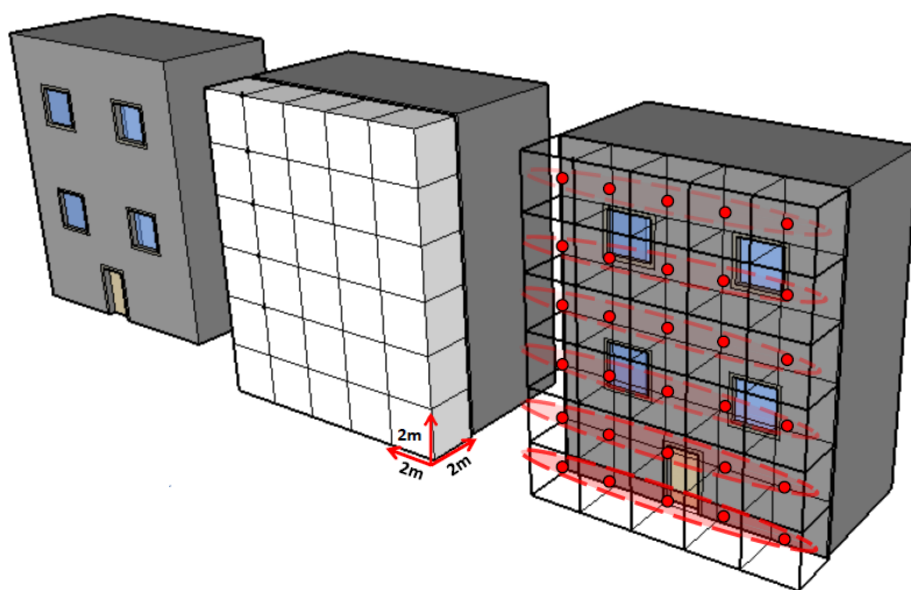
Στόχος της δημιουργίας αυτής της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων είναι η χωρική σύνδεση των παραγόμενων αστικών μικροκλιματικών δεδομένων που προκύπτουν από την προσομοίωση, μέσω του λογισμικού Envi-met, με το κάθε κτίριο της περιοχής μελέτης.

Συγκεκριμένα, ο τρόπος σύνδεσης βασίζεται στις διαστάσεις του τρισδιάστατου πλέγματος (3D GRID) που δημιουργήθηκε στο Envi-met. Οι διαστάσεις σχεδίασης του πλέγματος ήταν x-Grid=y-Grid=60 και μέγεθος κελιού $dx=dy=2m$, με συνολική διάσταση 120m x 120m. Ενώ, η κάθετη δομή του πλέγματος στο άξονα z ήταν μεγέθους κελιού $dz=2m$, με το χαμηλότερο στρώμα να χωρίζεται σε 5 υποστρώματα με $dzs=0.2*dz$ και το μέγιστο ύψος κτιρίου να είναι 25m. Βάσει αυτών των δεδομένων θα δημιουργηθεί η τρισδιάστατη γεωχωρική βάση δεδομένων που θα συνδέει τα εξωτερικά χαρακτηριστικά κάθε κτιρίου, που έχουν δημιουργηθεί από το λογισμικό Envi-met και αποτελούν αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της αστικής μορφολογίας με τους παράγοντες που καθορίζουν το μικροκλίμα, με το ίδιο το κτίριο ως οντότητα. Το τρισδιάστατο αυτό πλέγμα πληροφορίας (3D grid) αποτελείται από πολλά voxels που δημιουργούν ένα voxel set. Κάθε voxel ή αλλιώς κύβος φέρει την θεματική πληροφορία που θα ενωθεί με το κάθε κτίριο της περιοχής.

Έτσι, βάσει των διαστάσεων του πλέγματος στο Envi-met η κάθε πλευρά του κτιρίου (δηλαδή συνολικά 4 πλευρές) χωρίστηκε ανά 2m στον άξονα z. Το μέγιστο ύψος κτιρίου στη περιοχή μελέτης είναι 25m, γι' αυτό τον λόγο στο άξονα z δημιουργήθηκαν συνολικά 18 τμήματα ανά 2m ύψος, όπου μετά το 5ο στρώμα έχουν ίδια διάσταση $dz=2m$, ενώ πριν βασίζονται στο διαχωρισμό $dzs=0.2*dz$, για καλύτερη προσέγγιση των συνθηκών κοντά στο έδαφος. Με άλλα λόγια, η κάθε πλευρά του κτιρίου διαιρέθηκε αναλόγως και ομοίως με τις διαστάσεις του

πλέγματος του Envi-met, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση της χωρικής οντότητας (κτίριο) με τη παραγόμενη πληροφορία από το λογισμικό (αστικοί μικροκλιματικοί παράγοντες), (εικόνα 45). Η παραγόμενη πληροφορία του Envi-met βρίσκεται δηλαδή σε 3D πλέγμα με πολλά voxels, διάστασης 2m x 2m x 2m, τα οποία θα μετατραπούν σε σημειακές οντότητες, ως τα κεντροειδή κάθε voxel του 3D πλέγματος.

Με αυτό τον τρόπο, το κάθε κτίριο συνδέεται με «ζώνες» αυτής της πληροφορίας ανά 2m (πλην των πρώτων επίπεδων), όπου η κάθε ζώνη μεταφέρει την μέση τιμή όλων των σημείων – δεδομένων (μέσος όρος των voxels ανά 2m στο κάθε κτίριο) που συγκεντρώνονται σε αυτή. Ο διαχωρισμός ανά δύο μέτρα έγινε, αρχικά, γιατί η φέρουσα πληροφορία από το Envi-met είχε αυτή την διάσταση αλλά και γιατί έτσι θα αποδοθεί μεγαλύτερη λεπτομέρεια πληροφόρησης για κάθε ζώνη. Ο διαχωρισμός θα μπορούσε να είχε γίνει για παράδειγμα αντίστοιχα και για κάθε όροφο του κτιρίου, με ανάλογη διαχείριση των παραγόμενων δεδομένων πριν την σύνδεση, μέσω παρεμβολής των τιμών.

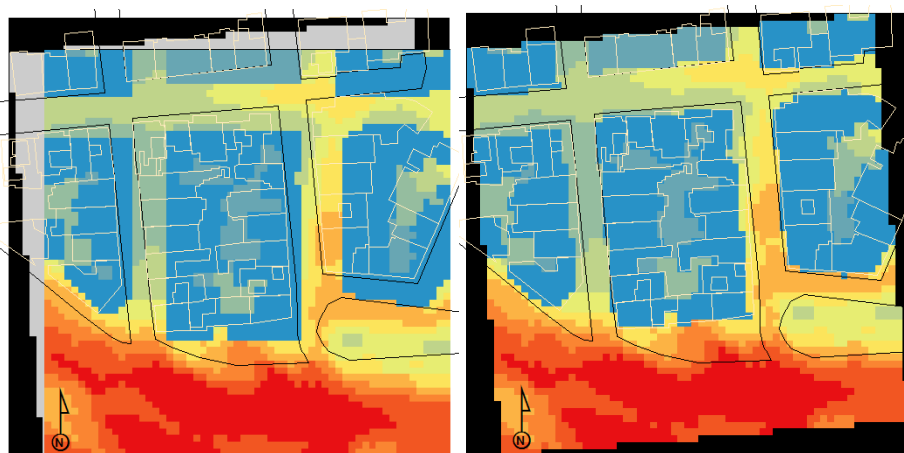


Εικόνα 45: Σκίτσο προς αναπαράσταση του τρόπου σύνδεσης της πλευράς κάθε κτιρίου με τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (του 3D Grid), που διαμορφώθηκαν βάσει πλέγματος απόστασης 2m στο κάθετο άξονα, δομώντας ζώνες πληροφορίας που συγκεντρώνουν την μέση τιμή της αναφερομένης τιμής.

Έτσι, για την δημιουργία της τρισδιάστατης βάσης δεδομένων και την πραγματοποίηση της σύνδεσης αυτής, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια των κτιρίων που είχαν επεξεργαστεί σε προηγούμενο στάδιο, βάσει ορθοφωτοχάρτη μεγέθους εικονοστοιχείου 20cm. Οι εξωτερικές συνθήκες για κάθε κτίριο ποικίλουν τόσο στο κάθετο άξονα ανάλυσης όσο και στις διαφορετικές πλευρές του κτιρίου. Για παράδειγμα, διαφορετικές συνθήκες αναπτύσσονται στην πρόσοψη του κτιρίου και

διαφορετικές στο ακάλυπτο χώρο που βρίσκεται στην πίσω μεριά του κτιρίου, ενώ παράλληλα υπάρχει διαφοροποίηση συνθηκών μεταξύ διαφορετικών αποστάσεων από το έδαφος. Έτσι, η σύνδεση της πληροφορίας για κάθε κτίριο γίνεται για κάθε ξεχωριστή πλευρά του κτιρίου. Γι' αυτό τον λόγο τα όρια των κτιρίων (πολυγωνική μορφή) χρειάστηκαν να μετατραπούν σε γραμμικές οντότητες, ώστε η κάθε πλευρά να αποτελεί διαφορετική οντότητα προς σύνδεση (διάγραμμα ροής, εικόνα 30). Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι για να δημιουργηθούν οι γραμμικές οντότητες των πολυγωνικών ορίων κάθε κτιρίου θα πρέπει ο αρχικός σχεδιασμός των πολυγωνικών αυτών οντοτήτων να έχει γίνει βάσει κανόνων που ορίζει η τοπολογία.

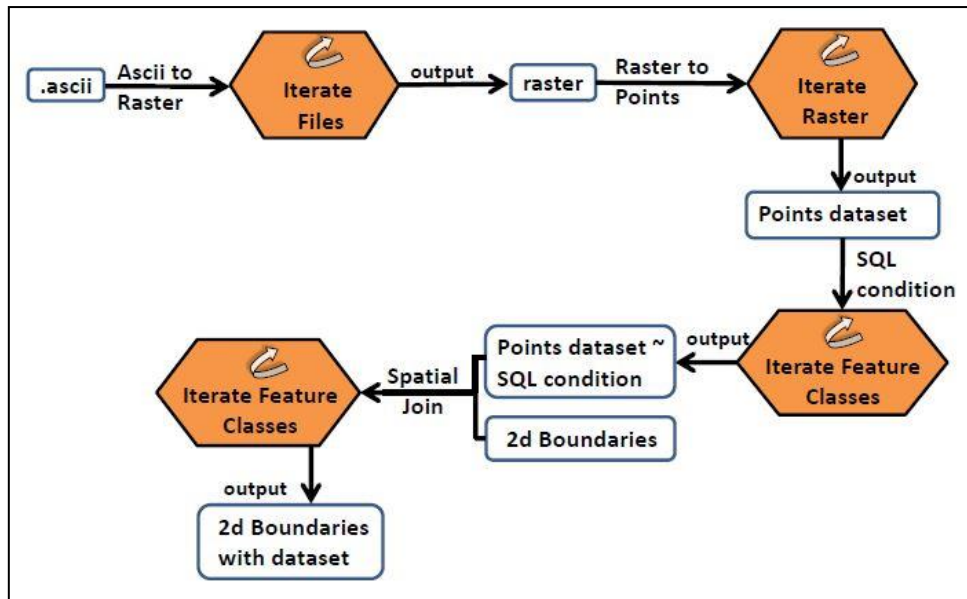
Συνεπώς, επόμενο στάδιο για την σύνδεση και δημιουργία της βάσης ανά γραμμική οντότητα κτιρίου, είναι η αξιοποίηση των ψηφιδωτών αρχείων raster που μεταφέρουν την θεματική πληροφορία που θα συνδεθεί η κάθε γραμμική οντότητα ανά 2m ύψος. Η θεματική πληροφορία περιέχει τα εξωτερικά χαρακτηριστικά και διαμορφώθηκε σε προηγούμενο στάδιο, ώστε να είναι συμβατή με τα ΓΣΠ (ενότητα 3.4.3). Όμως, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για την βέλτιστη σχεδίαση του μοντέλου στο Envi-met και την ανάκτηση των δεδομένων, η περιοχή μελέτης περιστράφηκε. Η περιστροφή αυτή αποτελεί πρόβλημα στην μετέπειτα αντιστοίχιση του ψηφιδωτού μοντέλου με τα πραγματικά όρια της περιοχής μελέτης (εικόνα 46, αριστερά). Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, χρησιμοποιήθηκε εργαλείο περιστροφής ψηφιδωτών δεδομένων για κάθε επιφάνεια raster (εικόνα 46, δεξιά), όπου το ψηφιδωτό αρχείο raster περιστράφηκε βάση της αρχικής διεύθυνσης του Βορρά. Τέλος, τα ψηφιδωτά αυτά αρχεία που δημιουργήθηκαν στην ενότητα 3.4.3, μετατράπηκαν σε σημειακά. Έτσι η κάθε κυψέλη $dx=dy=dz=2m$ αποτελείται από μια σημειακή οντότητα που φέρει την θεματική πληροφορία που γίνει η σύνδεση (όπως φαίνεται και παραπάνω στο σκίτσο απεικόνισης, εικόνα 45)



