

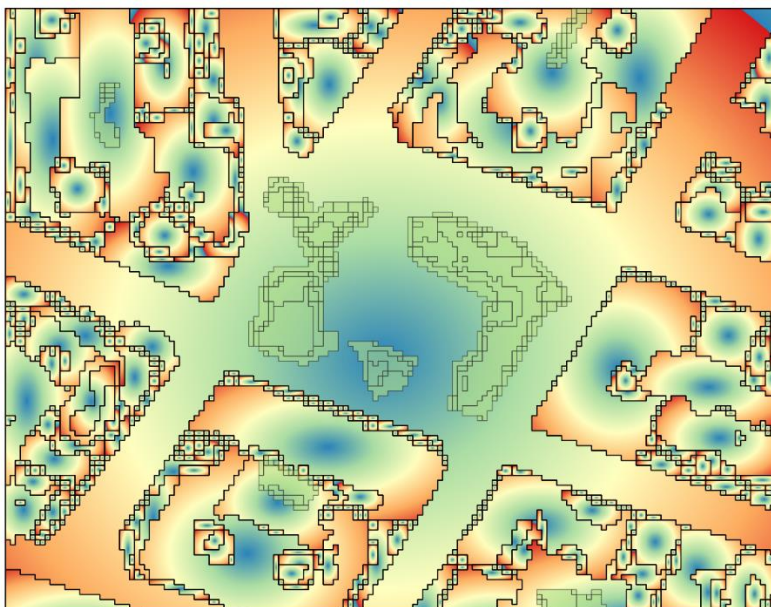


**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΙΟΥ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Χρήση του μοντέλου UMER
στον βιοκλιματικό σχεδιασμό υπαίθριων αστικών χώρων**



Αλεξάνδρα Η. Κώττη Δόμπρετς

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Ξ. Τσίρος, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2023**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Χρήση του μοντέλου UMEP
στον βιοκλιματικό σχεδιασμό υπαίθριων αστικών χώρων

Use of the UMEP model
in the bioclimatic design of outdoor urban spaces

Αλεξάνδρα Η. Κώττη Δόμπρετς

Εξεταστική Επιτροπή:

Διονύσιος Καλύβας, Καθηγητής ΓΠΑ

Ιωάννης Ξ. Τσίρος, Καθηγητής ΓΠΑ, (επιβλέπων)

Κωνσταντίνος Σαϊτάνης, Καθηγητής ΓΠΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διερεύνηση και η κατανόηση των συνθηκών θερμικής αίσθησης σε αστικούς υπαίθριους χώρους, μπορεί να βελτιώσει τη βιωσιμότητα των δημόσιων χώρων κατά τη διάρκεια περιόδων με υψηλές τιμές θερμοκρασίας και κατ' επέκταση να συμβάλλει στην αύξηση της χρήσης τους από τους κατοίκους της περιοχής. Για το σχεδιασμό καθώς και για την ανάπλαση βιώσιμων αστικών υπαίθριων χώρων σημαντικός παράγοντας είναι η μελέτη του μικροκλίματος και της θερμικής αίσθησης που διαμορφώνεται σε αυτούς.

Η παρούσα διπλωματική μελέτη αποσκοπεί στη διερεύνηση των δυνατοτήτων του προγράμματος UMEP σχετικά με τις μικροκλιματικές συνθήκες που διαμορφώνουν τη θερμική αίσθηση σε έναν αστικό υπαίθριο χώρο μιας μεσογειακής περιοχής.

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης έγινε μία προσπάθεια εύρεσης των συνθηκών θερμικής αίσθησης σε μια πλατεία κλίμακας γειτονιάς στην περιοχή της Αθήνας για μια ημέρα θερμής περιόδου. Διερευνήθηκε η επίδραση που ασκούν οι βασικές μετεωρολογικές παράμετροι στη θερμική αίσθηση καθώς και η διαφοροποίηση της θερμικής αίσθησης με διαφορετικό σχεδιασμό. Διαπιστώθηκε πως ο βαθμός επίδρασης του θερμικού περιβάλλοντος στη θερμική αίσθηση διαφοροποιείται έντονα ανάλογα με το ύψος βλάστησης και την αναλογία ύψος κτηρίων/ πλάτος δρόμου.

Πραγματοποιήθηκαν 8 διαφορετικά σενάρια/ προσομοιώσεις για τα οποία δημιουργήθηκαν θερμικοί χάρτες και αποκτήθηκαν τιμές για το βιοκλιματικό δείκτη PET σε 6 διαφορετικά σταθερά σημεία, ώστε να αξιολογηθούν τα σενάρια ως προς την επίδραση που έχουν στη θερμική αίσθηση σε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αστικού υπαίθριου χώρου στο περιβάλλον της Αθήνας.

Το μοντέλο UMEP εξετάστηκε αρχικά ως προς την δυνατότητά του να προσομοιώνει τις μικροκλιματικές συνθήκες που διαμορφώνονται στην υπό μελέτη περιοχή προσομοιώνοντας τα 8 διαφορετικά σενάρια για την ίδια ημέρα της θερμής περιόδου. Στη συνέχεια εξετάστηκε αν οι διαφορετικές προσομοιώσεις πληρούν τις αποδεκτές περιβαλλοντικές συνθήκες που ορίστηκαν σε προηγούμενα στάδια της μελέτης. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως συνθήκες θερμικής δυσφορίας επικρατούν σε όλα τα σενάρια κατά τη διάρκεια μίας τυπικής ημέρας της θερμής

περιόδου και ειδικά κατά τη διάρκεια των μεσημβρινών ωρών. Ανάλογα με τη θέση της υψηλής βλάστησης διαφοροποιούνται και τα αποτελέσματα του δείκτη PET στα διαφορετικά σενάρια.

Στη συνέχεια, έγινε εφαρμογή της δυνατότητας του μοντέλου να προτείνει θέσεις φύτευσης δένδρων ανάλογα με αποτελέσματα και τους θερμικούς χάρτες, στις θέσεις που παρουσιάζονται ως πιο δυσμενείς. Μέσω αυτής της δυνατότητας δημιουργήθηκαν άλλα 4 διαφορετικά σενάρια (προσθήκη 3, 10, 30 και 50 δένδρων) βασισμένα στην υφιστάμενη κατάσταση της πλατείας στα οποία συγκρίθηκαν οι τιμές του δείκτη PET για τα ίδια 6 σταθερά σημεία την επιλεγμένη ημέρα θερμής περιόδου.

Τέλος, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών προσομοιώσεων και σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων μετά την προσθήκη των δένδρων σύμφωνα με το πρόγραμμα.

Επιστημονική περιοχή: Αστική Μετεωρολογία

Λέξεις κλειδιά: Θερμική άνεση, βιοκλιματικός δείκτης PET, βιωσιμότητα αστικού περιβάλλοντος, UMEP, αστικός σχεδιασμός

Use of the UMEP model in the bioclimatic design of outdoor urban spaces

*MSc Landscape Architecture
Department of Crop Science
Laboratory of General & Agricultural Meteorology*

SUMMARY

Investigating and understanding the thermal sensing conditions in urban open spaces can improve the sustainability of public spaces during periods of high temperatures and thus contribute to increasing their use by residents. For the design as well as for the regeneration of sustainable urban open spaces, an important factor is the study of the microclimate and the thermal sensation formed in them.

This thesis aims to investigate the potential of the UMEP project on the microclimatic conditions that shape the thermal sensation in an urban open space in a Mediterranean region.

As part of this study, an attempt was made to find the thermal sensation conditions in a neighbourhood scale square in the Athens area for a warm season day. The influence of the main meteorological parameters on the thermal sensation and the variation of the thermal sensation with different design was investigated. It was found that the degree of influence of the thermal environment on thermal sensation varies strongly with vegetation height and the ratio of building height/street width.

8 different scenarios/simulations were carried out for which thermal maps were generated and values for the bioclimatic RET index were obtained at 6 different fixed points, to evaluate the scenarios in terms of their effect on thermal sensation in a typical example of urban open space in the Athens environment.

The UMEP model was first tested for its ability to simulate the microclimate conditions in the study area by simulating the 8 different scenarios for the same day of the warm season. It was then examined whether the different simulations meet the acceptable environmental conditions defined in earlier stages of the study. The results showed that thermal discomfort conditions prevail in all scenarios during a typical day of the warm season, especially during the midday hours. Depending on the location of high vegetation, the results of the PET index in the different scenarios also differ.

Then, the model's ability to suggest tree planting locations according to results and heat maps was applied to the locations presented as the most unfavourable ones. Through this feature, 4 other different scenarios (addition of 3,

10, 30 and 50 trees) were created based on the existing situation of the square in which the values of the PET index for the same 6 fixed points on the selected warm season day were compared.

Finally, a comparison of the results between the different simulations and a comparison between the results after the addition of trees according to the program was made.

Scientific area: Urban meteorology

Key words: Thermal comfort, bioclimatic PET index, urban environmental sustainability, UMEP, urban planning

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή Ι. Ξ. Τσίρο, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του ΓΠΑ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στο συγκεκριμένο θέμα. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για την καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας ως και την τελική διαμόρφωση της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Διονύσιο Καλύβα και τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Σαϊτάνη για τη συμμετοχή τους στην τριμελή Εξεταστική Επιτροπή.

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες επιθυμώ να εκφράσω στον κ. Μανώλη. Μελά, για τη συμβολή του στη λήψη και επεξεργασία των ψηφιακών και μετεωρολογικών δεδομένων καθώς και τη βοήθεια του στην κατανόηση και επεξήγηση του προγράμματος UMER.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
SUMMARY.....	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	7
ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
B. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	12
B1. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ	12
B2. ΑΣΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ.....	12
B3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ.....	19
B4. ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ-ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	24
B5. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	30
B6. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	32
B7. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΗΜΕΡ.....	34
Γ. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	44
Γ1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	44
Γ2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ	51
Γ3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	51
Γ4. ΣΕΝΑΡΙΑ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....	56
Γ6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΡΕΤ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΘΕΡΜΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	74
Γ7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ.....	78
Γ8. ΠΡΟΤΑΣΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ ΜΕΣΩ TreePlanter.....	80
Γ9. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ	85
Δ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	89
Ε. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Συνοπτικά, η μελέτη αποσκοπεί να καθορίσει τις μικροκλιματικές συνθήκες που ευνοούν τη θερμική άνεση σε έναν τυπικό υπαίθριο χώρο γειτονιάς στην περιοχή της Αθήνας, μέσω της χρήσης του μοντέλου προσομοίωσης UMER. Το λογισμικό UMER αποτελεί ένα εργαλείο ανοικτού κώδικα που λειτουργεί ως plug in στο QGIS, το οποίο είναι μια δωρεάν διαπλατφορμική εφαρμογή διαπλατφορμική ανοικτού κώδικα συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System).

Η εργασία ακολουθεί την εξής δομή:

Στο κεφάλαιο Β, που αποτελεί το γενικό μέρος, γίνεται μια εκτενής αναφορά στις θεωρητικές έννοιες της Βιομετεωρολογίας και της Βιοκλιματολογίας και στο αστικό μικρόκλιμα. Επίσης, αναλύεται ο όρος «θερμική άνεση» καθώς και οι δείκτες ποσοτικοποίησης και έκφρασής της. Στη συνέχεια γίνεται εξήγηση του βιοκλιματικού σχεδιασμού αστικών χώρων και της χρήσης των μοντέλων προσομοίωσης στο σχεδιασμό, με έμφαση στο υπό μελέτη μοντέλο προσομοίωσης UMER.

Στο κεφάλαιο Γ, παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, δηλαδή η πλατεία Πύρλα στα Κάτω Πατήσια και τα ψηφιακά και μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο προσομοίωσης, Παρακάτω αναλύονται τα διαφορετικά σενάρια που πραγματοποιήθηκαν, τα αποτελέσματα αυτών και οι προτάσεις παρέμβασης για βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών και της θερμικής άνεσης της περιοχής.

Το κεφάλαιο Δ συνοψίζει τα ευρήματα της μελέτης ενώ τέλος, στο κεφάλαιο Ε παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα και γίνονται προτάσεις για μελλοντικές έρευνες που εστιάζουν στην εξέταση της θερμικής άνεσης στο αστικό περιβάλλον μέσω της χρήσης του UMER.