Εικόνα 46: Παράδειγμα αποτελεσμάτων, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την περιστροφή του ψηφιδωτού αρχείου δημιουργίας για την σύνδεση με τις γραμμικές οντότητες.

Έτσι, βάσει των γραμμικών ορίων του κάθε κτιρίου και των σημειακών οντοτήτων που φέρουν τη θεματική πληροφορία μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνδεση της πληροφορίας αυτής για κάθε ύψος, 2m με τις γραμμικές οντότητες των ορίων. Τέλος, μέσω της χαρτογραφικής υπέρθεσης και της χωρικής σύνδεσης (spatial join), έγινε η σύνδεση της περιγραφικής πληροφορίας που φέρουν οι σημειακές οντότητες ανά 2m με την γραμμική οντότητα της κάθε πλευράς των κτιρίων της περιοχής μελέτης. Έτσι, η γεωχωρική βάση δεδομένων θα περιλαμβάνει για κάθε γραμμική οντότητα το μέσο όρο του συνόλου των εξωτερικών σημειακών οντοτήτων που βρίσκονται πλησίον της, ώστε η πληροφορία που θα συνδεθεί να μην περιλαμβάνει τα εσωτερικά χαρακτηριστικά του κάθε κτιρίου, αλλά μόνο τα εξωτερικά. Γι' αυτό τον λόγο, προτού επιλεγεί η ιδιότητα «within a distance» με ακτίνα 2m επιρροής για να γίνει η σύνδεση, ορίζεται αν επιθυμείτε από τον χρήστη, ανάλογα την μεταβλητή σύνδεσης, η συνθήκη «query» σε SQL, όπου επιλέγει τις επιθυμητές σημειακές οντότητες προς σύνδεση. Για παράδειγμα, όταν η παράμετρος σύνδεσης είναι η θερμοκρασία, χρειάζεται αν αποκλείονται οι τιμές της θερμοκρασίας που εμφανίζονται εντός των ορίων των κτιρίων καθώς δεν αποτελούν εξωτερική θερμοκρασία του χώρου.

Τέλος, ο όγκος της πληροφορίας που συνδέθηκε με τις γραμμικές οντότητες αφορούσε διαφορετική ώρα της ημέρα, διαφορετική θεματική πληροφορία σύνδεσης των μικροκλιματικών παραγόντων (θερμοκρασία, υγρασία, θερμικούς δείκτες), διαφορετικές τιμές μικροκλιματικών παραγόντων για κάθε μοντέλο (εναλλακτικά μοντέλα βλάστησης), αλλά και διαφορετικό ύψος πληροφορίας (18 επίπεδα ανά 2m, εκτός των 5 πρώτων, όπως αναφέρθηκε). Γι' αυτό τον λόγο, για καλύτερη και ευκολότερη διαχείριση και οργάνωση του όγκου των δεδομένων χρειάστηκε να δημιουργηθούν διαγράμματα ροής – επαναληπτικής διαδικασίας – «Iterate» (εικόνα) όπου θα αυτοματοποιείται η διαδικασία σύνδεσης κάθε φορά με την ανάλογη πληροφορία. Έτσι, δημιουργείται μια εκτενείς τρισδιάστατη γεωχωρική βάση δεδομένων, που φέρει τα διαφορετικά μικροκλιματικά χαρακτηριστικά εξωτερικών συνθηκών κάθε πλευράς κτιρίου, για κάθε διαφορετικό ύψος πληροφορίας (ανά 2m).



Εικόνα 47: Διάγραμμα ροής επαναληπτικής διαδικασίας, για τη δημιουργία τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων

3.4.5 3D Οπτικοποίηση δεδομένων

Η οπτικοποίηση των δεδομένων της τρισδιάστατης βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε, θα γίνει μέσα από το Arc-Scene. Με την οπτικοποίηση θα μπορεί να γίνει καλύτερη αποτύπωση του πραγματικού χώρου αλληλεπίδρασης μεταξύ του δομημένου περιβάλλοντος και των εξωτερικών συνθηκών, τόσο της υφιστάμενης κατάστασης μικροκλιματικών παραγόντων όσο και των εναλλακτικών μοντέλων αυτής, που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Τα δεδομένα της «τρειςδιάστατης βάσης δεδομένων» που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο επίπεδο φέρουν πληροφορία για το σύνολο των γραμμικών οντοτήτων κάθε πλευράς των κτιρίων, ανά ζώνες πληροφορίας ύψους $dz=2m$ (πλην των χαμηλότερων στρωμάτων πληροφορίας που χωρίζονται ανά $dzs=0.2*dz$ και αποτελεί το επίπεδο κίνησης του ανθρώπου). Η οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών θα γίνει σε επίπεδο λεπτομέρειας *LOD 1*, βάσει του διαχωρισμού των επιπέδων που αναλύθηκε στην ενότητα 3.1.3. Έτσι, θα αποδοθεί μόνο ο κύριος όγκος τους που φέρει τη διαφοροποίηση της θεματικής πληροφορίας ανά 2m.

4.1 Χρήση της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης

Η σύνδεση αυτή και η δημιουργία της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων θα λειτουργήσει ως εργαλείο για τη διαχείριση δεδομένων που συνδέονται και αφορούν το κτίριο, ως οντότητα. Κάθε κτίριο περιγράφεται τόσο από διαφορετικά εξωτερικά χαρακτηριστικά όσο και από εσωτερικά, που επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης του ανθρώπου. Παράλληλα, κάθε κτίριο ως οντότητα περιγράφεται από τρεις διαστάσεις στο χώρο, με την τρίτη διάσταση να αποτελεί το ύψος του. Έτσι, οι συνθήκες που αναπτύσσονται γύρο από αυτό, διαφέρουν τόσο κατά ύψος όσο και κατά πλευρά όψης του. Μέσω του λογισμικού Envi-met εξετάζεται, λοιπόν, η αλληλεπίδραση του αστικού περιβάλλοντος, (λαμβάνοντας υπόψη την αστική μορφολογία), σε σχέση με τους παράγοντες που διαμορφώνουν το αστικό μικροκλίμα (πεδίο ακτινοβολίας, ροή ανέμου, θερμοκρασία – υγρασία).

Παράλληλα, στην Αθήνα, όπως αναφέρθηκε, η εξωτερική θερμοκρασία τους θερινούς μήνες σημειώνει, τα τελευταία χρόνια, μεγάλη αύξηση, που σημαίνει ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη εκείνη την περίοδο είναι αντιστοίχως μεγάλες. Ενώ αυτή η αυξανόμενη ζήτηση για κατανάλωση ενέργειας για ψύξη των κτιρίων, ως αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής αύξησης των τελευταίων χρόνων, έχει οδηγήσει στην αλλοίωση της κλιματικής ποιότητας στο αστικό μικροκλίμα. Αυτό εξάλλου διαπιστώνεται μέσω των κλιματικών δεδομένων που αναλύθηκαν για την περιοχή μελέτης, όπου τη 24^η Ιουλίου 2016 η θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον σημείωσε μέγιστη τιμή 37,4°C. Ταυτόχρονα, το φαινόμενο της αστικοποίησης οδήγησε στην συνεχόμενα αυξανόμενη δόμηση του περιβάλλοντος και τον περιορισμό των πράσινων χώρων. Τα δομικά αυτά υλικά των κτιρίων ενισχύουν παρά περιορίζουν την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω των ιδιοτήτων κάθε υλικού να επανεκπέμπει την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία ως θερμική ακτινοβολία, μεταβάλλοντας το θερμικό ισοζύγιο του αστικού χώρου. Η αύξηση λοιπόν της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, έχει δημιουργήσει αρνητικό αποτύπωμα στο αστικό περιβάλλον, υποβαθμίζοντας συνεχόμενα της συνθήκες θερμικής άνεσης των ανθρώπων.

Έτσι, η αναγκαιότητα για προσαρμογή του αστικού περιβάλλοντος στα ακραία αυτά φαινόμενα είναι απαραίτητη για να συνεχίζουν τα αστικά περιβάλλοντα να αναπτύσσονται με βιώσιμο τρόπο. Στόχος είναι η βελτίωση των συνθηκών άνεσης, ο περιορισμός φαινομένων όπως η Αστική Θερμική Νησίδα και η ασφάλεια των πόλεων, η αλληλεπίδραση και συνύπαρξη φυσικού και ανθρώπινου παράγοντα με κίνητρο τη βιωσιμότητα και την δημιουργία ανθεκτικών πόλεων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχει ως στόχο την μείωση του αρνητικού αυτού αποτυπώματος χρήσης

διαφόρων τεχνικών, όπως αναλύθηκε στην ενότητα 1.6. Η ανάπλαση του εξωτερικού περιβάλλοντα χώρου με την διευθέτηση των παραγόντων που επηρεάζουν το μικροκλίμα (Ενότητα 2.4), αποτελεί βάση του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Επιπλέον, η ενσωμάτωση χώρων πρασίνου στο αστικό ιστό, μέσω σχεδιασμού (ενότητα 2.5), αποτελεί τρόπο μετριασμού του αρνητικού αυτού αποτυπώματος στο περιβάλλον. Η βλάστηση μπορεί παρεμβατικά να αξιοποιήσει και να διευθετήσει τους παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα της περιοχής, ώστε να γίνεται η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των διαθέσιμων φυσικών πόρων και η βελτίωση των αστικών μικροκλιματικών συνθηκών.