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μεγαλύτερο ποσοστό του ανθρώπινου πληθυσμού έχει εγκατασταθεί σε αστικά κέντρα κάτι που οδήγησε στην ραγδαία ανάπτυξή τους, ειδικά τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτή η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη των εν λόγω περιοχών έχει οδηγήσει σε μειωμένους υπαίθριους αστικούς χώρους και ταυτόχρονα στην υποβάθμισή τους. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται έντονο ενδιαφέρον για την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων των αστικών κέντρων. Η δημιουργία βιώσιμων πόλεων κρίνεται πλέον αναγκαία και πραγματοποιούνται διάφορα επιστημονικά συνέδρια και ημερίδες με αυτό το θέμα, όπως για παράδειγμα το World Urban Forum 5 (UN-Habitat, 2010) και το Sustainable Development and Planning (Wessex Institute of Technology, 2011). Μερικοί από τους παράγοντες που υποβαθμίζουν το βιοτικό επίπεδο δημιουργώντας μη ανεκτές περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι η πυκνή δόμηση, η έλλειψη πρασίνου και ανοικτών χώρων, η ατμοσφαιρικοί ρύποι, ο θόρυβος, η ηχορύπανση κα.

Το ενδιαφέρον για το βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η βιωσιμότητα στο εσωτερικό περιβάλλον, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη και αξιοποίηση εργαλείων που αφορούν κυρίως τις συνθήκες θερμικής άνεσης και τη βιωσιμότητα των εσωτερικών χώρων (Huang et al, 2015, Allegrini et al, 2015). Σε συνέχεια αυτού, το ενδιαφέρον έχει επεκταθεί και στο εξωτερικό περιβάλλον και στην ικανότητά του να επηρεάζει τόσο το εσωτερικό περιβάλλον όσο και τη συνολική ποιότητα ζωής στις πόλεις (Rupp et al., 2015)

Για τη βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών του αστικού περιβάλλοντος έχει δοθεί έμφαση τα τελευταία χρόνια στον επανασχεδιασμό των υπαίθριων χώρων, μέσω αναπλάσεων, μερικών ή ολικών, και σχεδιασμού νέων χώρων πρασίνου. Η μελέτη σχεδιασμού σε αρμονική σχέση με το κλίμα στοχεύει στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στις πόλεις και στη βελτίωση του μικροκλίματος. Η διαδικασία αστικού σχεδιασμού πρέπει να αναθεωρηθεί και να λαμβάνονται υπόψιν κριτήρια όπως η κλιματική άνεση (Djukic et al., 2016, Xue et al., 2016), η θερμική αντίληψη, η οπτική και ακουστική άνεση. (Lenzholzer et al., 2016, Nasrollahi et al, 2016, Meng et al., 2016). Τα εργαλεία επίτευξης άνεσης που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο σχεδιαστής είναι ο ανασχεδιασμός της αστικής γεωμετρίας, το πράσινο, τα χαρακτηριστικά του αστικού τοπίου και η επιλογή υλικών (Chatzidimitriou et al., 2016, Galatioto et al., 2016, Klemm et al., 2016). Η εφαρμογή βιοκλιματικών αρχών στο σχεδιασμό των πόλεων, αφενός βελτιώνει τις μικροκλιματικές συνθήκες στους υπαίθριους χώρους, ώστε να αποτελούν πυρήνα δημόσιας ζωής, αφετέρου συμβάλει στην γενικότερη βελτίωση του κλίματος των πόλεων και της ποιότητας ζωής στο αστικό περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει την κατανόηση των μικροκλιματικών συνθηκών της τοποθεσίας και την ενσωμάτωσή τους στο σχεδιασμό ως σημαντικές παραμέτρους για ανάλυση και αξιοποίηση. Συνεπώς, η αντίστοιχη μελέτη βιοκλιματικής αναβάθμισης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα στοιχεία εκείνα του εξωτερικού περιβάλλοντος, που επιδρούν στην κλιματική ποιότητα και να εκτιμά τη μεταβολή που θα επιφέρει η σχεδιαζόμενη επέμβαση σε καθένα από αυτά.

Για την καλύτερη αντίληψη των μικροκλιματικών παραγόντων και την ποσοτικοποίησή τους, έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός αριθμητικών μοντέλων πρόβλεψης των διαφορετικών αστικών κλιματικών μεταβλητών. Μέσω της χρήσης των περιβαλλοντικών μοντέλων προσομοίωσης είναι δυνατό να υπολογιστούν και να προσομοιωθούν πολλαπλές μεταβλητές και ατμοσφαιρικές διεργασίες σε ότι αφορά το αστικό μικρόκλιμα. Έτσι γίνεται εφικτή η προσομοίωση του εκάστοτε σχεδιασμού και η σύγκριση των αποτελεσμάτων μέσω της βοήθειας των βιοκλιματικών δεικτών, με στόχο την επίτευξη ενός μικροκλιματικά αποδεκτού σχεδιασμού.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται ανάλυση της θερμικής άνεσης, των βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων που την επηρεάζουν, και των κυριότερων βιομετεωρολογικών δεικτών που την εκφράζουν. Η μελέτη επικεντρώνεται κυρίως στην ανάλυση του λογισμικού προσομοίωσης UMER και στις δυνατότητές και απαραίτητες πληροφορίες που παρέχει στο σχεδιαστή για τη δημιουργία άνετων και χρηστικών υπαίθριων αστικών χώρων για τη θερινή περίοδο σε μεσογειακά κλίματα.

B. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

B1. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Η Βιομετεωρολογία και η Βιοκλιματολογία, συνίστανται στη μελέτη των άμεσων και έμμεσων σχέσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ του γεωφυσικού και γεωχημικού περιβάλλοντος της ατμόσφαιρας και των ζωντανών οργανισμών. Πρόκειται για μια διεπιστημονική επιστήμη με επίσημη αναγνώριση το 1956 (Ebi et al., 2009). Αποτελούν κλάδους της περιβαλλοντικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, αντίστοιχα, με αντικείμενο την αλληλεπίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και των έμβιων οργανισμών. Ουσιαστικά είναι το κομμάτι της φυσιολογίας και της οικολογίας στο όποιο η ατμόσφαιρα, φυσική ή ανθρωπογενής, αποτελεί σημαντικό παράγοντα (Munn, 1970).

Η Βιομετεωρολογία εξετάζει τις σχέσεις μεταξύ των μετεωρολογικών συνθηκών (καιρός) και των βιολογικών διεργασιών ενώ η Βιοκλιματολογία είναι ο επιστημονικός κλάδος που μελετά την επίδραση των κλιματικών συνθηκών στους ζωντανούς οργανισμούς. Η διαφοροποίηση των δύο κλάδων, αφορά στη χρονική διάρκεια των απαιτούμενων δεδομένων των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.

Ως αποτέλεσμα, οι δύο αυτοί κλάδοι ταυτίζονται καθώς τα βιολογικά φαινόμενα και οι διεργασίες ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο στα ατμοσφαιρικά ερεθίσματα ανεξάρτητα της χρονικής τους διάρκειας.

Εξάιρεση αποτελεί η μελέτη ορισμένων αντικειμένων της Βιοκλιματολογίας, όπως είναι η πρόγνωση της συμπεριφοράς και του ρυθμού ανάπτυξης των οργανισμών, η εξέλιξη των οικοσυστημάτων σε διαφορετικά περιβαλλοντικά μέσα κ.ά., όπου απαιτείται μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

B2. ΑΣΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ

Το κλίμα σε κάθε περιοχή του πλανήτη διαχωρίζεται σε τρία επίπεδα ανάλογα το είδος και την κλίμακα περιγραφής και διαχωρίζονται σε μακροκλίμα, μεσοκλίμα και μικροκλίμα (Goulding et al., 1994).

Ως μικροκλίμα ορίζεται η κλιματική κατάσταση της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από την επιφάνεια της γης, έως το ύψος όπου η επίδραση των άμεσων συνθηκών της υποκείμενης επιφάνειας δεν μπορεί να διακριθεί από το γενικό τοπικό κλίμα δηλαδή το μεσοκλίμα ή το μακροκλίμα (Saltzman, 1968).

Το μικροκλίμα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε πολλές διαφορετικές κατηγορίες, με κυριότερες το αστικό μικροκλίμα, το μικροκλίμα της βλάστησης (φυτοκλιματολογία) καθώς και το μικροκλίμα σε κλειστούς, περιορισμένους χώρους, όπως τα σπίτια, τα θερμοκήπια, τα σπήλαια (κρυπτοκλίμα) κ.α. (Cain, 1950).

Στις πόλεις, το μικροκλίμα που επικρατεί είναι κυρίως αποτέλεσμα του σχεδιασμού και των δραστηριοτήτων των ανθρώπων που λαμβάνουν χώρα σε αυτές (Givoni, 1998), ονομάζεται αστικό μικροκλίμα και αφορά στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στον αστικό χώρο και παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις κλιματολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής. Διαφορετικά μικροκλίματα εντοπίζονται και εντός του ίδιου του αστικού ιστού σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, καθώς το μικρόκλιμα επηρεάζεται και διαμορφώνεται από τα χαρακτηριστικά του άμεσου περιβάλλοντός του (Oke, 1987).

Το αστικό μικρόκλιμα εξαρτάται από τις χρήσεις γης, τη γεωμετρία της δόμησης και τα δομικά υλικά (τα χαρακτηριστικά τους και το χρώμα των επιφανειών τους) (Elliason, 1996). Σε γενικές γραμμές το μικρόκλιμα της πόλης αποτελείται από ένα μωσαϊκό από διαφορετικά μικροκλίματα (Αμούργης κ.ά., 2001). Κλιματολογικά, αποτελεί το ονομαζόμενο κλίμα του στρώματος της αστικής κόμης (urban canopy layer, γνωστό ως UCL) και αφορά στο στρώμα της ατμόσφαιρας που βρίσκεται αμέσως πάνω από το αστικό τοπίο, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων, των δρόμων, της βλάστησης και άλλων υποδομών. Η μορφολογία και οι δραστηριότητες εντός των πόλεων μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις ατμοσφαιρικές και επιφανειακές ιδιότητες των περιοχών επιρροής της, διαταραχές στη θερμική ισορροπία, στις ροές του αέρα, στην εισροή της ηλιακής ακτινοβολίας κ.ά. (Oke, 1987), καθώς οι κλιματικές παράμετροι που επηρεάζονται από το αστικό περιβάλλον, είναι η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, καθώς επίσης μπορεί να υπάρξει επηρεασμός και μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, της νέφωσης και πιθανώς και του βαθμού βροχόπτωσης (Καζάνα, 2008).

Οι κύριοι παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του αστικού κλίματος (Χρονοπούλου & Ουζιέλ, 1997) είναι:

- Οι τοπογραφικές συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου μιας πόλης μπορεί να δημιουργήσουν κλιματικές παραλλαγές. Αν δηλαδή μια περιοχή, είναι ορεινή ή πεδινή ή αν βρίσκεται κοντά σε ποτάμι ή θάλασσα.
- Το ανάγλυφο της αστικής περιοχής, για παράδειγμα η ύπαρξη ή μη λόφων μέσα σε μια πόλη. Παρατηρείται διαφορά στις κλιματικές συνθήκες στις προσήνεμες και υπήνεμες πλευρές των λόφων.
- Η εδαφολογική σύσταση της περιοχής. Αν δηλαδή το έδαφος είναι αργιλώδες παρουσιάζει μεγαλύτερη υδατοχωρητικότητα απ' ότι το αμμώδες, με αποτέλεσμα να συγκρατεί μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας και να παρουσιάζει σταθερότερη θερμοκρασία. Αυτή η επίδραση τείνει να εξαφανιστεί πλέον στις μεγάλες πόλεις λόγω του γεγονότος ότι όλο και περισσότερες επιφάνειες καλύπτονται από τσιμέντο και άσφαλτο.
- Η πυκνότητα της δόμησης μέσα στην πόλη επηρεάζει τη σκίαση των ακάλυπτων περιοχών ανάμεσα των κτηρίων, με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται οι θερμομετρικές συνθήκες. Όταν η απόσταση μεταξύ των οικοδομών είναι ίση με το ύψος των κτιρίων το κάτω μέρος της πρόσοψης με νότιο προσανατολισμό σκιάζεται για πιο μεγάλο χρονικό διάστημα.