Η αντιμετώπιση και προσαρμογή στα αστικά αναπτυσσόμενα προβλήματα δημιουργεί την ανάγκη διαχείρισης του τοπικού – αστικού μικροκλίματος. Η δημιουργία της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων, έχει ως στόχο την σύνδεση των κτιρίων αστικού περιβάλλοντος, με πληροφορία που σχετίζονται με αυτά. Η πληροφορία σύνδεσης, στην υποκείμενη μελέτη, αποτελείται από διαφορετικά σενάρια συμβολής της βλάστησης στο αστικό μικροκλίμα. Ουσιαστικά, εξετάζεται κατά πόσο η βλάστηση μπορεί ως βιοκλιματικός παράγοντας, να συμβάλει στην βελτίωση του αστικού μικροκλίματος, μεταβάλλοντας τους παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα (ηλιακή ακτινοβολία, ροή ανέμου, θερμοκρασία – υγρασία). Συγκεκριμένα, στη μελέτη αναλύεται πως η θερμοκρασία του αέρα κατανέμεται στο τρισδιάστατο χώρο αλλά και πως η μεταβολή της, μέσω της συμβολής του αστικού πρασίνου, μπορεί να βελτιώσει της συνθήκες θερμικής άνεσης στο χώρο. Ενώ παράλληλα πρέπει να επισημανθεί, ότι κύριος παράγοντας διαμόρφωσης της θερμικής άνεσης στο χώρο είναι η θερμοκρασία του αέρα, αλλά όχι και ο μοναδικός (2.3). Γι'αυτό πρέπει να μην αξιολογείται απόλυτα η διαφοροποίηση της θερμικής άνεσης βάσει μόνο της θερμοκρασιακής κατανομής του αέρα.

Έτσι σε πρώτο στάδιο, τα αποτελέσματα προσομοίωσης του μικροκλίματος που δημιουργήθηκαν προηγουμένως, μέσω του λογισμικού Envi-met, μετατρέπονται σε μορφή συμβατή με τα ΓΣΠ, ώστε να γίνει καλύτερη διαχείριση της πληροφορίας. Τα αποτελέσματα αφορούν πληροφορία αστικού μικροκλίματος της υφιστάμενης κατάστασης, που σχετίζεται με την ανάλυση μικρής κλίμακας αλληλεπιδράσεων, μεταξύ των στοιχείων του αστικού σχεδιασμού (κτίρια, δρόμοι, βλάστηση κ.α.) και του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία κ.α.), χρήση τρισδιάστατου μοντέλου. Ενώ σε δεύτερο στάδιο γίνεται μελέτη επίδρασης του αστικού πρασίνου στα μικροκλιματικά αυτά χαρακτηριστικά της υφιστάμενης περιοχής, μέσω δημιουργίας εναλλακτικών μοντέλων πρόσθετης βλάστησης. Τα μοντέλα βλάστησης αναλύονται εκτενώς στην επόμενη ενότητα (4.2).

Έτσι, μέσω της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων γίνεται η σύνδεση της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα, όπως διαμορφώνεται στην υφιστάμενη κατάσταση αστικού μικροκλίματος και των εναλλακτικών μοντέλων βλάστησης

αυτού, με την κάθε όψη κτιρίου. Η κάθε όψη αποτελεί διαφορετική μοναδιαία οντότητα, μέρος του συνολικού κτιρίου. Η πληροφορία για τη κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα στο τρισδιάστατο χώρο σχεδίασης, αποτελεί την τρισδιάστατη πληροφορία που θα φέρει η γεωχωρική βάση δεδομένων.

Το ύψος των κτιρίων, όπως αναλύθηκε στην 3.4.4, χωρίζεται σε 18 ζώνες κάθετης διαστρωμάτωσης, όπου η κάθε ζώνη περιλαμβάνει το μέσο όρο της θερμοκρασιακής τιμής του αέρα. Τέλος, η ανάλυση θα μπορούσε να διαφοροποιείται και ως προς την χρονική παράμετρο, σύνδεσης δεδομένων. Καθώς, η φέρουσα πληροφορία αντιστοιχεί στο χρονικό άξονα κάθε μια ώρα για την 24^η Ιουλίου 2016. Όμως, η περίπτωση ανάλυσης στην μελέτη αυτή επικεντρώνεται στη θερμότερη στιγμή της ημέρας, δηλαδή στις 14:00 όπου. Στο μοντέλο προσομοίωσης και κοντά στην επιφάνεια του κτιρίου για αυτή την χρονική στιγμή, σημειώνεται ότι η μέγιστη πιθανή θερμοκρασιακή τιμή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι 39,69 °C, ενώ το εύρος χωρικής διακύμανσης της μεταξύ των άλλων κτιρίων είναι 36,26 °C - 39,69 °C.

4.2 Δημιουργία εναλλακτικών μοντέλων βλάστησης

Η βλάστηση, ως τρόπος παρέμβασης στο αστικό περιβάλλον μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού, αξιοποιεί τους φυσικούς παράγοντες που διαμορφώνουν το μικροκλίμα, προς όφελος του ανθρώπου αλλά και του περιβάλλοντος. Το αστικό πράσινο, όπως αναφέρθηκε μπορεί να αλλάξει την υφιστάμενη κλιματική κατάσταση του αστικού περιβάλλοντος, ευνοώντας τη θερμική κατάσταση του χώρου και μειώνοντας την επικρατούσα θερμοκρασία τους θερινούς μήνες, μέσω του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής. Η αξιοποίηση του αστικού πρασίνου αποτελεί σημαντικό παράγοντα παρέμβασης στις πόλεις (ενότητα 2.5) που βοηθά, μέσα από το έντονο προφίλ της αστικοποίησης με την επέκταση του δομημένου περιβάλλοντος, στο φυσικό δροσισμό των πόλεων, στην ακουστική άνεση, στην αισθητική βελτίωση, στην μείωση ενεργειακών αναγκών των κτιρίων αλλά και στο περιορισμό αστικών φαινομένων. Έτσι, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός με το «πρασίνισμα» των πόλεων θέτει τις βάσεις για βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα της πόλης, ενάντια στα ακραία κύματα καύσωνα και των αστικών φαινομένων όπως το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας.

Συνεπώς, η δημιουργία αυτών των εναλλακτικών μοντέλων βλάστησης για την περιοχή μελέτης, έχει ως κύριο στόχο την μελέτη για βελτίωση του αστικού μικροκλίματος της υφιστάμενης κατάστασης (βάσει των αποτελεσμάτων της πρώτης προσομοίωσης). Ενώ παράλληλα, η γεωχωρική βάση δεδομένων, με σύνδεση της εξωτερικής θερμοκρασίας για κάθε κτίριο ξεχωριστά, χρησιμεύει στη μελέτη του ποσοστού βελτίωσης των ατμοσφαιρικών συνθηκών μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων μικροκλίματος. Με αποτέλεσμα, η όποια περαιτέρω – μελλοντική

παρέμβαση στην πόλη θα μπορεί να αναλυθεί σε σύγκριση με τα δεδομένα που θα φέρει η δομή αυτής της τρισδιάστατης γεωχωρικής βάσης δεδομένων.

Οι παράγοντες που αναλύθηκαν στην μελέτη αυτή, αφορούν την θερμοκρασία της περιοχής μελέτης για κάθε μοντέλο καθώς και τη θερμική άνεση που δημιουργείται βάσει των διαμορφωμένων συνθηκών. Η θερμική άνεση υπολογίζεται μέσω του δείκτη θερμικής άνεσης στο λογισμικό Envi-met (ενότητα 3.4.2), που λαμβάνει υπόψη τόσο τους παράγοντες που δημιουργούνται στο αστικό μικροκλίμα (θερμοκρασία του αέρα, τη ταχύτητα του αέρα, τη σχετική υγρασία), όσο και ανθρώπινους παράγοντες, όπως το επίπεδο ρουχισμού και το επίπεδο δραστηριότητας του ανθρώπου στο περιβάλλοντα χώρο.

Συγκεκριμένα, τα εναλλακτικά μοντέλα βλάστησης που δημιουργήθηκαν ήταν, ένα της υφιστάμενης κατάστασης (εικόνα) στο αστικό χώρο, και δύο με παρέμβαση αστικού πρασίνου σε αυτό. Τα μοντέλα «πράσινης» παρέμβασης αφορούν το μοντέλο φύτευσης στη στέγη του κτιρίου (εικόνα) και το μοντέλο ενίσχυσης της υπάρχουσας φύτευσης στους δρόμους της περιοχής μελέτης (εικόνα). Η προσομοίωση για τα δύο εναλλακτικά μοντέλα φύτευσης, έγινε βάσει τις μικροκλιματικές συνθήκες που ορίστηκαν στο μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης. Με αυτό τον τρόπο, έπειτα, έγινε και η σύγκριση των διαφόρων μοντέλων αλλά και ο υπολογισμός του ποσοστού βελτίωσης των παραγόντων που διαμορφώνουν το αστικό μικροκλίμα.

Όσον αφορά τον σχεδιασμό αστικού πρασίνου των μοντέλων, έγινε βάσει επιτόπιας αυτοψίας στη περιοχή μελέτη με αναγνώριση της βλάστησης. Ενώ, η αποτύπωση στο τρισδιάστατο χώρο έγινε κατά προσέγγιση λόγω των περιορισμών που δίνει η βάση δεδομένων του λογισμικού Envi-met. Συνεπώς, στόχος αποτελεί η αξιολόγηση της συμβολής αστικού πρασίνου στο χώρο και όχι η ακριβείς μοντελοποίηση του. Σε κάθε περίπτωση όμως χρησιμοποιήθηκαν αστικά δέντρα (συγκεντρωτικός πίνακας παραρτήματος) που αποτυπώνονται συχνά στο αστικό ανάγλυφο. Στο μοντέλο φύτευσης της στέγης, χρησιμοποιήθηκε χαμηλή βλάστηση (50cm), αλλά και μερικοί διάσπαρτοι φράκτες ύψους 2m με κάποιους θάμνους ενδιάμεσα, ως την μέγιστη δυνατή τοποθέτηση πρασίνου σε αυτά τα κτίρια (εικόνα 49). Ενώ η κάλυψη έγινε μόνο σε κτίρια επίπεδης οροφής – ταράτσας που μπορούν να αξιοποιηθούν για τον λόγο αυτόν. Ενώ ο σχεδιασμός στο μοντέλο με την παρόδια φύτευση έγινε βάσει αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της υφιστάμενης κατάστασης αλλά και αρχών που θέτει ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός. Συνεπώς, στόχος για την βελτίωση της κλιματικής ποιότητας τους θερινούς μήνες, στη υπό μελέτη περιοχή, είναι να προστατευθεί η περιοχή από την ηχορρύπανση και την αυξημένη θερμοκρασία που ο αυτοκινητόδρομος στα νότια προκαλεί, ενώ παράλληλα να αξιοποιηθεί η ένταση του ανέμου που δημιουργείται εκεί, ως ανοικτός – ανεμπόδιστος χώρος κίνησης αυτού. Η ένταση του αέρα είναι θεμιτή το καλοκαίρι με την ιδιότητα του φυσικού δροσισμού στο χώρο. Παράλληλα, η γενικότερη αρχή του βιοκλιματικού