- Η τραχύτητα της επιφάνειας των πόλεων που διαμορφώνεται από το ύψος των κτιρίων. Σ' αυτή την τραχύτητα οφείλεται η μείωση της ταχύτητας του ανέμου μέσα στα αστικά κλίματα, αλλά και τη δημιουργία έντονων στροβιλισμών του ανέμου.
- Η διάταξη του πρασίνου και η μορφή της βλάστησης. Η επίδραση του πρασίνου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του γειτνιάζοντος αέρα, την αύξηση της σχετικής υγρασίας και την ελάττωση των θερμομετρικών διακυμάνσεων. Η επίδραση του πρασίνου στη διαμόρφωση του τοπικού κλίματος έχει έμμεση σχέση με την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου.
- Η μορφή της εδαφοκάλυψης μιας περιοχής. Έχει αποδειχτεί ότι σε περιοχές που είναι καλυμμένες με άσφαλτο, καταγράφονται πολύ υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας από ότι σε άλλες που καλύπτονται με φυτά ή άλλου είδους κάλυψη. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει το 15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αντανακλάται ενώ το υπόλοιπο 85% απορροφάται από τον ιστό της πόλης (Oke, Boundary-Layer Climates, second edition, 1987). Οι περισσότερες επιφάνειες που βρίσκονται στη πόλη έχουν υψηλή ικανότητα θερμικής εκπομπής, δηλαδή τα δομικά στοιχεία αποβάλλουν τη θερμότητα που έχουν απορροφήσει και έτσι ψύχονται, θερμαίνοντας όμως τους υπαίθριους χώρους γύρω από αυτές.
- Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται κοντά σε αστικές περιοχές αποβάλλουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας επηρεάζοντας έτσι το αστικό κλίμα.

Αστική θερμική νησίδα

Η θερμοκρασία του αέρα σε πυκνά δομημένες αστικές περιοχές, είναι υψηλότερη σε σύγκριση με αυτή της γειτονικής αγροτικής περιοχής, φαινόμενο που είναι ευρέως γνωστό σαν «θερμική νησίδα». Ο ατμοσφαιρικός αέρας στον αστικό χώρο είναι συνήθως θερμότερος από τον αντίστοιχο της γύρω αδόμητης περιοχής. Το φαινόμενο αυτό έχει μελετηθεί ευρέως και ονομάζεται θερμική νησίδα. Το σχήμα και το μέγεθος της θερμικής νησίδας, η οποία δημιουργείται, ποικίλει και εξαρτάται από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, το ανάγλυφο, τα δομικά χαρακτηριστικά, τον κυκλοφοριακό φόρτο και από άλλους παράγοντες οι οποίοι συνυπάρχουν στην πόλη. Έτσι, πάνω από μια αστική, προαστιακή ή ελεύθερη δόμησης περιοχή, παρατηρείται διαφοροποίηση της θερμοκρασίας (Oke, 1978). Η θερμική νησίδα είναι παρούσα σε κάθε πόλη και είναι η πλέον κλιματική ένδειξη της αστικοποίησης (Mihalakakou et al., 2004).

Η θερμότητα που απορροφάται από τα κτίρια, τους δρόμους και τις άλλες κατασκευές μιας αστικής περιοχής στη διάρκεια της ημέρας, επανεκπέμπονται το βράδυ, δημιουργώντας υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ της αστικής και της γειτονικής αγροτικής περιοχής. Η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά παρατηρείται στη διάρκεια της νύκτας. Μελέτες που έχουν γίνει εμφανίζουν διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ αστικών- αγροτικών περιοχών μέχρι και 12 οC κατά τη διάρκεια ήρεμων και ανέφελων νυχτών (Oke, 1981). Κατά τη διάρκεια του

χειμώνα οι παρατηρούμενες αυξημένες τιμές θερμοκρασίας αέρα οφείλονται στη θερμική ενέργεια η οποία αποδίδεται κατά τη θέρμανση των κατοικιών και από την κυκλοφορία των οχημάτων (Μουσιόπουλος, 1991)

Η παρατηρούμενη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικής και μη δομημένης περιοχής παρουσιάζει ημερήσια διακύμανση. Η μέγιστη τιμή της διαφοράς αυτής σημειώνεται λίγες ώρες μετά τη δύση του ηλίου, γεγονός το οποίο αποδίδεται στον βραδύτερο και πιο ομοιόμορφο ρυθμό ψύξης του αστικού χώρου συγκριτικά με την ελεύθερη δόμησης περιοχή. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της νύχτας, η αστική και η μη δομημένη περιοχή ψύχονται με τον ίδιο ρυθμό και συνεπώς η μεταξύ τους διαφορά παραμένει σταθερή ή μειώνεται ελαφρά. Μετά την ανατολή του ηλίου η αδόμητη περιοχή θερμαίνεται ταχύτερα, συγκριτικά με τη δομημένη, με αποτέλεσμα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους να αμβλύνεται (Hage, 1975).

Η αύξηση της θερμικής νησίδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις γενικότερες κλιματικές συνθήκες, την τοπογραφία και το ανάγλυφο ενός τόπου, και για το λόγο αυτόν παρουσιάζει συνεχείς μεταβολές στο χρόνο και στο χώρο (Unger et al., 2000, 2001). Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα ενός θερμικού πλεονάσματος, που προκαλεί διαταραχή στο θερμικό ισοζύγιο των πόλεων. Η διαφοροποίηση των θερμοκρασιακών συνθηκών σε μια πόλη συγκριτικά με την ελεύθερη δόμησης περιοχή και συνεπώς η ένταση της θερμικής νησίδας, σχετίζεται με το μέγεθος της πόλης (Oke, 1973).

Αυτές οι μεταβολές των θερμοκρασιακών συνθηκών του αστικού μικροκλίματος και κατ' επέκταση η δημιουργία της αστικής θερμικής νησίδας είναι αποτέλεσμα του μεγάλου οικοδομικού όγκου, της θερμότητας η οποία συσσωρεύεται στα δομικά υλικά δρόμων και κτιρίων, της μειωμένης ταχύτητας του ανέμου εξαιτίας της τραχύτητας της επιφάνειας της πόλης, της απορροής του μεγαλύτερου μέρους των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων λόγω της μειωμένης εισροής του νερού στο έδαφος, το οποίο καλύπτεται με αδιαπέραστα υλικά, της ελάττωσης της ενέργειας η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες εξατμισοδιαπνοής εξαιτίας της έλλειψης βλάστησης και τέλος των ανθρωπογενών πηγών θερμότητας και του νέφους της πόλης το οποίο μειώνει την μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (Bematzky, 1982).

Γενικά, οι κυριώτεροι παράγοντες που καθορίζουν και προκαλούν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας είναι:

1) Η γεωμετρία των κτιρίων και των αστικών δρόμων(αστική γεωμετρία) (Oke et al., 1991). Λόγω των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δρόμων, μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από τα κτίρια, τα πεζοδρόμια και την άσφαλτο, προσπίπτει στις επιφάνειες των κτιρίων, υφίσταται πολλαπλές ανακλάσεις και με τον τρόπο αυτό παγιδεύεται και δεν διαφεύγει προς την ελεύθερη ατμόσφαιρα. Αυτό αυξάνει το θερμικό πλεόνασμα του συνόλου των επιφανειών (τόσο των δρόμων όσο και των κτιρίων).

2) Οι θερμικές και οπτικές ιδιότητες των υλικών των αστικών επιφανειών (Oke, 1982; Oke et al., 1991). Λόγω των ακατάλληλων οπτικών και θερμικών χαρακτηριστικών πολλών υλικών, μεγάλο μέρος της θερμότητας που μεταφέρει η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τα υλικά και επανακτινοβολείται στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας.

3) Η ανθρωπογενής θερμότητα. Παράγεται κυρίως από τις καύσεις (αυτοκίνητα και σταθερές πηγές).

4) Το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Συμβάλλει στην αύξηση της θερμικής ακτινοβολίας που ανακλάται από τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα και προσπίπτει στο σύνολο των επιφανειών μιας πόλης.

5) Η μειωμένη εξατμοδιαπνοή και εξάτμιση και συνεπώς μείωση της λανθάνουσας ροής θερμότητας λόγω της μείωσης των περιοχών πρασίνου και υδατικών στοιχείων στην επιφάνεια της πόλης.

6) Η μείωση της ροής του αέρα στους δρόμους. Τα κτίρια μειώνουν τη ροή του αέρα και οι επιφάνειες των κτιρίων δεν ψύχονται επαρκώς.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας καθοριστικός παράγοντας του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και η μόνη κινητήρια δύναμη των αερίων μαζών σε αστικά περιβάλλοντα (Bozonnet, Belarbi, & Allard, 2005). Στο αστικό περιβάλλον, κατά την θερινή περίοδο αυξάνονται τα θερμικά φορτία των κτιρίων, επηρεαζόμενα σε μεγάλο βαθμό από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς οι επιφάνειες αυτές έχουν συνήθως χαμηλή ανακλαστικότητα (albedo) (Akbari, Pomerantz, & Taha, 2001). Η υψηλή θερμοχωρητικότητα των υλικών συμβάλλει επίσης στην νυκτερινή θερμική νησίδα, καθώς ένα μεγάλο μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι αποθηκευμένο σε αυτά τα υλικά (Oke, 1987).

Η ύπαρξη αστικής θερμικής νησίδας έχει βιολογικές και οικονομικές συνέπειες. Στις πυκνοδομημένες περιοχές των πόλεων έχει διαπιστωθεί πρωιμότερη έναρξη και λήξη της βλάστησης συγκριτικά με τις προαστιακές και περιαστικές περιοχές (Geiger, 1975). Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε συνδυασμό

με την έλλειψη σκίασης και την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συμβάλλουν στη θερμική δυσφορία του αστικού πληθυσμού, στην αύξηση των προβλημάτων υγείας ακόμα και της θνησιμότητας. Τα κτίρια στο αστικό περιβάλλον χωρίς υψηλή κλιματολογική ποιότητα χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια για κλιματισμό το καλοκαίρι και ακόμα περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό. Η αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, η μείωση της απόδοσης των κλιματιστικών συσκευών, καθώς και η αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, αποτελούν τις ιδιαίτερα αρνητικές συνέπειες της θερμικής νησίδας (Givoni, 1997). Αντίθετα, τους χειμερινούς μήνες συντελεί όμως στη μείωση των αναγκών θέρμανσης (θετική επίπτωση). Για τη μείωση του φαινομένου της θερμικής νησίδας, γίνεται χρήση αντανάκλαστικών φυσικών υλικών, λευκών χρωμάτων και ανοικτών, δροσερών χρωματισμών στα επιστρώματα. Στην ψύξη των πόλεων συμβάλλουν σημαντικά τα δένδρα και οι φυτοκαλυμμένες επιφάνειες, καθώς η εξατμισοδιαπνοή από το φύλλωμα του φυτικού υλικού μειώνει τη θερμοκρασία αέρα και αυξάνει την υγρασία. Οι περιοχές με φυτοκάλυψη είναι συγκριτικά πιο δροσερές κατά τη διάρκεια της ημέρας από τα περισσότερα άλλα αστικά στοιχεία. Η θερμοκρασία στη σκιά των δένδρων, αναφέρθηκε ότι είναι χαμηλότερη κατά $0,7^{\circ}\text{C}$ μέχρι και $3,6^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τις περιοχές χωρίς βλάστηση (Zouliá I., Santamouris M., Dimoudi A., 2008).

Sky View Factor (SVF)

Η γεωμετρία των αστικών επιφανειών επηρεάζει την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ της γης και του ουρανού αφού σύμφωνα με τη διεργασία εκπομπής ακτινοβολίας προς το διάστημα μέσω του 'ατμοσφαιρικού παράθυρου', η συμβολή της καθαρής εξερχόμενης ροής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος στην ψύξη του αέρα εξαρτάται από την ανοικτή έκθεση της περιοχής στον ουρανό.

Αυτή η σχέση μπορεί να 'ποσοτικοποιηθεί' με βάση μια παράμετρο που καλείται συντελεστής θέασης του ουράνιου θόλου (Sky View Factor ή SVF). Ο SVF είναι ένα μέτρο της γωνίας θέασης του ουρανού από έναν αστικό χώρο και αντιπροσωπεύει μια εκτίμηση της ορατής περιοχής του ουρανού που φαίνεται από ένα σημείο πάνω στην επιφάνεια της γης. Εκφράζει, δηλαδή, πόσο μία αστική περιοχή ή επιφάνεια είναι 'ανοιχτή' προς τον ουράνιο θόλο και καθορίζει την ανταλλαγή θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ της περιοχής και του ουρανού. Ο συντελεστής SVF παίρνει τιμές από 0 έως 1. Όσο μικρότερος είναι ο SVF, τόσο πιο μικρή είναι η επίδραση της καθαρής εξερχόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που είναι υπεύθυνη για τη μείωση του βαθμού ψύξης του αέρα.