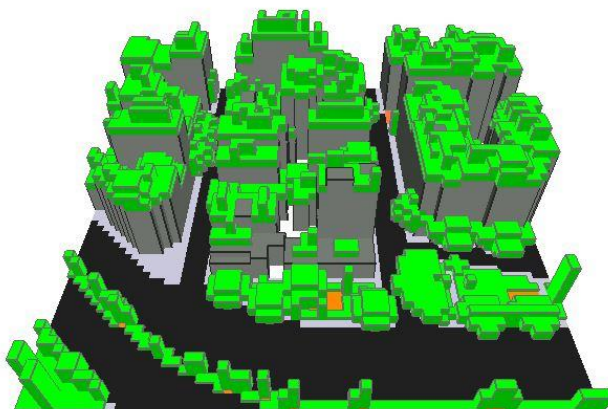
σχεδιασμού θέτει ότι η Νότια πλευρά του κτιρίου πρέπει να χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση, ενώ αντίθετα η Βόρεια για προστασία από τους ανέμους και ανάσχεση της θερμότητας. Συνεπώς, νότια της περιοχής μελέτης χρειάζεται βλάστηση (φυλλοβόλα δένδρα) όπου το καλοκαίρι με τις ιδιότητες τους θα μειώνουν την θερμοκρασία του εδάφους τόσο λόγο σκίασης, όσο και λόγω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής ενώ ταυτόχρονα θα κατευθύνουν τον άνεμο προς το εσωτερικό των δευτερεύων δρόμων. Βάσει Βιοκλιματικού Σχεδιασμού, τρόπος παρέμβασης για την διευθέτηση της ροής του ανέμου είναι η δημιουργία συστάδων φυτών ομοίου ύψους. Ενώ για την μείωση του θορύβου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης χρησιμοποιούνται συστάδες με διαφορετικά ύψη. Συνεπώς ο σχεδιασμός πρέπει να είναι εντοπισμένος για το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Βάσει των παραπάνω, στην νότιο-δυτική και ανατολική πλευρά τοποθετήθηκε φύτευση, μεγάλου ύψους δένδρων, που μειώνουν την θερμοκρασία του εδάφους (σκίαση), εξασφαλίζουν ηχοπροστασία και προστασία από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ενώ στους δρόμους κοντά στα κτίρια χρησιμοποιήθηκε χαμηλότερου ύψος βλάστησης φυλλοβόλων δένδρων. Αειθαλή δένδρα τοποθετήθηκαν κυρίως στο βόρειο τμήμα της περιοχής.

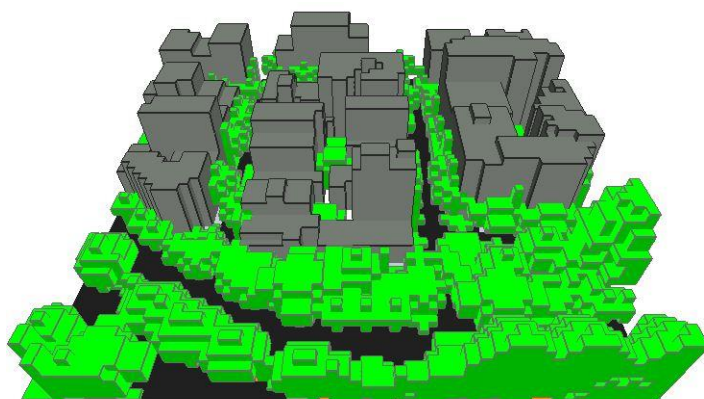
**Εικόνα 48: Μοντέλο υφιστάμενης κατάστασης
στο περιοχή μελέτης (Μοντέλο 1)**



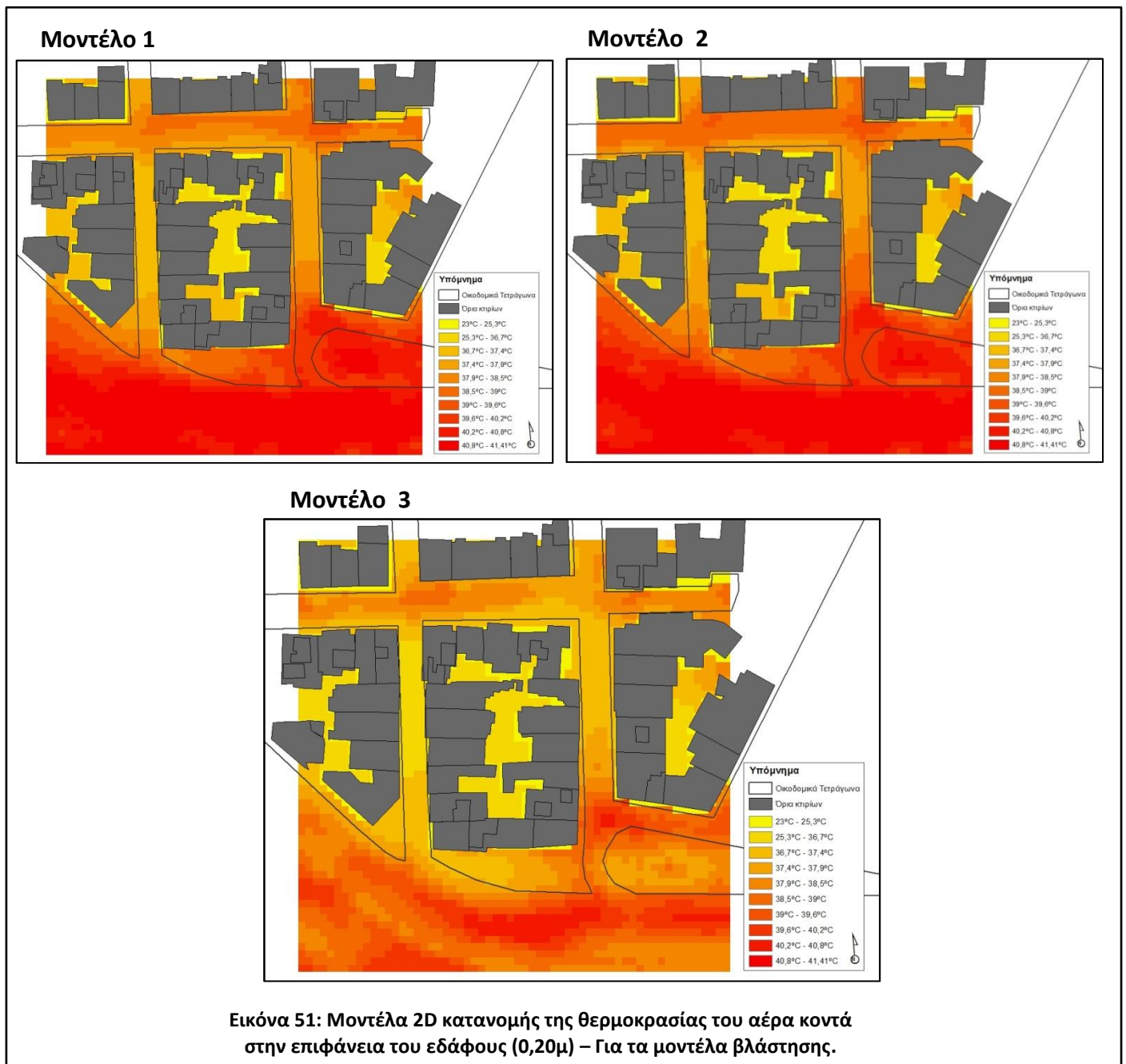
**Εικόνα 49: Μοντέλο υφιστάμενης κατάστασης
με φύτευση στην στέγη κάθε κτιρίου (Μοντέλο 2)**



**Εικόνα 50: Μοντέλο υφιστάμενης κατάστασης
με πρόσθετη φύτευση στους δρόμους
της περιοχής μελέτης. (Μοντέλο 3)**



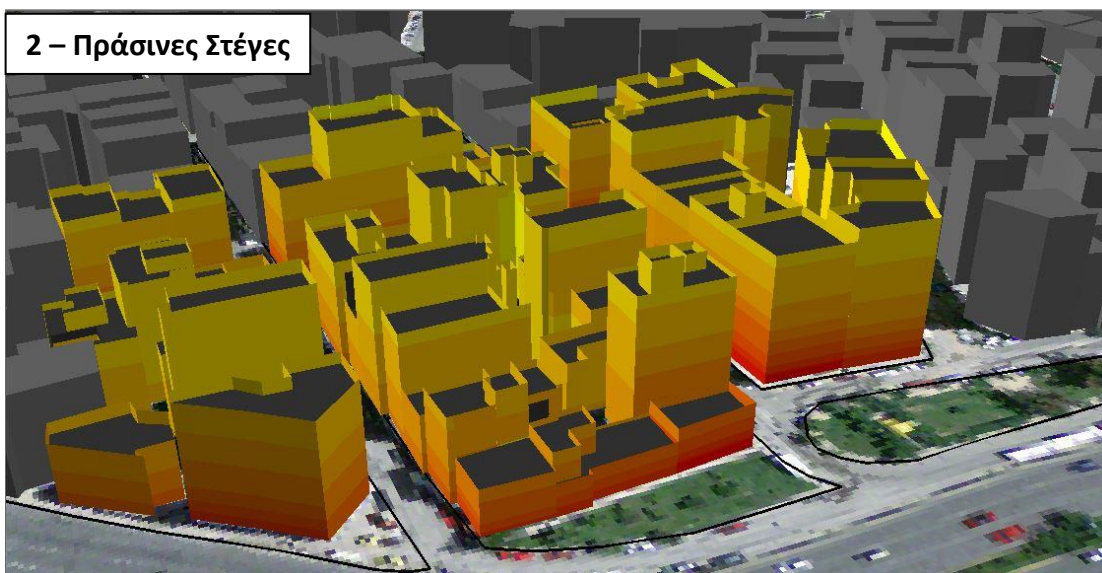
4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων



1 – Υφιστάμενη Κατάσταση



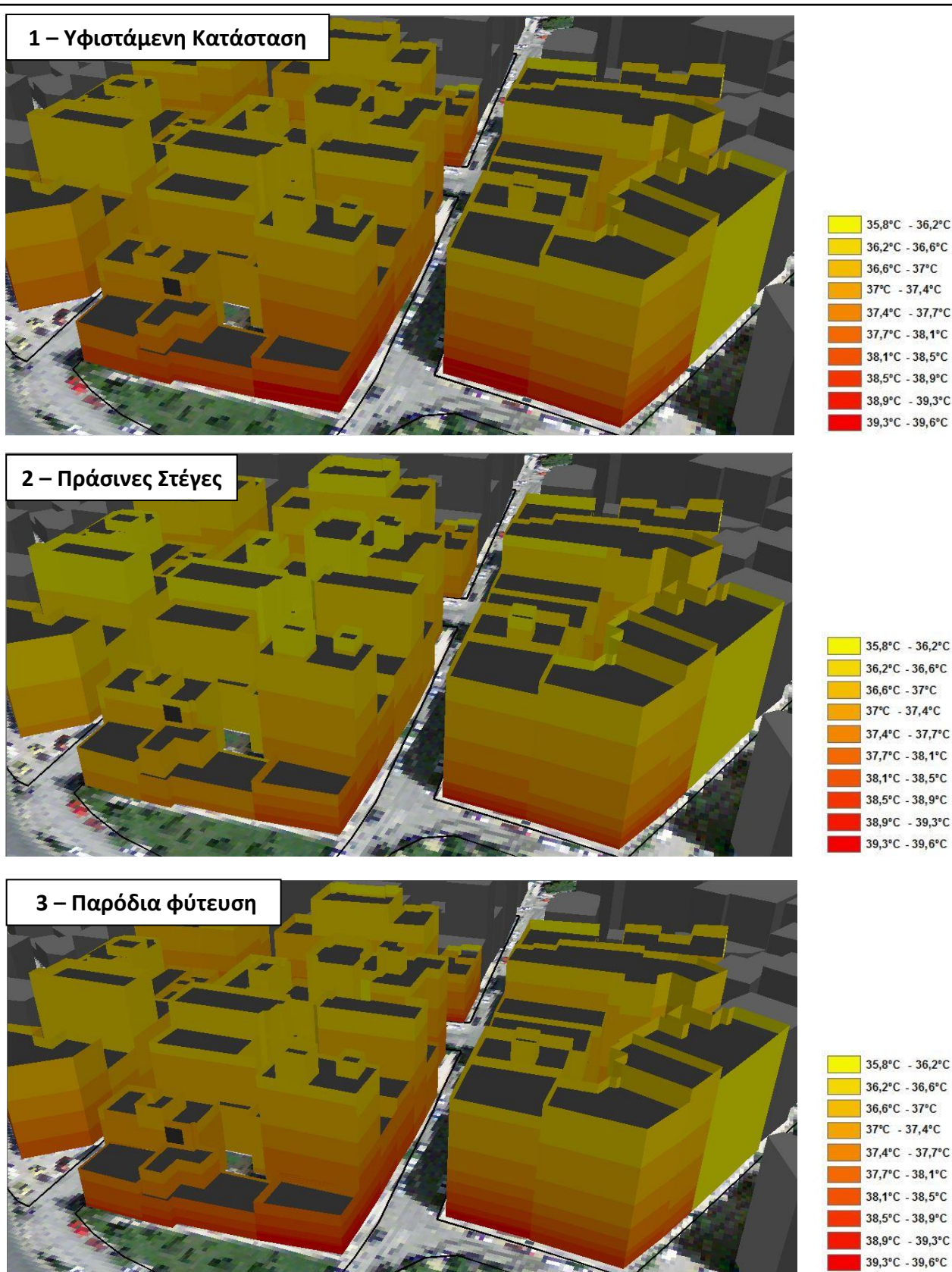
2 – Πράσινες Στέγες



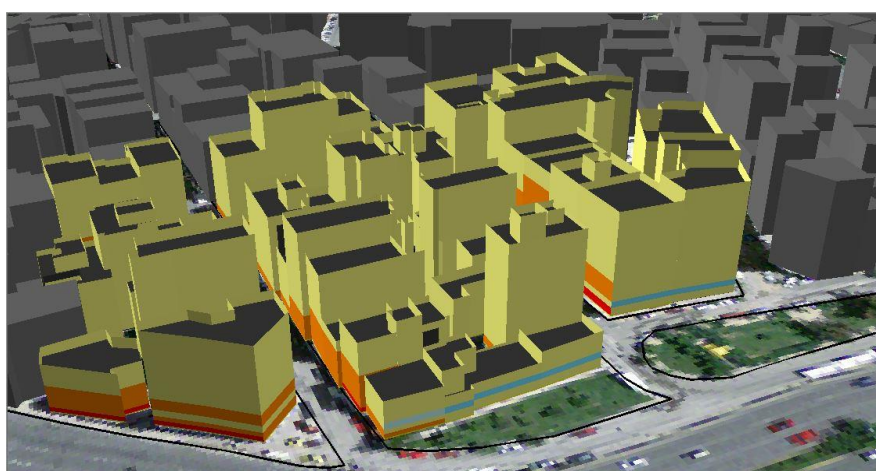
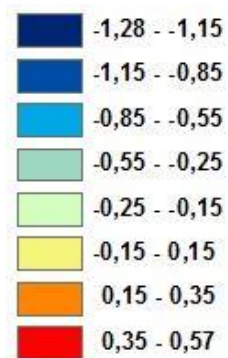
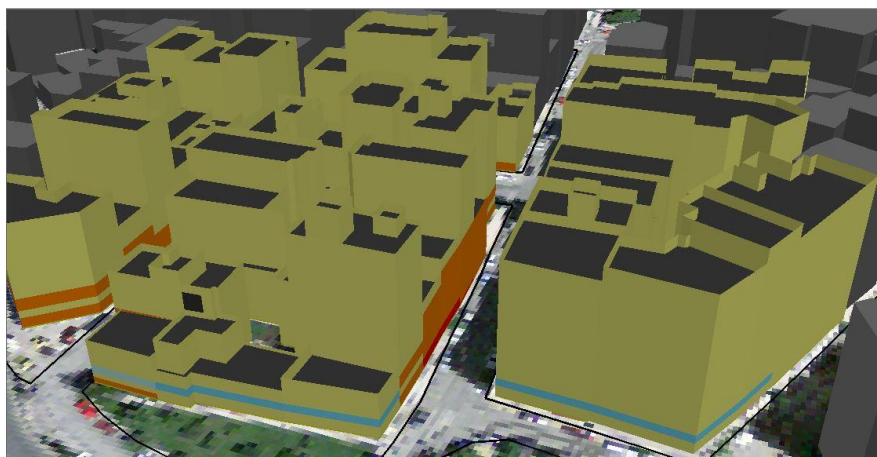
3 – Παρόδια φύτευση



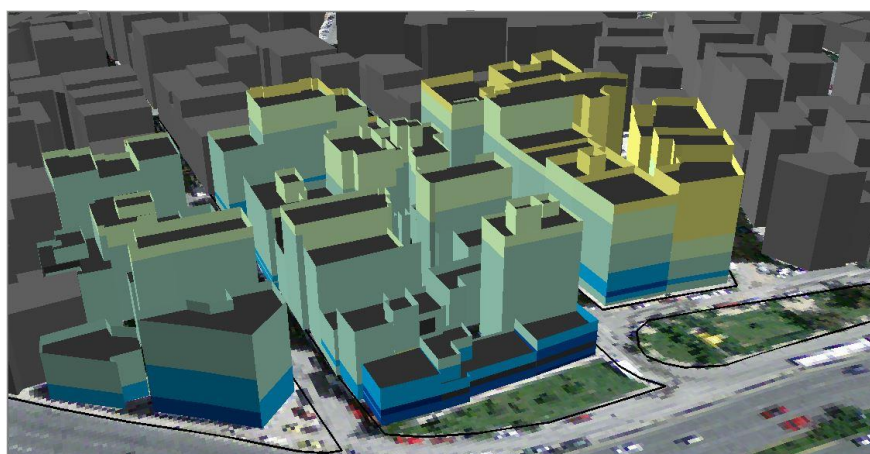
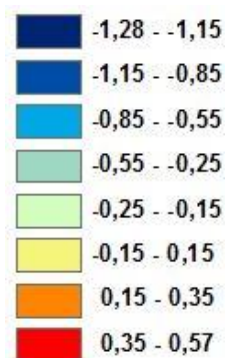
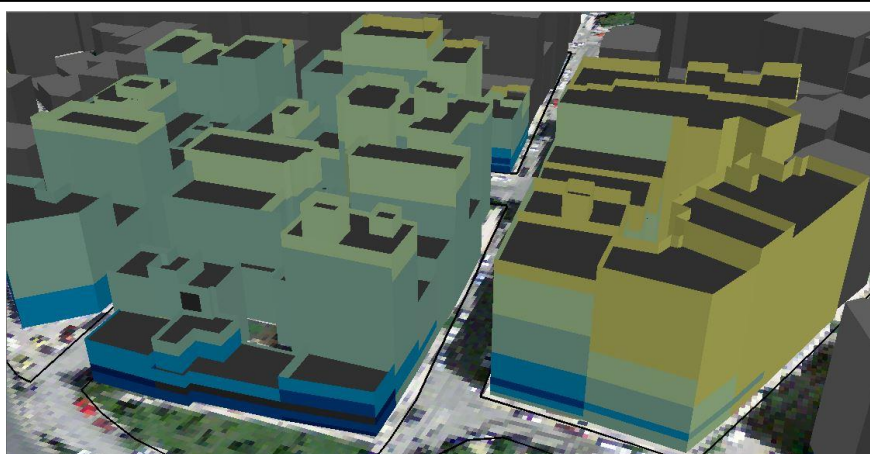
Εικόνα 52: 3D Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα για τα μοντέλα βλάστησης (Όψη Ι)