Όταν ο SVF παίρνει την τιμή 1, τότε υπάρχει ανεμπόδιση θέα προς τον ουρανό (π.χ. από ένα ανοιχτό πεδίο) και, επομένως, οι θερμοκρασιακές τιμές του αέρα της συγκεκριμένης αστικής περιοχής αναμένεται να ακολουθούν στενά τις τιμές της θερμοκρασίας αέρα 'κλωβού' (screen air temperature) που καταγράφονται σε γειτονικό τυπικό μετεωρολογικό σταθμό. Όταν ο SVF παίρνει την τιμή 0, υποδηλώνει ότι η θέα του ουρανού παρεμποδίζεται πλήρως και έτσι οι θερμοκρασιακές τιμές θα επηρεαστούν έντονα από το αστικό περιβάλλον. Ο παράγοντας SVF σχετίζεται

άμεσα με το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Eliasson, 1996) και επηρεάζει έντονα τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο αστικό περιβάλλον. Γενικά, μικρές τιμές SVF συνεπάγονται αύξηση του φαινομένου της θερμικής νησίδας κατά τη διάρκεια της νύκτας: ένας μέσος δείκτης SVF έχει βρεθεί ότι έχει καλή συσχέτιση με την εμφάνιση μέγιστης τιμής της αστικής θερμικής νησίδας για διαφορετικές πόλεις (Oke, 1981; Park, 1987).

Ωστόσο, οι νυχτερινές θερμοκρασίες σε αυτούς τους κλειστούς χώρους είναι θερμότερες από το περιβάλλον και τηρούν την ένταση της αστικής θερμικής νησίδας (Oke, 1981). Οπτικά, ένας υψηλότερος συντελεστής θέασης του ουρανού παρέχει την αίσθηση της "ανοιχτότητας" στον υπαίθριο χώρο, μια τιμή που έχει αναδειχθεί ως σημαντικός παράγοντας για τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν υπαίθριους ανοιχτούς χώρους. Ο συντελεστής θέασης συσχετίζεται καλά με τη θερμοκρασία επιφάνειας όχι όμως και με τη θερμοκρασία του αέρα μέσα στην πόλη (Barrington et al., 1985; Eliasson 1992).

Στην περίπτωση δρόμων σε ένα αστικό περιβάλλον, ο συντελεστής SVF μπορεί να εκφρασθεί μαθηματικά ως συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου: $SVF = \cos[\arctan(2H/W)]$, όπου H/W είναι η αναλογία του ύψους των κτιρίων H (Height=ύψος) προς το πλάτος W (Width=πλάτος) του δρόμου.

Η παραμετρική αυτή σχέση εκφράζει τη συμβολή της καθαρής εξερχόμενης ροής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος στην ψύξη του αέρα και υποδηλώνει, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ότι αυτή εξαρτάται από την ανοικτή έκθεση της περιοχής στον ουρανό που δίνεται από τον παράγοντα SVF και ο οποίος, στην περίπτωση αστικών δρόμων, εξαρτάται από την αναλογία H/W των δρόμων. Η αναλογία μεταξύ του ύψους των κτιρίων (H) και της απόστασης μεταξύ τους (W) επηρεάζει την ποσότητα της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ακτινοβολίας και επίσης επηρεάζει τις ταχύτητες του ανέμου, αποδεικνύοντας έτσι ότι η νυχτερινή αστική θερμική νησίδα αυξάνει με τον λόγο H/W , αφού η καθαρή εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία μειώνεται λόγω της μειωμένης θέασης προς τον ουρανό (SVF). Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η αναλογία H/W , τόσο μικρότερη τιμή έχει ο SVF και ως εκ τούτου, τόσο πιο μικρή είναι η επίδραση της καθαρής εξερχόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος στο βαθμό ψύξης του αέρα μέσα στον αστικό δρόμο. Ο SVF συνδέεται με την νυχτερινή ψύξη δια ακτινοβολίας, μια διαδικασία πολύ σημαντική στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών και πολύ χρήσιμη κατά την επικράτηση θερμών συνθηκών (Urmanis, Eliasson, & Lindqvist, 1998).

B3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΆΝΕΣΗ

Κατά τον Mayer (1993), στον πολεοδομικό σχεδιασμό και την αστική ανάπλαση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η φυσιολογία, η υγεία και η ευεξία των ανθρώπων, με σκοπό την προσέγγιση των χαρακτηριστικών του “ιδανικού αστικού μικροκλίματος” προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κλιματικό στρες.

Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες (ASHRAE, 1981). Βιολογικά, η θερμική άνεση επιτυγχάνεται όταν η παραγωγή θερμότητας από τον άνθρωπο, ισούται με την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον, με στόχο τη διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας σώματος στους 37°C. Με βάση αυτό, το εύρος ευνοϊκών μικροκλιματικών παραμέτρων είναι πολύ περιορισμένο.

Ο άνθρωπος έχει την ανάγκη να προσαρμόζει το ισοζύγιο της θερμότητας του σώματος με το θερμικό περιβάλλον με στόχο να μεγιστοποιείται η θερμική άνεση (Ebi et al., 2009). Η θερμική άνεση, δηλαδή η θερμική ισορροπία, επιτυγχάνεται όταν η επιπλέον θερμότητα που παράγεται από τον άνθρωπο διαχέεται ομαλά στο περιβάλλον, δηλαδή όταν επιτυγχάνεται θερμική ισορροπία ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και τον περιβάλλοντα χώρο. Η διατήρηση της θερμικής αυτής ισορροπίας προϋποθέτει την εξισορρόπηση των θερμικών απωλειών με το ποσό της θερμότητας που δέχεται ο οργανισμός από το περιβάλλον και το ποσό που παράγεται από τον μεταβολισμό (Χρονοπούλου-Σερέλη & Χρονόπουλος, 2011). Η εξισορρόπηση του ισοζυγίου θερμότητας, ελέγχεται από αυτόνομο σύστημα ρύθμισης θερμοκρασίας το οποίο οδηγείται από συνειδητή αίσθηση θερμικής δυσφορίας (Ebi et al., 2009). Το ελάχιστο στρες μπορεί να επέλθει όταν ο μεταβολισμός ισορροπείται με την απώλεια σε θερμότητα σε μια θερμοκρασία κοντά στους 37°C. Αυτή η θερμοκρασία επιτυγχάνεται όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κοντά στους 25°C. Ωστόσο, αν ο περιβάλλοντας χώρος δεν είναι ευνοϊκός για συνθήκες θερμικής άνεσης, ο άνθρωπος μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί και να τις βελτιώσει, με διάφορους τρόπους, όπως μεταβάλλοντας το ρουχισμό, τη δραστηριότητα κ.α.

Η ανθρώπινη αντίδραση μπορεί να εκτιμηθεί από την εξίσωση του θερμικού ενεργειακού ισοζυγίου, λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη το στρες, τον μεταβολισμό, την ακτινοβολία, την μεταγωγή και την εξάτμιση.

Η θεμελιώδης εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου εκφράζεται ως εξής (ISO, 1993):

$M - W = E + R + C + K + S$, όπου η διαφορά $M - W$ είναι πάντα θετική και

M = το θερμικό ποσό που παράγεται από τον μεταβολισμό

W = απαραίτητη ενέργεια για την εκτέλεση μηχανικού έργου

E = αποβαλλόμενη από την επιφάνεια του δέρματος θερμότητα, μέσω εξάτμισης

R = αποβαλλόμενη από την επιφάνεια του δέρματος θερμότητα, μέσω ακτινοβολίας

C = αποβαλλόμενη από την επιφάνεια του δέρματος θερμότητα, μέσω μεταφοράς

K = αγωγιμότητα

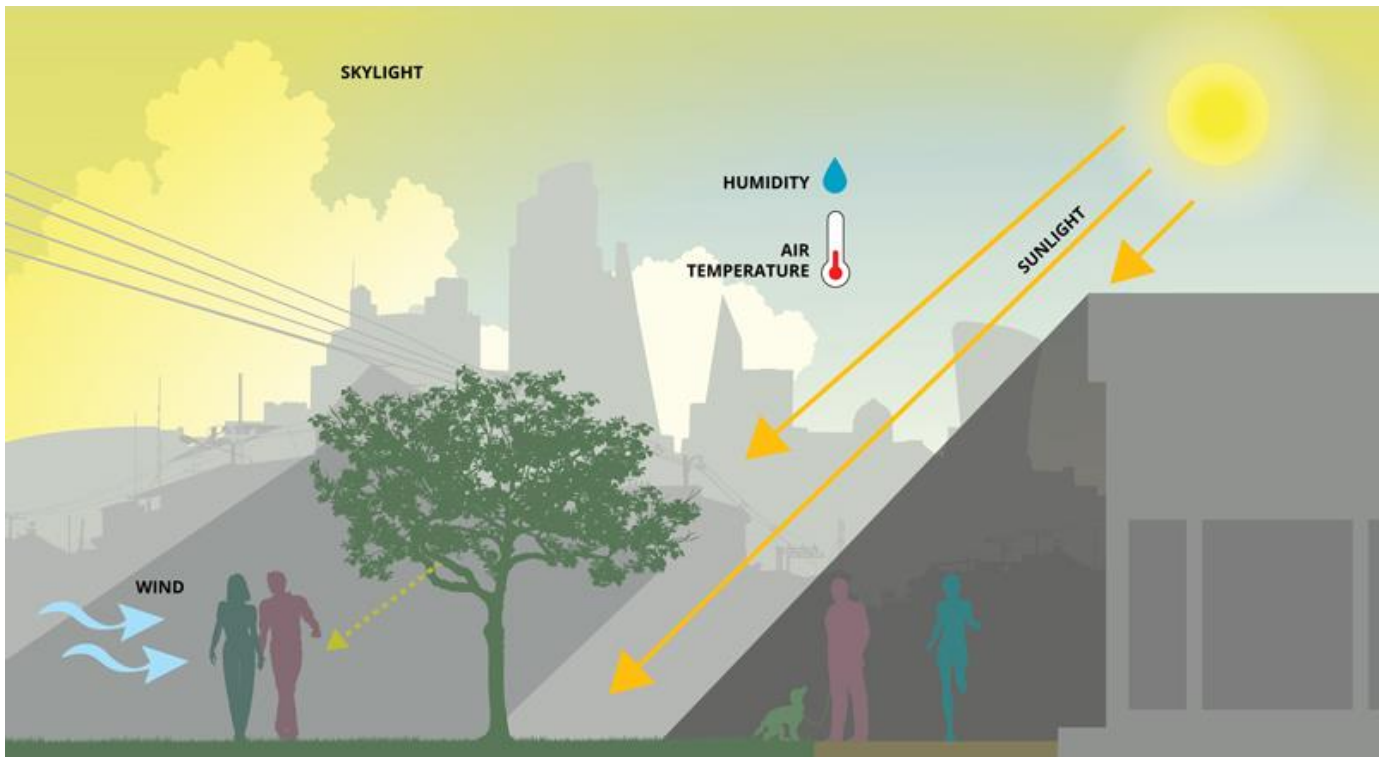
S = ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα

Το εύρος των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση ενός ατόμου, είναι αρκετά μεγάλο και μέσα σε αυτό εμπεριέχονται ακόμα και παράγοντες που έχουν σχέση με την κοινωνική και ψυχολογική του κατάσταση.

Για να επιτευχθεί θερμορύθμιση του σώματος θα πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να ρυθμίζει και να συντονίζει όλο το σύστημα. Ο μηχανισμός αυτός, ονομάζεται μηχανισμός θερμορύθμισης του σώματος και είναι εξαιρετικά σύνθετος. Η αποτελεσματικότητα αυτού και η ταχύτητα ανταπόκρισής του, γίνεται εμφανής αν αφαιρέσουμε μέρος του ρουχισμού ενός ατόμου ή προσθέσουμε ρουχισμό ή ακόμα και αν αλλάξουμε θέση ή κατάλυμα, γιατί παρόλο που θα αλλάξει το άμεσο θερμικό περιβάλλον, το σώμα θα διατηρήσει τη θερμοκρασία του. Η βασική 'αποστολή' του συστήματος θερμορύθμισης είναι η επιβίωση του ανθρώπου αρχικά και η εξασφάλιση της πιο 'άνετης' θερμοκρασίας για την λειτουργία των οργάνων του σώματος (Parsons 1993). Γενικά, είναι αποδεκτό από το σύνολο των μελετητών πως όταν η σωματική θερμοκρασία ανεβαίνει, τα αιμοφόρα αγγεία διαστέλλονται, αυξάνοντας τη ροή του αίματος διαμέσου του δέρματος, ώστε να αυξηθούν οι απώλειες θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας και δευτερευόντως αρχίζει η λειτουργία της εφίδρωσης (ιδρώτας). Η εφίδρωση και το αποτέλεσμά της, η ψύξη μέσω εξάτμισης, είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο δροσισμού, γιατί η ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση του ιδρώτα είναι ο βασικός μηχανισμός ψύξης του δέρματος. Αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος μόνο μερικά δέκατα, μπορεί να διεγείρει το μηχανισμό της εφίδρωσης, που τετραπλασιάζει τη μετάδοση θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον. Αντίθετα, όταν η σωματική θερμοκρασία πέφτει, τα αιμοφόρα αγγεία συστέλλονται, μειώνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να μειωθεί η απώλεια θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Παράλληλα, η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται με την αύξηση των εσωτερικών καύσεων, την ενεργοποίηση των μυών και την εμφάνιση ρίγους. Η κίνηση αυτή των μυών αυξάνει τις καύσεις, άρα και την παραγόμενη θερμότητα από το σώμα. Ο άνθρωπος θεωρεί το περιβάλλον του ως θερμικά άνετο όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτή η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως θερμική ισορροπία, αφού ένα άτομο δεν αισθάνεται αυξημένες ή μειωμένες τιμές θερμοκρασίας αέρος στον περιβάλλοντά του χώρο.