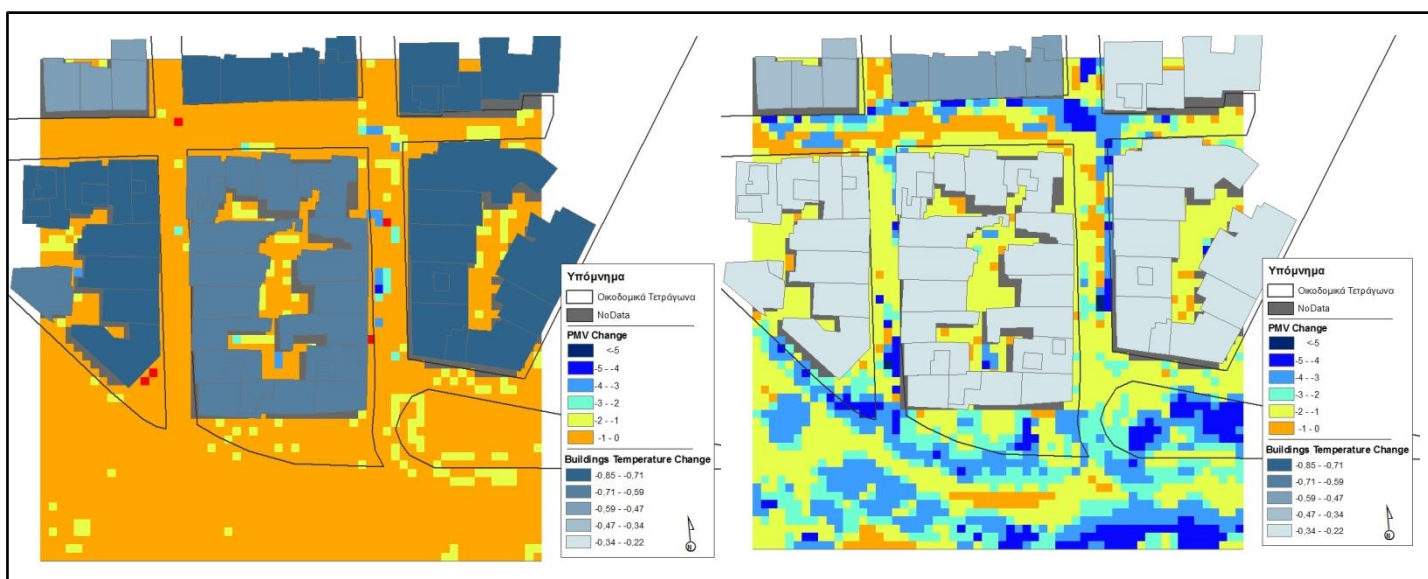
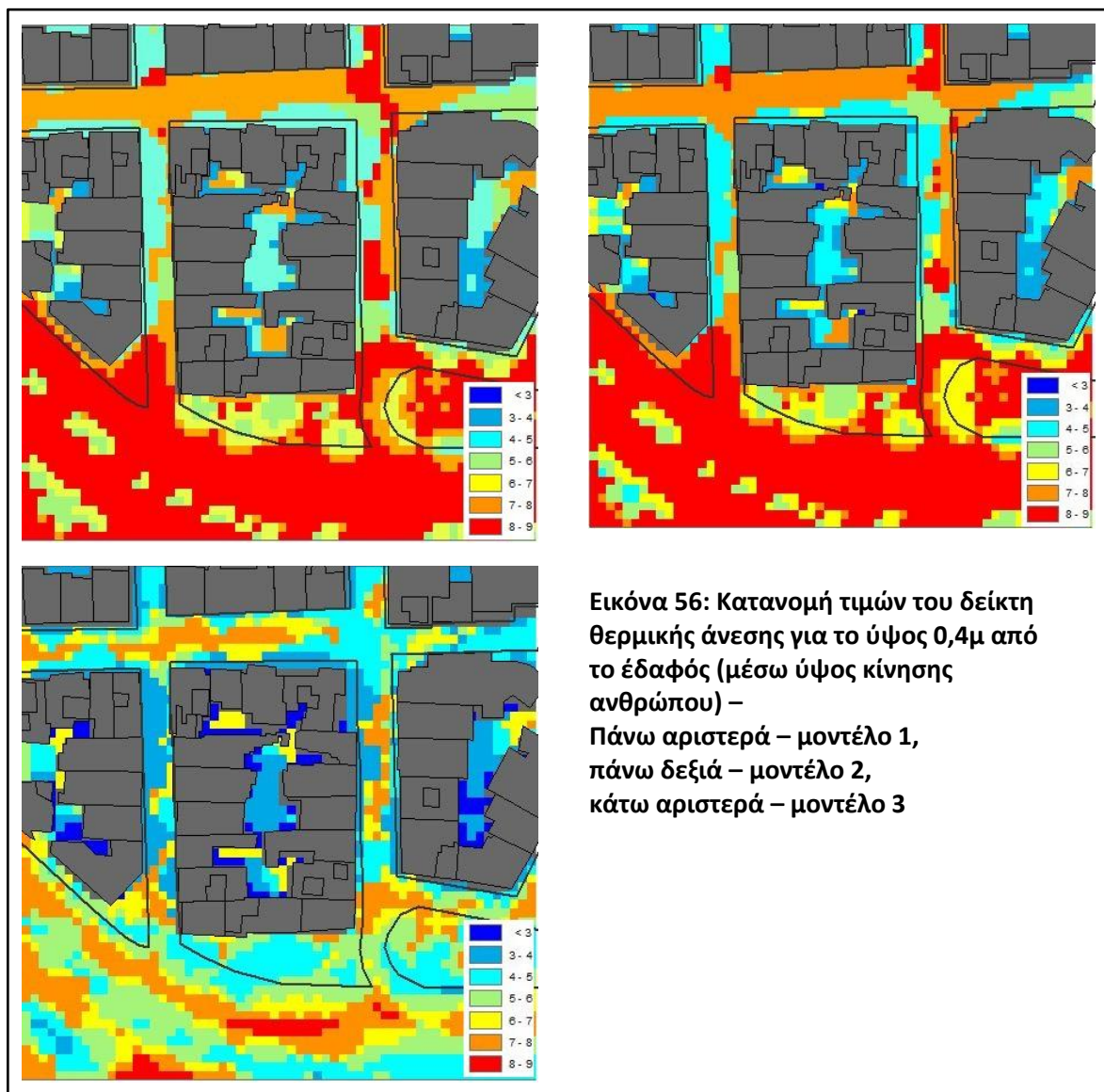
Εικόνα 53: 3D Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα για τα μοντέλα βλάστησης (Όψη II)



Εικόνα 54:
Θερμοκρασιακή
διαφορά
Μοντέλων 2 & 1



Εικόνα 55:
Θερμοκρασιακή
διαφορά
Μοντέλων 3 & 1



Συμπεράσματα

Η μοντελοποίηση παραγόντων του αστικού μικροκλίματος, σε πυκνοκατοικημένη συνοικία του δήμου Αθηνών, οδήγησε σε ένα πλήθος συμπερασμάτων σχετικά με τεχνικής φύσεως χαρακτηριστικά του υπό μελέτη μοντέλου, όσο και γενικής φύσεως χαρακτηριστικά, που αφορούν γενικά το σχεδιασμό και την συμβολή της βλάστησης στο χώρο. Ενώ παράλληλα, στην αξιολόγηση συμπεριλαμβάνεται και η αξία – χρησιμότητα ενός τέτοιου μοντέλου, ως πιλοτική βάση για επέκταση. Παρ' όλα αυτά κρίνεται αναγκαίο να τονιστεί ότι βασική κατεύθυνση αξιολόγησης κάθε χώρου είναι η πολυπλοκότητα του αστικού μικροκλίματος, εφόσον βάσει αυτού διαμορφώνονται και τα προβλήματα στον αστικό χώρο.

Συνεπώς, βάσει των αποτελεσμάτων της υπό μελέτη περιοχής και βάσει της θεωρίας του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού διατυπώνεται, εύλογα, το όφελος της ανάπλασης του χώρου με τη χρήση του αστικού πρασίνου. Συγκεκριμένα, μέσω των εναλλακτικών μοντέλων δημιουργίας, για την αξιολόγηση του αστικού πρασίνου, είναι φανερό η αναμενόμενη αλλαγή του ενεργειακού ισοζυγίου στο χώρο αλλά και η βελτίωση των συνθηκών άνεσης σε αυτό. Βάσει των μοντέλων προσομοίωσης για την θερμότερη ημέρα και ώρα του Ιουλίου (24^η Ιουλίου 2016, ώρα 14:00) φαίνεται ότι η προσθήκη βλάστησης στο χώρο μπορεί να επηρεάσει μόνο θετικά το αστικό περιβάλλον, μειώνοντας την αυξημένη αυτή θερμοκρασία της περιοχής την εν λόγω ημέρα. Για την καλύτερη αξιολόγηση των μικροκλιματικών παραμέτρων, όπως αυτά έχουν διαμορφωθεί λόγω των υφιστάμενων συνθηκών αλλά και λόγω πράσινης ανάπλασης του χώρου, χρησιμοποιείται ο θερμικός δείκτης. Ο θερμικός δείκτης, όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, δεν προσδιορίζεται μόνο από την θερμοκρασία του αέρα, η οποία εξετάζεται στο μοντέλο αυτό.

Όπως η θερμοκρασία, έτσι και η θερμική άνεση ως παράγοντας αξιολόγησης της ποιότητας του αστικού μικροκλίματος φαίνεται να βελτιώνεται στα μοντέλα πράσινης ανάπλασης. Το μοντέλο της παρόδιας φύτευσης έναντι αυτού της φύτευσης οροφής κάθε κτιρίου, φαίνεται να υπερτερεί και να είναι αυτό που συμβάλει στην μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας των κτιρίων. Αντίθετα, στις φυτεμένες οροφές οι εξωτερικές τιμές της θερμοκρασίας του κτιρίου παραμένουν σχεδόν σταθερές. Ενώ αυτό που φαίνεται να προκαλούν οι φυτεμένες οροφές είναι, τη μείωση της θερμοκρασίας του ίδιου του κτιρίου, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη αυτού. (εικόνα 57) Ωστόσο, το ότι ο θερμικός δείκτης δεν επηρεάζεται μόνο από την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, αλλά είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων φαίνεται στην δυσδιάστατη απεικόνιση του χώρου στο επίπεδο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (εικόνα 56). Στο τρισδιάστατο χώρο απεικόνισης της εξωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου παρατηρείται ότι η θερμοκρασία για όλα τα μοντέλα, μειώνει ανάλογα με το ύψος

κατανομής της. Αυτό γιατί οι τιμές της θερμοκρασίας που αναπτύσσονται κοντά στο έδαφος είναι πάντα μεγαλύτερες, λόγω θερμικής ιδιότητας του εδάφους να κρατά περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και να την επανεκπέμπει ως θερμική ακτινοβολία. Αυτό μάλιστα, εντός του δομημένου περιβάλλοντος, ενισχύεται με την χρήση των κοινών υλικών εδαφοκάλυψης αστικού χαρακτήρα. Συνεπώς, ο λόγος μείωσης της θερμοκρασίας των κτιρίων με φυτό – καλυμμένες οροφές είναι η ιδιότητα της βλάστησης να απορροφά μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, η βλάστηση αξιολογείται ως χρήσιμος τρόπος εδαφοκάλυψης έναντι των συμβατικών μορφών κάλυψης αστικού περιβάλλοντος, για την επίτευξη συνθηκών άνεσης στον χώρο. Ενώ επίσης, τόσο στο δυσδιάστατο χώρο απεικόνισης (εικόνες 51) όσο και στο τρισδιάστατο, (εικόνες 52, 53) η βλάστηση φαίνεται να μειώνει την θερμοκρασία κοντά στην πρόσοψή του κτιρίου αλλά και στον εσωτερικό ακάλυπτο χώρο των κτιρίων. Ο ακάλυπτος χώρος είναι λογικό να υφίσταται μικρότερες θερμοκρασίες αλλά και καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης (εικόνα 56) λόγω της πολυπλοκότητας του αστικού περιβάλλοντος, όπου αναλύθηκε. Συγκεκριμένα, η σταθερή σκίαση του ακάλυπτου χώρου λόγω του όγκου των κτιρίων δημιουργεί καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης σε σχέση με τις συνθήκες που αναπτύσσονται στον δρόμο.

Όπως προαναφέρθηκε, η τοπική παράμετρος διαμόρφωσης του χώρου αποτελεί και την κύρια κατεύθυνση αξιολόγησης του. Οι συνθήκες που δημιουργούνται στα αστικά περιβάλλοντα δεν μπορούν να γενικευτούν αντιστοίχως και για όλα τα αστικά περιβάλλοντα. Τα τοπικά χαρακτηριστικά που διαμορφώνονται κάθε φορά στο εν λόγω αστικό χώρο ποικίλουν, λόγω τοπικής αστικής ανομοιομορφίας της μορφολογίας. Στην υπό μελέτη περιοχή, συναντώνται χαρακτηριστικά αστικού χώρου που την κάνουν να διαφοροποιείται από αντίστοιχες αστικές περιοχές. Η λεωφόρος Καλλιρρόης αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό που πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη στο σχεδιασμό παρέμβασης του χώρου αυτού, λόγω των προβλημάτων που κάθε αστικός δρόμος μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου δημιουργεί σε πλησίον δομημένο περιβάλλον. Ανάλογα αξιοποιούνται και οι χώροι πρασίνου ανάμεσα στη οδό Καλλιρρόης και του δομημένου χώρου. Οι χώροι αυτοί δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες αστικής ανάπλασης, εφόσον συγκεντρώνουν πλήθος προτερημάτων που ενισχύουν τις συνθήκες άνεσης του περιβάλλοντα χώρου τους. Έτσι, τα τεχνικής φύσεως χαρακτηριστικά της εν λόγω περιοχής αποτελούν και τη βάση του σχεδιασμού για ανάπλαση αυτής. Εντοπισμένα, λοιπόν διαπιστώνονται και τα σχετικά συμπεράσματα του υπό μελέτη μοντέλου λόγω σχεδιασμού. Στο υπό μελέτη μοντέλο φαίνεται ότι η προσθήκη βλάστησης επηρέασε χωρικά και εντοπισμένα την θερμοκρασία. Η βλάστηση που τοποθετήθηκε στους δρόμους ήταν χαμηλού ύψους σε σχέση με το συνολικό ύψος των κτιρίων. Με αποτέλεσμα η μείωση της θερμοκρασίας να διατυπώνεται κυρίως μέχρι τα 7m περίπου από το έδαφος. Ενώ η θερμοκρασιακή κατανομή στο μοντέλο

παρόδιας φύτευσης (εικόνα 55) αφορά περίπου μισό βαθμό μείωσης από αυτή της υφιστάμενης κατάστασης. Σύγκριση μεταξύ του μοντέλου φύτευσης οροφής και υφιστάμενης κατάστασης της επιφανειακής θερμοκρασίας των κτιρίων παρουσιάζει περίπου όμοιες θερμοκρασιακές τιμές για όλο το εύρος του μοντέλου. Βάσει αρχών που θέτει ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός, έγινε χωρικά εντοπισμένα, η τοποθέτηση βλάστησης στην περιοχή μελέτης. Η διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών βλάστησης (αιθαλή – φυλλοβόλα), της πυκνότητας του φυλλώματος, του ύψους τους και της ιδιότητας κάθε είδους να προσφέρει είτε σκίαση, είτε φυσικό δροσισμό, είτε μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης φαίνεται μέσω του σύνθετου δείκτη της θερμικής άνεσης (εικόνα 56,57). Συνεπώς, η διαφοροποίηση της βλάστησης στο αστικό χώρο φαίνεται μέσω του δείκτη θερμικής άνεσης (PMV), για το ύψος 1,4μ που αποτελεί το μέσο ύψος κίνησης του ανθρώπου. Μέσω της σύγκρισης των μοντέλων θερμικής άνεσης, για τη παρόδια βλάστηση και την υφιστάμενη κατάσταση αξιολογείται ο σχεδιασμός της βλάστησης και η χωρική της διαφοροποίηση ανάλογα τα χαρακτηριστικά κάθε είδους. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι νότια της περιοχής η χρήση αρκετών φυλλοβόλων δένδρων πλούσιου φυλλώματος βελτίωσε τις συνθήκες άνεσης, ενώ βόρεια και στους δευτερεύον δρόμους η χρήση αιθαλών δεν βοήθησε σε τόσο μεγάλο βαθμό.

Ως αξιολόγηση αυτού του μοντέλου, η χρήση της δομής του κρίνεται ως μια πιλοτική βάση για επέκταση αυτού. Η αναγκαιότητα διαχείρισης του αστικού χώρου για προσαρμογή στα προβλήματα που δομούν τα αστικά μικροκλίματα δημιουργείται στη βάση της πολυπλοκότητας που φέρει ο αστικός χώρος. Κάθε μελέτη πρέπει να βασίζεται στα τοπικά χαρακτηριστικά ώστε να συμβάλει στην συνολική βελτίωση του αστικού μικροκλίματος και ακολούθως της κλιματικής ποιότητας. Ως επέκταση – προς συζήτηση – του μοντέλου αυτού είναι χώρο – χρονική μελέτη όλως των φυσικών παραγόντων που επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα (θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ροή ανέμου) για όλη την ημέρα αλλά και για διάφορες χρονικές εποχές του έτους. Με αυτό τον τρόπο ο βιοκλιματικός σχεδιασμός με την χρήση της βλάστησής μπορεί να ενισχύσει ανά χρονική περίοδο της φυσικές συνθήκες που δημιουργούνται στην περιοχή προς βελτίωση των συνθηκών άνεσης, εξοικονόμηση ενέργειας για τα κτίρια αλλά και περιορισμό των φαινομένων αστικού μικροκλίματος, όπως το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Η ανάλυση για κάθε μια από αυτές τις παραμέτρους ξεχωριστά δημιουργεί καλύτερη προσέγγιση ανάλυσης του αστικού μικροκλίματος. Με αυτό τον τρόπο εντοπίζεται χωρικά και χρονικά η κατάλληλη πρόταση για παρέμβαση στο ανάλογο χώρο. Επίσης, με τις δυνατότητες που προσφέρονται μέσω των 3D GIS μπορεί να γίνει εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων. Σκέψεις προς ενίσχυση της τρισδιάστατης αυτής γεωχωρικής βάσης δεδομένων είναι ο υπολογισμός της ημερήσιας ηλιοκάλυψης βάση των στοιχείων του αστικού χώρου (κτίρια, βλάστηση), ο υπολογισμός του συντελεστή θέασης του ουρανού (sky view

factor) που σχετίζεται με την θερμοκρασία που αναπτύσσεται μεταξύ των κτιρίων, η γεωμετρική σχέση μεταξύ κτιρίων και δρόμων, ώστε να αξιοποιηθεί ανάλογα η ροή του αέρα μέσα σε αυτούς. Παράλληλα, η τρισδιάστατη γεωχωρική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε για κάθε ζώνη παράλληλη με το έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την συνολική αξιολόγηση του αστικού ιστού (όπως έγινε στην μελέτη αυτή) αλλά και για κάθε κτιριακή οντότητα ξεχωριστά. Σε αυτή την περίπτωση, το κάθε κτίριο θα φέρει διαφορετική πληροφορία, για τα διάφορα επίπεδα ανάλυσης που μπορεί να το επηρεάζουν. Έτσι, με την δημιουργία, οργάνωση και αξιολόγηση των παραγόντων του αστικού μικροκλίματος μπορεί να γίνει σύνδεση των κτιριακών οντοτήτων με στοιχεία που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας αυτών, προς την δημιουργία των «μηδενικής κατανάλωσης κτιρίων». Έτσι, ο Βιοκλιματικός σχεδιασμός χώρων και κτιρίων θα ενισχύσει το προφίλ του αστικού περιβάλλοντος δημιουργώντας συνολικά αλλά και τοπικά εντοπισμένα, βιώσιμες και ανθεκτικές πόλεις - γειτονιές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Shaw, R., Colley, M., and Cornell, R. (2007), Climate Change Adaptation by design: a guide for sustainable communities. TCPA, London
- Assimakopoulos D.N., Assimakopoulos V.D., Chrisomallidou N., Klitsikas N., Mangold D., Michel P., Santamouris M., Tsangrassoulis A. (2001), ENERGY AND CLIMATE IN THE URBAN BUILT ENVIRONMENT, M. Santamouris, University of Athens, Greece
- Malakoff, D., Wigginton, N., Fahrenkamp-Uppenbrink, J., WibleMay, B. (2016), Use our infographics to explore the rise of the urban planet www.sciencemag.org/news/2016/05/use-our-infographics-explore-rise-urbanplanet?utm_source=print_feature_drupal&utm_medium=magazine&utm_campaign=campaign-4278
- United Nations, 'Resolution adopted by the General Assembly', 25 September 2015
- Ketterer, C., Gangwisch, M., Frohlich, D., Matzarakis, A., (2016), Comparison of selected approaches for urban roughness determination based on voronoi cells. Freiburg, Germany
- ILO, 2011. Conditions Required for Visual Comfort. Ανακτήθηκε από: <http://www.iloencyclopaedia.org/component/k2/item/284-conditions-required-for-visual-comfort>
- Blocken, B. Carmeliet, J.: Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples, Journal of Thermal Envelope and Building Science 28 (2), 2004, pp. 107-159
- Tomlinson, R. F. (1968), "A geographic information system for regional planning", pp. 200-210 in Sterart, G.A. (ed.), Land Evaluation. Melbourne: Macmillan
- Burden D., 2006. Benefits of urban street trees Ανακτήθηκε από: https://www.michigan.gov/documents/dnr/22_benefits_208084_7.pdf
- Kuchelmeister G., 2000. Trees for the urban millennium: urban forestry update. Unasylva, 51: 49-55. Ανακτήθηκε από: http://www.fao.org/uploads/media/Trees_for_the_urban_millennium_urban_for_etry_update.pdf
- Hodge S.J., 1995. Creating and managing woodlands around towns. HMSO, London. Ανακτήθηκε από: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCHB011.pdf/\\$FILE/FCHB011.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCHB011.pdf/$FILE/FCHB011.pdf)
- Samara T. and Tsitsoni T., 2010. The effects of vegetation on screening road traffic noise from a city ring road. Noise Control Engineering Journal. 59 (1): 68-74. Ανακτήθηκε από: <http://users.auth.gr/tsitsoni/files/eng/8%20apGetFile.pdf>
- Αστικό Πράσινο: Οφέλη, προβλήματα, σχεδιασμός, διαχείριση, 2013. Ανακτήθηκε από: http://www.citybranding.gr/2013/04/blog-post_8.html
- Stoter, J. , Zlatanova, S. , (2003). 3D GIS, where are we standing?. Section GIS technology, Delft University of Technology, the Netherlands.
- Schmidt, D., Fritsch, D., In transition from 2.5D-GIS to 3D-GIS, Institute of Photogrammetry, Stuttgart University

- Karakula, V., 2007. A GIS-Based Approach for 3D Noise Modelling Using 3D City Models, Enschede, The Netherlands.
- Zlatanova, S., Rahman, A., Pilouk, M., (2002). 3D GIS: CURRENT STATUS AND PRESPECTIVES, Delft University of Technology, the Netherlands.
- Biljecki, F.; Ledoux, H.; Stoter, J. (2016). "An improved LOD specification for 3D building models". Computers, Environment and Urban Systems. 59: 25–37. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005]
- Roland, B., (2000). Introduction of 3D Information in Urban GIS: A conceptual view, Laboratory SURFACES, Department of Geomatics, University of Liege, Belgium.
- Esri, 2014. 3D Urban Mapping: From Pretty Pictures to 3D GIS.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A., ISPRS International Journal of Geo-Information, (2015). «Applications of 3D City Models: State of the Art Review», Delft University of Technology, the Netherlands.
- Bruse, M. Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-met zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1999.
- Bruse, M. ENVI-met documentation <http://www.envi-met.com/documents/Envimet30.PDF>. 16.04.2015, 2004a.
- Bruse, M. ENVI-met implementation of the Jacobs A - gs Model to calculate the stomata conductance http://envimet.com/documents/new_a_gs.pdf. 15.04.2015, 2004b.
- Bruse, M. ENVI-met 3.0: Updated Model Overview <http://www.envi-met.com/documents/papers/overview30.pdf>. 17.04.2015, 2004c.
- Bruse, M. ENVI-met implementation of the gas/ particle dispersion and deposition model PDDM <http://envi-met.com/documents/sources.PDF>. 13.04.2015, 2007.
- Bruse, M. ENVI-met <http://www.envimet.info/hg2e/doku.php?id=intro:modelconept>. 17.04.2015, 2015a.
- Simon, H. Modeling urban microclimate, Development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met, Dissertatio, Mainz, March 2016