Παράμετροι που επηρεάζουν τη Θερμική Αίσθηση

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη θερμική άνεση είναι περιβαλλοντικοί, βιολογικοί και εξωτερικοί (Κοτσίρης Γ., 2007). Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν την απόκριση του ανθρώπου στα διάφορα θερμικά περιβάλλοντα (Parsons, 1993). Η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία ακτινοβολίας, η υγρασία και η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι οι τέσσερις βασικές περιβαλλοντικές παράμετροι που επηρεάζουν την αντίδραση του ανθρώπου στα θερμικά περιβάλλοντα (Parsons, 1993). Αυτές οι περιβαλλοντικοί παράμετροι σε συνδυασμό με τους εξωτερικούς παράγοντες (ανθρώπινοι παράμετροι) της μεταβολικής παραγωγής θερμότητας και της ένδυσης, αποτελούν τους έξι θεμελιώδεις παράγοντες που ορίζουν το ανθρώπινο θερμικό περιβάλλον.



Εικόνα Β3.1: Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση- Thermal comfort contributing factors (https://rwdi.com/en_ca/knowledge/blog/how-urban-planners-can-use-microclimate-and-thermal-comfort-to-create-quality-outdoor-urban-spaces)

Θερμοκρασία Αέρα (air temperature (T_{air} , °C)),

Ως θερμοκρασία του αέρα αναφέρεται η μέτρηση της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων του αέρα. Η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την εποχή και την τοποθεσία. Συνήθως είναι θερμότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας και ψυχρότερη τη νύχτα, και επίσης τείνει να είναι υψηλότερη το καλοκαίρι και χαμηλότερη το χειμώνα. Επιπλέον, η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να διαφέρει ανάλογα με παράγοντες όπως το υψόμετρο, η νεφοκάλυψη και η παρουσία κοντινών υδάτινων σωμάτων. Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση, δημιουργώντας την αίσθηση της

«ζέστης ή κρύου» σε έναν χώρο. όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή, μπορεί να οδηγήσει σε θερμικό στρες, αφυδάτωση και αντίστοιχα όταν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή, μπορεί να προκαλέσει υποθερμία.

Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας (Mean radiant temperature, T_{mrt} °C)

Για την περιγραφή και ποσοτικοποίηση της θερμικής ακτινοβολίας του περιβάλλοντος, χρησιμοποιείται κυρίως η παράμετρος Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature, T_{mrt}) (Parsons 1993). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η επίδραση της ροής ακτινοβολίας μιας επιφάνειας στο περιβάλλον που βρίσκεται. Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια και όσο πιο κοντά βρίσκεται τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση που έχει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι όταν κάποιος κινείται μέσα σε ένα χώρο, η τιμή της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας αλλάζει, ανάλογα με τη θέση του στο χώρο. Όσο μεγαλύτερη είναι μια επιφάνεια τόσο υψηλότερη ή χαμηλότερη είναι η T_{mrt} στο συγκεκριμένο σημείο και αντίστοιχα, ανάλογα με την απόσταση, τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει αυτή η επιφάνεια πάνω στο άτομο.

Αυτή η παράμετρος χαρακτηρίζεται ως η πιο σημαντική για τον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε άκρως δυσμενείς θερμικές συνθήκες (Matzarakis, 1995). Για ένα άτομο με καθορισμένη θέση και ενδυμασία, ορίζεται ως η αντίστοιχη μέση θερμοκρασία εκπομπής μέλανος σώματος, στο οποίο θα είχαμε τις ίδιες απώλειες και οφέλη ακτινοβολίας κάτω από όμοιες συνθήκες περιβάλλοντος (Matzarakis&Mayer, 2000).

Για να είναι εφικτός ο υπολογισμός της T_{mrt} πρέπει να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις των επιφανειών που ακτινοβολούν γύρω από το σώμα που μελετάμε. Σημασία έχει επίσης ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με τις πηγές ακτινοβολίας και το ορατό μέρος του ουράνιου θόλου. Στον υπολογισμό του T_{mrt} σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος με τον οποίο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον άνθρωπο, η λευκαύγεια (albedo), το πάχος της ενδυμασίας και το χρώμα του δέρματος.

Ταχύτητα ανέμου (Wind speed, WS , m/s)

Άνεμος είναι η συστηματική κίνηση του αέρα και προσδιορίζεται από την ένταση του (δηλαδή την ταχύτητα του) και την διεύθυνση του. Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να κινηθεί και κατακόρυφα (ανοδικά και καθοδικά ρεύματα), αλλά σαν άνεμος θεωρείται μόνο η οριζόντια συνιστώσα της κίνησης του (Χρονοπούλου-Σερέλη & Χρονόπουλος, 2011). Η ταχύτητα του ανέμου, που περιβάλλει τον άνθρωπο και καθορίζει μερικώς τη ροή θερμότητας από και προς αυτόν, παίζει καθοριστικό ρόλο στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου (Tuller, 1980). Στο ISO 7730 (1993) προτείνεται ότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η ταχύτητα ανέμου όσο και η τυπική απόκλιση αυτής, δηλαδή η ένταση στροβιλισμού (Turbulence Intensity). Η παράμετρος αυτή είναι ο λόγος της τυπικής απόκλισης των στιγμιαίων ταχυτήτων ανέμου προς τη μέση ταχύτητα ανέμου και μπορεί να αποτελέσει βασικό

κριτήριο στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης (Parsons, 1993). Η ταχύτητα του ανέμου, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία αέρος, μπορεί να επιδράσει στον ρυθμό αποβολής ή πρόσληψης θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα και κατά συνέπεια να επηρεάσει ακόμα πιο δραστικά τη θερμοκρασία του σώματος (Fanger P. O., 1972).

Σχετική Υγρασία (Relative humidity, RH, %)

Σχετική υγρασία – RH (%) του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχονται σε δεδομένο όγκο υγρού αέρα, προς τη μάζα των υδρατμών που θα περιείχε ο όγκος αυτός, αν ήταν κορεσμένος σε υδρατμούς, κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. (ASHRAE 55-1992). Είναι ίση με το λόγο της τάσης των υδρατμών, προς τη μέγιστη τάση αυτών, στην ίδια τιμή της θερμοκρασίας του δείγματος. Η σχετική υγρασία επηρεάζει την εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. χαμηλή σχετική υγρασία του αέρα, ενισχύει την αποβολή νερού από το ανθρώπινο σώμα (υπό τη μορφή ιδρώτα που εξατμίζεται), προκαλώντας έτσι μία αίσθηση δροσισμού. Το αντίθετο αποτέλεσμα έχει η υψηλή υγρασία, η οποία παρεμποδίζει την εξάτμιση του ιδρώτα, δηλαδή την αποβολή θερμότητας, που είναι και ο μόνος τρόπος διατήρησης του θερμικού ισοζυγίου σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ένδυση

Η ένδυση λειτουργεί ως ένα είδος θερμικής αντίστασης στην αποβολή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η ένδυση είναι παράμετρος που ρυθμίζεται από το κάθε άτομο, προκειμένου να αισθανθεί θερμικά άνετα, χωρίς την κατανάλωση οποιασδήποτε μορφής ενέργειας.

Η βασικότερη παράμετρος της ενδυμασίας είναι η θερμική αντίσταση της ένδυσης (thermal insulation of clothing - Clo). Η θερμική αντίσταση που οφείλεται στην ένδυση επηρεάζει το μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας μεταξύ ανθρωπίνου σώματος και περιβάλλοντος. Η μονάδα Clo είναι η αριθμητική έκφραση της συνολικής θερμικής αντίστασης της ένδυσης, $1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($\text{m}^2\text{K/W}$: συντελεστής θερμοπερατότητας, W: Watt, m^2 : τετραγωνικά μέτρα, K: μονάδες Kelvin) (ASHRAE 55-1992).

Μεταβολισμός

Ο ανθρώπινος οργανισμός ακόμα και όταν ηρεμεί παράγει έργο. Το έργο που παράγεται μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό μετατρέπεται σε θερμότητα και αποτελεί μέρος της εσωτερικής θερμότητας στο ενεργειακό ισοζύγιο. Από την στιγμή που ο άνθρωπος κινείται τότε ένα μέρος της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε έργο προς τα έξω και παύει να αποτελεί διαθέσιμη θερμότητα για τον οργανισμό. Ο μεταβολισμός εξαρτάται από την ηλικία, το φύλο, και το βάρος του σώματος. Παρόλα αυτά ο βασικός παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται, είναι το επίπεδο της δραστηριότητας. Έτσι, η θερμότητα που παράγει το ανθρώπινο σώμα, αυξάνεται καθώς αυξάνεται η δυσκολία

της δραστηριότητας. Εάν λοιπόν, θεωρηθεί ότι ένας μέσος άνθρωπος έχει εμβαδόν επιφάνειας σώματος περίπου 1.8 m² τότε ο μεταβολισμός ενός μέσου ενήλικα, την ώρα που αναπαύεται ισούται με 1 met. (ASHRAE55- 92).

Activity	Met Units	Metabolic Rate		Activity	Met Units
			W/m ²		
Resting			Resting		
Sleeping	0.7		40	Sleeping	0.7
Reclining	0.8		45	Reclining	0.8
Seated, quiet	1.0		60	Seated, quiet	1.0
Standing, relaxed	1.2		70	Standing, relaxed	1.2

B4. ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ-ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Για την ποσοτικοποίηση και την έκφραση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου, όπως αυτή διαμορφώνεται από τις περιβαλλοντικές-ατμοσφαιρικές συνθήκες, έχουν αναπτυχθεί δείκτες, οι Βιομετεωρολογικοί-Βιοκλιματικοί δείκτες. Οι δείκτες αυτοί υπολογίζονται από τον μαθηματικό τύπο των διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων με κυριότερες τις βασικές (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία) (T_{mrt} , WS , T_{air} , RH) λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα σχετικά με τα άτομα που υφίστανται την επίδραση των περιβαλλοντικών αυτών παραμέτρων και τη γεωμετρία της περιοχής.

Παρόλο του μεγάλου αριθμού βιομετεωρολογικών δεικτών, πολλοί από αυτούς μοιράζονται αρκετούς κοινούς χαρακτήρες, με αποτέλεσμα να μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες (Givoni, 1976). Μια κατηγοριοποίηση είναι ο διαχωρισμός τους σε απλούς ή σύνθετους. Οι απλοί χρησιμοποιούν μετεωρολογικές παραμέτρους, ενώ οι σύνθετοι συμπεριλαμβάνουν και δεδομένα που αφορούν τη φυσιολογία και τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, και σχετίζονται με τη θερμορύθμιση καθώς και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου.(Fanger P. O., 1972).

Ορισμένοι σύνθετοι δείκτες οι οποίοι εφαρμόζονται στα πολύπλοκα ως προς τη διαμόρφωση τους αστικά περιβάλλοντα (Jendritzky & Nübler, 1981) είναι οι δείκτες: Physiological Equivalent Temperature (PET), Standard Effective Temperature (SET*), Predicted Mean Vote (PMV) και Universal Thermal Climate Index (UTCI). ((Hörpe, 1999; Matzarakis and Mayer, 1991, Tseliou et al., 2010). Οι δείκτες PET, SET*, UTCI και χρησιμοποιούν ως μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου (°C), γεγονός που τους έχει κάνει ιδιαίτερα δημοφιλείς τόσο στην επιστημονική κοινότητα αλλά και το ευρύ κοινό γιατί γίνονται πιο εύκολα κατανοητά τα αποτελέσματά τους (Johansson and Emmanuel 2006; Ali-Toudert and Mayer 2007). Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένοι από αυτούς τους δείκτες.