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Μαυραγάνης, Κ. (2016), Κλιματική αλλαγή και Ελλάδα: Πώς επηρεάζεται η χώρα μας, τι περιμένουμε στο μέλλον. Πηγή:http://www.huffingtonpost.gr/2016/01/17/klimatikh-allagh-ellada_n_9002596.html
- Τράπεζα της Ελλάδος, (Ιούνιος 2016), Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής.
- WWF Ελλάς, “Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον”, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009.
- Ζιώβα Ε. (2013), (ΑΝ) ΕΦΙΚΤΟ; Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων σε πυκνό αστικό ιστό Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ Διάλεξη 9ου Εξαμήνου σελ. 15 https://issuu.com/greekarchitects/docs/71.13.07_0e30f058439a27
α. Ανακτήθηκε από: <https://issuu.com/greekarchitects/docs/>
- ΥΠΕΚΑ, 2016, Εθνική Στρατηγική για την προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΕΣΠΚΑ)
- Μουσιόπουλος, Ν. , Ντζιαχρήστος, Λ., Σλινή, Θ., 2015. Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος – Αρχές Αειφορίας, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, kallipos.gr
- Ευώνυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη. 2009. Οικολογικά Κτίρια σε Αειφόρες Πόλεις. Website: <http://www.evonymos.org/greek/eidikathemata.asp?parentid=14>
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. 2011. Πράσινα Δώματα σε Δημόσια Κτήρια. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Website: http://www.cres.gr/kape/Prodiagrafes_fytemenon_domaton.pdf
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. 2011. Πρόγραμμα βιοκλιματικών αναβαθμίσεων δημόσιων ανοικτών χώρων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Website: http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf
- Τ.Ε.Ε. 2011. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων. Αθήνα, Υ.Π.Ε.Κ.Α. Website: http://www.energynius.gr/files4users/files/TOTEE_20701_6_Final_TEE.pdf
- Τ.Ε.Ε, Χρυσομαλλίδου Ν., Θεοδοσίου Θ., Τσικαλουδάκη Κ., «Αειφόρος Ανάπτυξη Ελεύθερων Χώρων σε αστικό περιβάλλον» Ανακτήθηκε από: http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1162/kma_m1162_xrisomallidou.pdf
- ΤΕΕ/ΤΚΜ, 2009. «Ενεργειακή Ταυτότητα Κτιρίων – Ενεργειακές Επιθεωρήσεις». Ανακτήθηκε από: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADESERGASIAS>
- Μακρογιάννης, Τ.Ι, Σαχσαμανογλου, Χ.Σ., Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας, Εκδόσεις ΧΑΡΙΣ
- Χαλκιάς, Χ. (2011), Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Μαθήματος: Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Συμπληρωματικές Σημειώσεις), Καλλιθέα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
- Καλογήρου, Σ. (2007), Εφαρμογές χωρικής ανάλυσης και σύγχρονων μεθόδων χαρτογραφίας στην παρουσίαση δημογραφικών φαινομένων, Αθήνα: Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας

- Καλογήρου, Σ. (2015), Χωρική Ανάλυση: Μεθοδολογία και εφαρμογές με τη γλώσσα R, Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών
- Χαλκιάς,Χ. (2006), Όροι & Έννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών, Αθήνα: ΙΩΝ.

Δικτυακοί Τόποι

https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.shtml
<http://www.wwf.gr/sustainable-economy/clean-energy/climate-change>
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=226&language=el-GR>
<http://www.unfpa.org/urbanization>
<http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
<http://www.cres.gr/kape/index.htm>
<http://www.unep.org/>
<http://www.hse.gov.uk/temperature/index.htm>
<https://www.ashrae.org/home>
<http://www.tdag.org.uk/>

Χορήγηση Δεδομένων

ΕΚΧΑ
 ΕΛ.ΣΤΑΤ.
 Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Παράρτημα

Αρχείο (.SIM) καθορισμού μεταβλητών προσομοίωσης:

```
%---- ENVI-met V4 main configuration file -----
%---- generated with ProjectWizard -----
Fileversion                =4.0
JobID                      =Simulation
% Main data .....
Name for Simulation (Text):    =Simulation model11
Area Input File to be used    =project_11a_windows.INX
Filebase name for Output (Text): =NewSimulation
Output Directory:            =
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):    =24.07.2016
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):    =00:00:00
Total Simulation Time in Hours:    =24
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]    =2.1
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =112.5
Roughness Length z0 at Reference Point [m] =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]    =299.250
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =7.0
Relative Humidity in 2m [%]    =39
% End main data .....
[OUTPUTTIMING]_____
Output interval main files (min)    =60.00
Output interval log files (min)    =30.00
Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y)    =0
[SOLARADJUST]_____
Factor of shortwave adjustment (0.5 to 1.5) =1.00
[CLOUDS]_____
Fraction of LOW clouds (x/8)    =0.00
Fraction of MIDDLE clouds (x/8)    =0.00
Fraction of HIGH clouds (x/8)    =0.00
[TIMING]_____
Update Surface Data each ? sec    =30.00
Update Wind field each ? sec    =900.00
Update Radiation and Shadows each ? sec    =600.00
Update Plant Data each ? sec    =600.00
[TIMESTEPS]_____
Sun height for switching dt(0) -> dt(1)    =40.00
Sun height for switching dt(1) -> dt(2)    =50.00
Time step (s) for interval 1 dt(0)    =1.00
Time step (s) for interval 2 dt(1)    =1.00
Time step (s) for interval 3 dt(2)    =1.00
[SOILDATA]_____
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K]=299.25
```

Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]=298.63

Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm)[K]=298.00

Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm) =39.00

Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm) =46.00

Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm) =53.00

[PLANTMODEL] _____

Stomata res. approach (1:Deardorff, 2:A-gs) =1

Background CO2 concentration [ppm] = -

[SIMPLEFORCE] _____

Hour 00h [Temp, rH] = 299.25, 39.00

Hour 01h [Temp, rH] = 298.65, 44.50

Hour 02h [Temp, rH] = 298.25, 47.00

Hour 03h [Temp, rH] = 297.95, 42.00

Hour 04h [Temp, rH] = 297.65, 42.00

Hour 05h [Temp, rH] = 300.65, 43.50

Hour 06h [Temp, rH] = 304.35, 42.00

Hour 07h [Temp, rH] = 306.05, 39.50

Hour 08h [Temp, rH] = 307.35, 39.00

Hour 09h [Temp, rH] = 308.75, 38.00

Hour 10h [Temp, rH] = 309.75, 38.00

Hour 11h [Temp, rH] = 310.15, 37.50

Hour 12h [Temp, rH] = 310.15, 37.00

Hour 13h [Temp, rH] = 310.55, 37.00

Hour 14h [Temp, rH] = 310.15, 36.00

Hour 15h [Temp, rH] = 308.55, 36.00

Hour 16h [Temp, rH] = 307.45, 38.00

Hour 17h [Temp, rH] = 306.45, 39.00

Hour 18h [Temp, rH] = 305.25, 32.00

Hour 19h [Temp, rH] = 304.45, 33.00

Hour 20h [Temp, rH] = 304.15, 35.00

Hour 21h [Temp, rH] = 302.65, 41.00

Hour 22h [Temp, rH] = 301.05, 44.00

Hour 23h [Temp, rH] = 300.25, 50.00

[LBC-TYPES] _____

LBC for T and q (1:open, 2:forced, 3:cyclic) =2

LBC for TKE (1:open, 2:forced, 3:cyclic) =2

[TURBULENCE]

Turbulence Closure 1D ABL (0:diagn., 1:prognos.) =1

Turbulence Closure 3D Modell (0:diagn., 1:progs.) =1

Upper Boundary for e-epsilon (0:closed, 1:open) =0

[SOURCESV4] _____

Name of user defined pollutant =04

Type of emitted pollutant =NO2

Particle Diameter in [µm] (0 for gas) = 10

Particle Density [g/cm³] (0 for gas) = 1

Update Sources Emission each ? sec =600.00

Use Multiple pollutants (0:No, 1:Yes) =0

Use NOx chemistry (0:No, 1:Yes) =0

Κώδικας μετατροπής⁴⁰ αρχείων του Envi-met, τύπου .txt αρχείου σε .ascii, σε γλώσσα προγραμματισμού matlab:

Συγγραφέας: Liming Zhang

```
function envi_dataConvert( file1,file2 )
% file1 is the .xls file output by Leonardo
% file2 is the original GRID ascii file imported from GIS
% with header look like this:
%ncols      120
%nrows      100
%xllcorner   1358423.9683528
%yllcorner   411300.09378567
%cellsize    6
%NODATA_value -9999

m = xlsread(file1);
index = size(m,1);
ncol = max(m(:,1))+1;
nrow = max(m(:,2))+1;
t = zeros(nrow,ncol);

for i = 1:index
    val = m(i,3);

    if (val==0)
        t(nrow-m(i,2),m(i,1)+1)=-9999;
    else
        t(nrow-m(i,2),m(i,1)+1)=val;
    end
end

len = length(file1);
newFile = [file1(1:len-4) '_ascii2.txt'];

fid = fopen(newFile,'wt');
fid2 = fopen(file2);
for i = 1:2
    tline=fgets(fid2);
    fprintf(fid,'%s',tline);
end
fclose(fid2);
fclose(fid);
```

⁴⁰ http://www.envi-met.info/hg2e/doku.php?id=extern:internet_software

dlmwrite(newFile,t,'-append','delimiter',' ');

	Λατινική ονομασία	Ονομασία	Ύψος (m) Πλάτος (m)	Albedo Φυλλώ- ματος	Αειθαλής / Φυλλο- βόλο	Σχήμα κόμης	Σκίαση/ Ανεμό- φράκτης/ Ατμο- σφαιρική Ρύπανση
[OT]	Olive tree	Ελιά	4m 5m	0.50	A		AP
[03]	Robinia pseudoacaci a	Ροβίνια η ψευδοακακία	12m 7m	0.18	A		Σ
[A4]	black locust	Ροβίνια η ψευδοακακία	22m 13 m	0.18	A		Σ
[ZI]	Citrus Aurantium	Νεραντζιά/ Πορτοκαλιά/ Λεμονιά	4m 3m	0.40	A		AP
[AC]	Acacia	Ακακία	2m 3m	0.60	Φ		AP
[AJ]	Albizia Julibrissin	Ακακία Κωνσταντινου πόλεως	12m 11 m	0.60	Φ		AP
[AN]	Acer negundo	Σφεδάμι	11m 9m	0.50	Φ		Σ
[LI]	Ligustrum	Λιγούστρο	5m 5m	0.40	Φ		A
[PN]	Populus Nigra	Πεύκη	20m 15 m	0.40	Φ		Σ/A/AP
[PA]	Populus Alba	Λεύκα αργυρόφυλλη	7m 5m	0.70	Φ		Σ/A/AP

[07]	Acer platanoides	Πλατανοειδές Σφεδάμι	15m 7m	0.18			A/AP
[02]	Tilia platyphyllos	Φλαμουριά	25m 15 m	0.18	Φ		Σ/A/AP
[S2]	Sophora Japonica	Σοφόρα	10m 15 m	0.60	Φ		Σ/AP
[S3]			15m 23 m	0.60	Φ		Σ/AP
[S1]			5m 9m	0.60	Φ		Σ/AP
[B9]	palm	Φοινικοειδές	6m 5m	0.18			
[PS]	Phoenix small	Φοινικοειδές	7m 7m	0.60			
[NC]	Square Tree – Low	Χαμηλός θάμνος	5m 7m	0.60			
[NB]	Square Tree - Middle	Μεσαίος θάμνος	10m 9m	0.60			
[T1]	Tree very dense, leafless base	Στήλη δένδρου	10m	0.2			
[SK]	Tree very dense, distinct crown layer	Στήλη δένδρου	15m	0.2			
[GB]	Grass aver, dense	Γρασίδι	50cm	0.2			
[H2]	Hedge dense	Φράκτης	2m	0.2			