PHYSIOLOGICAL EQUIVALENT TEMPERATURE (PET)

Ο δείκτης PET (Physiologically equivalent temperature) βασίζεται στο ανθρώπινο ενεργειακό ισοζύγιο και περιγράφει τις επιδράσεις των μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία του αέρα, σχετική υγρασία, ταχύτητα του ανέμου, μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία) και των θερμοφυσιολογικών συνθηκών (ρουχισμός και δραστηριότητα) στους ανθρώπους. (Hörpe 1999; Matzarakis et al. 1999). Ορίζεται ως η θερμοκρασία αέρος στην οποία η ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία για τις υποτιθέμενες συνθήκες εσωτερικού χώρου, είναι ισορροπημένη από την ίδια θερμοκρασία δέρματος και ρυθμό εφίδρωσης, όπως στις υπολογίσιμες πραγματικές εξωτερικές συνθήκες (Mayer and Matzarakis, 1997). Στην ουσία μεταφράζει τη θερμική αίσθηση ενός ανθρώπου που βρίσκεται σε εξωτερικό περιβάλλον και είναι εκτεθειμένος στις περιβαλλοντικές συνθήκες, σε θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος με την απουσία ακτινοβολιών ($T_a = T_{mrt}$), σταθερή ταχύτητα ανέμου ($WS = 0.1 \text{ m.s}^{-1}$) και τάση ατμών ($VP = 12 \text{ hPa}$) (Hörpe 1993). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και θερμών αλλά και ψυχρών συνθηκών και λόγω αυτού μπορεί να έχει εφαρμογή για κάθε εποχή του χρόνου (Hörpe, 1999).

Για τον υπολογισμό του, απαιτούνται δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας αέρος, ακτινοβολιών, ταχύτητας ανέμου, αλλά και του ατόμου. Για να είναι συγκρίσιμες οι τιμές του PET, γίνεται υπόθεση ότι η δραστηριότητα ενός ανθρώπου ύψους 1.75 m, βάρους 75kg και ηλικίας 35 ετών, είναι ίση με 80W και η αντίσταση στην μεταφορά θερμότητας προέρχεται από ρουχισμό με συντελεστή 0.9 Clo. (Hörpe, 1999; Matzarakis et al., 1999). Οι τιμές του δείκτη εκφράζονται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) και έχουν κατηγοριοποιηθεί εκφράζοντας τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου κυμαινόμενες από πολύ ψυχρό ($PET \leq 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) σε πολύ ζεστό ($PET \geq 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ενώ η κατηγορία άνετο κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 18 - 23 $^{\circ}\text{C}$. (Matzarakis et.al. 1999) (Πίνακας Β4.1.)

PET ($^{\circ}\text{C}$)	Θερμική αίσθηση - Human Sensation
>41.1	Πολύ ζεστό
35.1 - 41.0	Ζεστό
29.1 - 35.0	Θερμό
23.1 - 29.0	Ελαφρά θερμό
18.1 - 23.0	Άνετο
13.1 - 18.0	Ελαφρά δροσερό
8.1 - 13.0	Δροσερό
4.1 - 8.0	Ψυχρό
<4.0	Πολύ ψυχρό

ΠΙΝΑΚΑΣ Β4.1: Κατηγοριοποίηση θερμικής αίσθησης του ανθρώπου κυμαινόμενες από πολύ ψυχρό ($PET \leq 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) σε πολύ ζεστό ($PET \geq 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (Matzarakis et.al. 1999)

Η αξιολόγηση της θερμικής αίσθησης έγινε με βάση το εύρος τιμών PET που έχουν υπολογιστεί για τη Μεσογειακή περιοχή. (Πίνακας Β4.2)

PET Αρχικής κλίμακας	Θερμική αίσθηση	PET Μεσογειακής κλίμακας
>41.1	Πολύ ζεστό	
35.1 - 41.0	Ζεστό	> 39.1
29.1 - 35.0	Θερμό	31.2 - 39.1
23.1 - 29.0	Ελαφρά θερμό	23.8 - 31.2
18.1 - 23.0	Άνετο	14.8 - 23.8
13.1 - 18.0	Ελαφρά δροσερό	5.2 - 14.8
8.1 - 13.0	Δροσερό	0.7 - 5.2
4.1 - 8.0	Ψυχρό	<0.7
<4.0	Πολύ ψυχρό	

ΠΙΝΑΚΑΣ Β4.2: αξιολόγηση της θερμικής αίσθησης έγινε με βάση το εύρος τιμών PET που έχουν υπολογιστεί για τη Μεσογειακή περιοχή. (Tseliou and Tsiros, 2016)

STANDARD EFFECTIVE TEMPERATURE (SET*)

Ο δείκτης SET* ορίζεται ως η θερμοκρασία αέρα στην οποία σε ένα περιβάλλον αναφοράς το άτομο έχει την ίδια θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) και υγρασίας (RH%) όπως στο πραγματικό περιβάλλον (Gagge et al. 1972). Τα δύο περιβάλλοντα είναι ισοδύναμα σε φυσιολογική πίεση και θερμική άνεση. Ο δείκτης SET* υπολογίζεται από το μοντέλο δύο κόμβων του Pierce της ανθρώπινης θερμορύθμισης. Το μοντέλο δύο κόμβων του Pierce χρησιμοποιεί μια διαδικασία πεπερασμένων διαφορών για την εκτίμηση των φυσιολογικών παραμέτρων για κάθε δεδομένο θερμικό περιβάλλον, το μεταβολικό ρυθμό του υποκειμένου και τη μόνωση του ρουχισμού. (Doherty and Arens, 1988). Ο δείκτης SET* χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία και την υγρασία του δέρματος ως περιοριστικές συνθήκες οι τιμές των οποίων προκύπτουν από το μοντέλο Pierce (Gagge et al. 1971, Gagge et al. 1986). Ως περιβάλλον αναφοράς έχουν οριστεί οι παρακάτω τιμές: Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt}) = θερμοκρασία αέρα (T_a), ταχύτητα ανέμου (w_{sp}) = $0.15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, σχετική υγρασία (RH%) = 50%, μεταβολισμός (M) = 1.2met , αντίσταση ένδυσης (I_{clo}) = 0.6 clo . (Gagge et al., 1972).

Οι ενδείξεις του δείκτη κυμαίνονται από πολύ κρύο ($SET^* < 1$) σε πολύ ζεστό ($SET^* > 33$) ενώ οι τιμές μεταξύ 12 – 22 °C αντιστοιχούν στην κατηγορία «άνετο» (Πίνακας 3.10)

SET* (°C)	Θερμική αίσθηση - Human Sensation
<1.0	Πολύ κρύο
1.1 - 8	Κρύο
8.1 - 12	Δροσερό
12.1 - 22	Άνετο
22.1 - 26	Θερμό
26.1 - 33	Ζεστό
>33	Πολύ ζεστό

Πίνακας: B4.3: Σχέση μεταξύ θερμικής αίσθησης και τιμών του SET* (Gagge et al. 1972)

PREDICTED MEAN VOTE (PMV)

Το μοντέλο αυτό συνδέει τις τέσσερις φυσικές μεταβλητές (θερμοκρασία του αέρα, σχετική υγρασία, ταχύτητα του ανέμου, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας) και τις δύο μεταβλητές του ατόμου (ρουχισμός και δραστηριότητα) σε ένα δείκτη πρόβλεψης θερμικής άνεσης. Οι ενδείξεις του δείκτη αντιστοιχούν στην κλίμακα θερμικής αίσθησης της ASHRAE και αντιπροσωπεύουν τη μέση θερμική αίσθηση που αισθάνεται μια μεγάλη ομάδα ατόμων σε έναν χώρο. Οι ενδείξεις του δείκτη κυμαίνονται από κρύο (PMV = -3) σε πολύ ζεστό (PMV = 3) . (ASHRAE, 2001, Fanger, 1970).

-3	-2	-1	0	1	2	3
cold	cool	slightly cool	neutral	slightly warm	warm	hot

Πίνακας B4.5: Οι ενδείξεις του δείκτη από κρύο (PMV = -3) σε πολύ ζεστό (PMV = 3) . (ASHRAE, 2001, Fanger, 1970).

Το μοντέλο PMV έχει σχεδιαστεί για να προβλέπει τη μέση θερμική αίσθηση για ένα σύνολο ανθρώπων. Εντός μιας τέτοιας ομάδας, οι βέλτιστες θερμικές συνθήκες μεταξύ των ατόμων είναι πιθανό να διαφέρουν έως και 1,15° C (Fanger & Langkilde, 1975), ή έως και 1 μονάδα στην κλίμακα θερμικής αίσθησης ASHRAE (Humphreys & Nicol, 2002).

Τιμές PMV	Ανθρώπινη θερμική αίσθηση
+3	Πολύ ζεστή
+2	Ζεστή
+1	Λίγη ζεστή
0	Θερμικά ουδέτερο (άνεση)
-1	Ελαφρά δροσερό
-2	Δροσερό
-3	Κρύο

Πίνακας B4.6: Ταξινόμηση των τιμών του δείκτη PMV σύμφωνα με την επιβάθμια κλίμακα της ASHRAE (Fanger, 1972)

Απόλυτη τιμή του PMV	Βαθμός επιβάρυνσης
0,0 - 0,5	Καμία επιβάρυνση
0,6 - 1,2	Ελαφρά επιβάρυνση
1,3 - 2,0	Μέτρια επιβάρυνση
2,1 - 3,0	Μεγάλη επιβάρυνση
> 3,0	Πολύ μεγάλη επιβάρυνση

Πίνακας B4.7: Ταξινόμηση της θερμικής επιβάρυνσης του ανθρώπινου οργανισμού που αναλογεί στις διάφορες τιμές του PMV (Fanger, 1972)

UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX (UTCI).

Ο Παγκόσμιος Δείκτης Θερμικού Κλίματος UTCI αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της δράσης COST 730 (COST Action 730 (Cooperation in Science and Technical Development)) με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και αποσκοπεί στην αξιολόγηση των εξωτερικών θερμικών συνθηκών στους κύριους τομείς της ανθρώπινης βιομετεωρολογίας. (Jendritzky et al. 2009, Bröde et al. 2012). Εκφράζεται ως η ισοδύναμη θερμοκρασία (oC) ενός περιβάλλοντος αναφοράς που προκαλεί την ίδια φυσιολογική απόκριση σε ένα άτομο όπως θα συνέβαινε σε πραγματικές συνθήκες (Weihs et al. 2011). Αποτελεί έναν δείκτη που ενσωματώνει όλες τις υπάρχουσες γνώσεις και παρουσιάζει πάντα την ίδια θερμοφυσιολογική ερμηνεία, που να είναι ανεξάρτητη από τις τιμές του συνδυασμού των μετεωρολογικών παραμέτρων που χρησιμοποιεί (Jendritzky et al. 2001). Για τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη όλοι οι μηχανισμοί ανταλλαγής θερμότητας και μπορεί να ισχύσει παγκοσμίως και να εφαρμοστεί σε όλα τα κλίματα, τις περιοχές, τις εποχές και σε κάθε βιομετεωρολογική εφαρμογή (Jendritzky et al. 2001).

Ο δείκτης UTCI (Jendritzky et al. 2007) θα πρέπει τελικά να παρέχει ένα μονοδιάστατο μέγεθος το οποίο θα αντικατοπτρίζει επαρκώς την ανθρώπινη φυσιολογική αντίδραση στις πραγματικές θερμικές συνθήκες. (Bröde et al. 2012). Λόγω της ευαισθησίας του δείκτη στην υγρασία, την ακτινοβολία και την ταχύτητα ανέμου, μπορεί να έχει αξιόπιστα αποτελέσματα για θερμές και ψυχρές συνθήκες. (Bröde et al. 2012; Schreier et al. 2013). Υπολογίζεται σε βαθμούς Κελσίου (°C) και η κλίμακά του κυμαίνεται από έντονο θερμικό stress λόγω ζέστης (UTCI >46 °C) σε έντονο θερμικό stress λόγω ψύχους (UTCI <-40 °C), ενώ η ουδέτερη κατάσταση αντιστοιχεί μεταξύ των τιμών 9 – 24 °C της κλίμακας .

UTCI (°C) range	Stress Category
>46	extreme heat stress
38 - 46	very strong heat stress
32 - 38	strong heat stress
26 - 32	moderate heat stress
9 - 26	no thermal stress
9 - 0	slight cold stress
0 - (-13)	moderate cold stress
(-13) - (-27)	strong cold stress
(-27) - (-40)	very strong cold stress
< (-40)	extreme cold stress

Πίνακας Β4.8: Σχέση μεταξύ θερμικής αίσθησης και τιμών του δείκτη UTCI. Πηγή: http://www.utci.org/utci_doku.php

B5. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΧΩΡΩΝ

Το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει τόσο το εσωτερικό περιβάλλον όσο και τη συνολική ποιότητα ζωής στις πόλεις. Για τη βιωσιμότητα και τη χρήση ενός αστικού περιβάλλοντος υπάρχει η ανάγκη σχεδιασμού άνετων αστικών υπαίθριων χώρων όσον αφορά τη θερμική αντίληψη, τον ημερήσιο φωτισμό, την αστική γεωμετρία, το πράσινο και την ακουστική άνεση (Djukic et al. 2016, Chatzidimitriou et al., 2016, Mazhar et al., 2015). Ο όρος "βιοκλιματικός σχεδιασμός υπαίθριων χώρων" ορίζει τον τύπο του σχεδιασμού αστικών υπαίθριων χώρων που προάγει τη θερμική, ακουστική και οπτική άνεση των επισκεπτών κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας και σε όλες τις εποχές του χρόνου με τη μικρότερη δυνατή δαπάνη ενέργειας, η οποία θα επηρεάσει επίσης την κατανάλωση ενέργειας των γύρω κτιρίων. Στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού αστικών υπαίθριων χώρων είναι η αξιοποίηση των στοιχείων σε έναν αστικό υπαίθριο χώρο ώστε να επιτευχθούν όσο το δυνατόν καλύτερες συνθήκες σε σχέση με τη θερμική αντίληψη, το φωτισμό, την αστική γεωμετρία, το πράσινο και την ακουστική άνεση. Στη διαδικασία του βιοκλιματικού σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη πληροφορίες όπως η κλιματική άνεση (Djukic et al., 2016, Xue et al., 2016), η θερμική αντίληψη, η οπτική και η ακουστική άνεση με σκοπό το σχεδιασμό άνετων αστικών υπαίθριων χώρων (Lenzholzer et al., 2016, Nasrollahi et al, 2016, Meng et al., 2016). Για την επίτευξη άνεσης στους εξωτερικούς χώρους πρέπει να γίνει χρήση των στοιχείων της αστικής γεωμετρίας, του πρασίνου και η κατάλληλη επιλογή υλικών.

Η γεωμετρική διαμόρφωση του χώρου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στις επιφάνειές των στοιχείων του χώρου (Eliasson, 1990). Η επίδραση όμως της γεωμετρικής διαμόρφωσης είναι πιο έντονη και άμεση στην περίπτωση της παραμέτρου T_{mrt} , η οποία είναι η πιο καθοριστική παράμετρος της θερμικής άνεσης του ανθρώπου και είναι απαραίτητη στον υπολογισμό των δεικτών Physiological Equivalent Temperature (PET), Predicted Mean Vote (PMV) και Standard Effective Temperature (*SET) που αυτή τη στιγμή είναι τα σπουδαιότερα εργαλεία αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών (Gulyas, Unger, & Matzarakis, 2006).

Εκτός από τη διάταξη και τον προσανατολισμό των αντικειμένων στο χώρο, είναι πολύ σημαντική και η υλική τους σύσταση στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών, δηλαδή η φύση του υλικού, το χρώμα του, η ανακλαστική του ικανότητα και οι θερμικές του ιδιότητες (Chato, 1985). Η πιο μελετημένη, ως προς την επίδρασή της στις κλιματικές συνθήκες, παράμετρος είναι η ανακλαστικότητα ή λευκαύγεια (albedo). Ως λευκαύγεια ορίζουμε τον λόγο της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα αντικείμενο και μετράται ποσοστιαία (%) ή σε κάποιες περιπτώσεις ως δεκαδικός αριθμός (Oliver, 2005). Το εύρος των τιμών που παρατηρείται για κάθε υλικό οφείλεται αφενός στις διαφορετικές αποχρώσεις του και αφετέρου στην πιθανώς διαφορετική υφή του (Wilmers, 1988). Η τιμή της λευκαύγειας είναι καθοριστική τόσο για τη θερμική συμπεριφορά του υλικού και τη διαμόρφωση του ισοζυγίου ακτινοβολιών όσο και για τη θερμοκρασία επιφανείας του και του αέρος κοντά σε αυτό.

Η επίδραση της βλάστησης είναι πολυδιάστατη και συγκροτείται κυρίως από τη σκίαση που προσφέρει αλλά και από την εξατμισοδιαπνοή της ως μέρος της φυσιολογικής λειτουργίας των φυτών. Η εμβέλεια της επίδρασης του χώρου πρασίνου συναρτάται από την έκταση, το σχεδιασμό, τα επιλεγμένα φυτικά είδη και τη διαμόρφωση των χώρων που τον περιβάλλουν (Akbari, 1992). Κατά τη διάρκεια της ημέρας η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει τη θερμοκρασία του παρακείμενου ατμοσφαιρικού αέρα. Η βλάστηση γενικά διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των βασικότερων βιοκλιματικών παραμέτρων δεδομένου ότι μειώνει τη θερμοκρασία, την ταχύτητα του ανέμου και την ακτινοβολία και αυξάνει την υγρασία του αέρα. Οι φυτοκαλυμμένες επιφάνειες γενικά αυξάνουν την υγρασία του αέρα, χαρακτηριστικό που μπορεί να έχει κατά περίπτωση θετική ή αρνητική επίδραση στις βιοκλιματικές συνθήκες διότι αυτή η αύξηση έχει διαφορετική επίδραση σε μια τροπική αστική περιοχή στις διαμορφούμενες κλιματικές συνθήκες σε σχέση με μια μεσογειακή ή άλλη θερμή και ξηρή αστική περιοχή (Fanger, Højbjerg, & Thomsen, 1974).

Μείωση της ταχύτητας του ανέμου διαπιστώνεται εντός και γύρω από την περιοχή του φυτοκαλυμμένου χώρου. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι επιθυμητή ή όχι, ανάλογα με την εποχή του έτους, γιατί αφενός μπορεί να είναι επιθυμητή κατά την ψυχρή περίοδο του έτους αλλά κατά τη θερμή, η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου βελτιώνει τη θερμική αίσθηση των κατοίκων. Όμως με κατάλληλο σχεδιασμό των χώρων πρασίνου μπορεί να αμβλυθεί η μείωση της ταχύτητας του αέρα και να ενταθεί η ευεργετική του επίδραση (Aynsley & Spruill, 1990).

Η βλάστηση ανάλογα με το ύψος, τη σύνθεση και την πυκνότητά της μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Το αποτέλεσμα αυτής της μείωσης δεν μπορεί να αξιολογηθεί αυτοτελώς αν δεν ληφθούν υπ' όψη όλες οι κλιματικές παράμετροι της περιοχής και της εποχής. Γενικά όμως, η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, ως συνέπεια της ύπαρξης βλάστησης, που φθάνει στις επιφάνειες οδηγεί σε τοπική μείωση της θερμοκρασίας κατά τις ώρες της ημέρας, αποτέλεσμα που είναι συχνά επιθυμητό όσον αφορά στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, ιδιαίτερα κατά τη θερμή περίοδο (Bernatzky, 1982).

Τέλος όσον αφορά όμως στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, η κατάσταση περιπλέκεται γιατί αυτή επηρεάζεται ταυτόχρονα από την ακτινοβολία, τη θερμοκρασία και υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και τέλος την ταχύτητα ανέμου. Οι έως τώρα μελέτες που εστίασαν στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου κάτω από γενικά θερμές συνθήκες συγκλίνουν στη θετική αποτίμηση της βλάστησης στη διαμόρφωση ευνοϊκών ατμοσφαιρικών συνθηκών εντός της πόλης (Streiling & Matzarakis, 2003).

Η επίδραση αυτών των στοιχείων - εργαλείων στην άνεση εξαρτάται από τη θέση και τη χρήση του χώρου και τα αποτελέσματα μιας μικροκλιματικά καλά σχεδιασμένης περιοχής είναι άνεση στο χώρο, υγιές περιβάλλον και εξοικονόμηση ενέργειας στα γύρω κτίρια (Tsitoura et al., 2016, Zoras et al., 2015)

B6. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Κατά το σχεδιασμό ενός αστικού χώρου είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη και οι περιβαλλοντικές παράμετροι σχεδιασμού. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος διερεύνησης του αστικού περιβάλλοντος και ποσοτικοποίησης των παραμέτρων του μικροκλίματος για την ελαχιστοποίηση του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας κατά τη φάση του σχεδιασμού είναι η προσομοίωση του προτεινόμενου σχεδιασμού στα μικροκλιματικά δεδομένα της περιοχής. Ένας μεγάλος αριθμός αριθμητικών μοντέλων πρόβλεψης των διαφορετικών αστικών κλιματικών μεταβλητών έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Μέσω της χρήσης των περιβαλλοντικών μοντέλων προσομοίωσης είναι εφικτό να υπολογιστούν και να προσομοιωθούν πολλαπλές μεταβλητές και ατμοσφαιρικές διεργασίες σε ότι αφορά το αστικό μικρόκλιμα.

Μέσω των περιβαλλοντικών μοντέλων προσομοίωσης μπορούν να γίνουν διάφορα σενάρια σχεδιασμού και να συγκριθούν μέσω της βοήθειας των βιοκλιματικών δεικτών.

Για τον υπολογισμό των βιοκλιματικών δεικτών, σε ένα μοντέλο θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι ροές ενέργειας που λαμβάνουν χώρα σε έναν χώρο. Πιο συγκεκριμένα, ένα μοντέλο προσομοίωσης θα πρέπει να περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη Γεωμετρία του χώρου, τις Ιδιότητες των υλικών και τα Μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής. Οι πληροφορίες αυτές ποικίλλουν ως προς το επίπεδο λεπτομέρειας ανάλογα με το κάθε μοντέλο προσομοίωσης. Τα κλιματικά μοντέλα μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την κλίμακά τους, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από χιλιόμετρα σε μερικά εκατοστά. Η κλίμακα προσομοίωσης αποτελεί την αρχική επιλογή ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου σχεδιασμού. Ανάλογα με την επιθυμητή κλίμακα προσομοίωσης επιλέγεται και το αντίστοιχο μοντέλο και κατ' επέκταση οι πληροφορίες εισόδου και εξόδου. Για παράδειγμα, μια πρόταση ενός νέου πολεοδομικού σχεδιασμού θα πρέπει να υλοποιηθεί με ανάλυση προσομοίωσης μεσο- ή μικρο-κλίμακας και να περιέχει πληροφορίες όπως η γεωμετρία των κτιρίων, οι ιδιότητες των υλικών των προσόψεων και της επιφάνειας του εδάφους καθώς και το πράσινο. (Torarlar et al. 2017).

Για την προσομοίωση του αστικού περιβάλλοντος έχουν σχεδιαστεί διάφορα μοντέλα, καθένα από τα οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικές κλίμακες σχεδιασμού και κατηγοριοποιούνται με βάση τις διαθέσιμες υπολογιστικές μεθόδους. Τα αστικά μικροκλιματικά μοντέλα ποικίλουν εξαιρετικά ως προς τη φυσική τους βάση αλλά και τη χωρική τους ανάλυση. Τα αστικά μοντέλα μικροκλίματος διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη φυσική τους βάση, τη χρονική και τη χωρική ανάλυση τους. Σε επίπεδο μικροκλίμακας, τα τριδιάστατα (3D) μοντέλα ροής του ανέμου είναι τα πιο εύκολα εφαρμόσιμα (π.χ. Eichorn 1989, Johansson and Hunter 1995), ενώ όσα περιλαμβάνουν όλες τις υδρολογικές, θερμικές και ενεργειακές διαδικασίες είναι πολύ λίγα, μεταξύ άλλων επειδή είναι πολύ χρονοβόρα. Υπάρχουν απλουστευμένα μοντέλα, στα οποία τα αποτελέσματα παρέχονται χρησιμοποιώντας αριθμητικές προσεγγίσεις των διαφορικών εξισώσεων καθώς και μοντέλα προσομοίωσης που

υποστηρίζουν υπολογιστικές μεθόδους επίλυσης θερμοδυναμικών διαφορικών εξισώσεων σε διαφορετικά ύψη και σημεία εντός του αστικού πλέγματος. Πολύ λίγα μοντέλα μικροκλίματος εκτιμούν την προκύπτουσα θερμική άνεση πέρα από μεταβολές αστικού μικροκλίματος (π.χ. Asawa et al. 2000, Teller and Azar 2001). Αυτό οφείλεται κυρίως στο δύσκολο προσδιορισμό των ροών ακτινοβολίας γύρω από το ανθρώπινο σώμα στις σύνθετες αστικές περιοχές. Ως εκ τούτου, το ζήτημα μοντελοποίησης της θερμικής άνεσης στους αστικούς υπαίθριους χώρους συχνά αντιμετωπίζεται με τη χρήση απλουστευμένων μεθόδων, στις οποίες εξαιρούνται πολλές ατμοσφαιρικές διεργασίες. Αυτές στη συνέχεια αντικαθίστανται από δεδομένα που εισάγονται από τον χρήστη, παίρνοντας ως δεδομένο τη διαθεσιμότητά τους (π.χ. ημερήσια στοιχεία των θερμοκρασίας αέρα (Ta), ταχύτητας ανέμου (V) και σχετικής υγρασίας (RH)).

Στην εικόνα B6.1 παρουσιάζονται τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα προσομοίωσης, όπως εξετάστηκαν από τους Allegrini et al. (2015). Κάθε ένα από τα μοντέλα διαφέρει ως προς το επίπεδο λεπτομέρειας των δεδομένων εισόδου. Όσο αυξάνεται το επίπεδο λεπτομέρειας στα δεδομένα εισόδου, τόσο πιο ακριβή και ρεαλιστικά τείνουν να είναι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Το στοιχείο που προσδιορίζει την επιλογή ενός μοντέλου είναι η επιθυμητή πληροφορία εξόδου. Οι έξοδοι μπορεί να διαφέρουν από τη πρόγνωση μίας μόνο μεταβλητής π.χ. θερμοκρασίας αέρα (Swaid and Hoffman 1990), σε μια λεπτομερή μικροκλιματική περιγραφή π.χ. ENVI-met (Bruse 1999).

	External air flow	SW radiation	LW radiation	Building thermal	User behaviour	Building system	Thermal network	Electrical network	Gas network	District plant	Thermal storage	Wind power	Photovoltaics	Ground source	Spatial	Transportation	Embodied energy		
CitySim	X ¹	D ²	D	S	D	S	S	X	X	X	S ³	S ³	S	S	D	X	X	City energy simulation for groups of buildings / city quarters. [13] citysim.epfl.ch	
EnergyPlus	S	D	S ⁴	D	D	D	S	X	X	S	S	S	S	S	D	S ⁵	X	Detailed building simulation, limited interactions. [125] eere.energy.gov/buildings/energyplus	
ESP-r	S	D	S	D	D	D	S	D ⁶	X	S	D ⁷	S	S	S	S	X	X	Detailed building simulation, thermal and elec networks possible. [127] esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm	
IDA ICE	S	D	S	D	D	D	D ⁸	X	X	S	S	X	S	D	S	X	X	Detailed building simulation, thermal networks possible. [129] equa.se	
Polysun	X ⁹	D	S	S ¹⁰	D	D	D	S	X	S	D	X	D	D	X	X	X	Detailed solar thermal and hydraulic systems. [130] velasolaris.com/english/home.html	
TRNSYS	L	D	D	D	D	D	D	S	X	D	D	D	D	D	X	X	X	Detailed simulation tool for systems and single buildings. [131] trnsys.com	
Envi-met	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	X	X	Microclimate model. [132] envi-met.com
KULeuven IDEAS lib	S	D	D	D	D ¹¹	D	S	D	X	S	S	X	D ¹²	D ¹³	X	X	X	District-level Modelica library. [40] github.com/open-ideas	
LBNL District lib	S	D	D	D	S	D	S	D	X	S	S	S	D	D ¹⁴	X	X	X	District (and building) Modelica libraries. [133] github.com/lbl-srg	
energyPRO	X	X	X	L	X	D	D	D	X	D	D	D	D	S	S ¹⁵	X	X	Techno-economic simulation of energy systems. [134] energypro.org	
RETScreen	X	X	X	S	S	S	S	X	X	S	S	S	S	S	S	X	X	Energy, life cycle cost, emissions, finance and risk analysis. [135] retscreen.net	
HOMER	X	X	X	L ¹⁶	X	X	X	X ¹⁷	X	S	D	D	X	X	X	X	X	Microgrid design optimisation. [136] homerenergy.com	
Termis	X	X	X	L	X	X	D	X	X	S	S	X	X	X	L	X	X	Operate, simulate & optimise district heating networks. schneider-electric.com	
Neplan	X	X	X	L	X	X	D	D	S	X	D	S	X	X	L ¹⁸	X	X	Simulate & optimise electrical, water, gas and heating networks. [137] neplan.ch	
NetSim	X	X	X	L	X	X	D	X	X	D	X	X	X	X	L ¹⁹	X	X	District heating, cooling and steam simulation environment. [138] vitecssoftware.com/en/Energy/	
EnerGis	X	X	X	S	X	S	S ²⁰	X	X	S	X	X	S	S	D	X	X	GIS-based urban energy and district heat network design tool. [139]	
SynCity	X	X	X	S	D ²¹	S	S	S	S	S	D	S	S	S	D ²²	D	X	Integrated tool for holistic urban energy systems modelling ²³ . [140] imperial.ac.uk/urbanenergysystems	
EPIC-HUB	X	X	X	L	X	S	S	S	S	X	X	X	L	L	X	S	X	Middleware platform for multi-carrier infrastructure systems. epichub.eu	
MEU	X	L	L	L ²⁴	S	S	S	S	X	S	X	X	S	X	D	X	X	Energy management tool for cities and multi-energy utilities. [141] meu.epfl.ch	
UMI	X	L ²⁵	L	L	X	X	X	X	X	X	X	X	L	X	D ²⁶	D ²⁷	S	Rhino-based link to Radiance and EnergyPlus. [142] urbanmodeling.net	
Radiance	X	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	D	X	D	X	X	Powerful ray-tracing program. [143] radsite.lbl.gov	
Solene	L	D ²⁸	D	S	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	D	X	X	Energy simulation for city quarters. [144] cerma.archi.fr	
Fluent	D	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	CFD software. ansys.com	
OpenFOAM	D	X	D ²⁹	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Extensible CFD software. openfoam.com	

Key	
X	Not included
L	Link to other program
S	Simplified model
D	Detailed model

Εικόνα B6.1: Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα προσομοίωσης. (Allegrini et al. (2015)

B7. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ UMEP

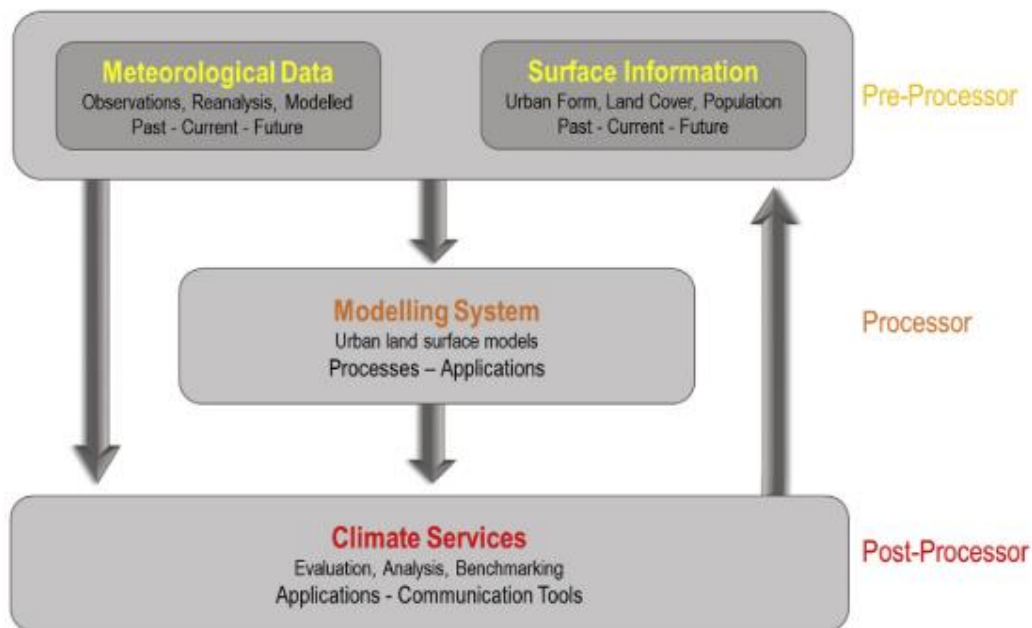
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UMEP - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο με εφαρμογή στην αστική κλιματολογία και στον βιοκλιματικό σχεδιασμό. Στην τρέχουσα μορφή του, το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές που σχετίζονται με τη θερμική άνεση υπαίθριων χώρων, την κατανάλωση ενέργειας στο αστικό περιβάλλον και τη μετρίαση της κλιματικής αλλαγής. Το UMEP αποτελείται από ένα συζευγμένο σύστημα μοντελοποίησης που συνδυάζει σύγχρονα μοντέλα 1-D και 2-D με συστήματα εισαγωγής δεδομένων από πολλαπλές πηγές, με ποικίλλες μορφές και σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες, καθώς και συστήματα παραγωγής αποτελεσμάτων ως δεδομένα, γραφήματα και χάρτες. (Lindberg et al., 2018) Το σύστημα μοντελοποίησης που περιέχεται στο UMEP έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί από την κλίμακα της αστικής χαράδρας έως την κλίμακα της πόλης (10^0 - 10^5 m) ανάλογα με την εφαρμογή. Αυτό είναι το εύρος των κλιμάκων που πρέπει να γίνει κατανοητό στα περισσότερα έργα αστικού κλίματος, αρχιτεκτονικής και αστικού σχεδιασμού. Το μοντέλο είναι σε θέση να εκτιμήσει έναν αριθμό μεταβλητών που σχετίζονται, για παράδειγμα, με τις χωρικές μεταβολές των ανταλλαγών ενέργειας στην αστική επιφάνεια, τις εξελίξεις του οριακού στρώματος (Lindberg et al., 2014). Σημαντικό χαρακτηριστικό του UMEP αποτελεί η ικανότητά του εργαλείου να συνδέει τις σχετικές διαδικασίες και να χρησιμοποιεί κοινά δεδομένα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. (Lindberg et al., 2018)

Το UMEP είναι ένα εργαλείο ανοικτού κώδικα χωρίς περιορισμούς όσον αφορά το κόστος, την άδεια χρήσης ή τα δικαιώματα. Το λογισμικό λειτουργεί ως plug-in στο QGIS το οποίο είναι μια δωρεάν διαπλατφορμική εφαρμογή διαπλατφορμική ανοικτού κώδικα συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System) (QGIS Development Team, 2017). Αυτό αποτελεί και ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του καθώς δίνεται στους χρήστες η δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με χωρικές πληροφορίες για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του μοντέλου και να επεξεργάζονται, να χαρτογραφούν και να απεικονίζουν τις εισροές και τα αποτελέσματα. (Lindberg et al., 2018)

Η δομή του προγράμματος αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: (Εικόνα B7.1)

- προ-επεξεργαστής (Pre - Processor): για τις εισόδους των μετεωρολογικών και επιφανειακών πληροφοριών
- επεξεργαστής (Processor): σύστημα μοντελοποίησης, π.χ. Urban Land Surface Models, ULSM) και
- μετα-επεξεργαστής (Post- Processor): εργαλεία για την ανάλυση των αποτελεσμάτων (μεμονωμένη περίπτωση και σύνολο, δείκτες αβεβαιότητας, εφαρμογές χρήστη κ.λπ.)



Εικόνα B7.1: Δομή του UMEP (Lindberg et al., 2018)

Το λογισμικό UMEP επιτρέπει στους χρήστες:

- την ενσωμάτωση ατμοσφαιρικών και επιφανειακών δεδομένων από πολλαπλές πηγές
- τη λήψη μετεωρολογικών δεδομένων που μετρήθηκαν σε "τυπικές" τοποθεσίες (π.χ. αεροδρόμιο) και την προσαρμογή αυτών ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά του αστικού περιβάλλοντος
- τη χρήση δεδομένων ανάλυσης ή κλιματικών προβλέψεων
- τη σύγκριση και απεικόνιση των αποτελεσμάτων ή σεναρίων για διάφορους κλιματικούς δείκτες ενδιαφέροντος (δείκτες θερμότητας, έντονες βροχοπτώσεις, ζήτηση νερού/ενέργειας).

Όλα αυτά μπορούν να γίνουν σε διάφορες χωρικές κλίμακες, σύμφωνα με τις ανάγκες και τα ενδιαφέροντα των τελικών χρηστών. Το λογισμικό παρέχει τόσο καθοδήγηση και εργαλεία που επιτρέπουν την προετοιμασία και τον χειρισμό των δεδομένων για τη διευκόλυνση των χρηστών. Τα δεδομένα εξαγωγής μπορούν να ενσωματωθούν σε άλλα πιο σύνθετα συστήματα μοντελοποίησης καιρού, κλίματος, υδρολογίας και περιβάλλοντος και αντίστοιχα δεδομένα από πιο σύνθετα μοντέλα μπορούν να εισαχθούν στο UMEP. Οι χρήστες μπορεί να ενδιαφέρονται για τα αποτελέσματα των εργαλείων που παρέχονται στον προ - επεξεργαστή για άλλες εφαρμογές μοντελοποίησης (π.χ. για τη δημιουργία πληροφοριών αστικής επιφάνειας ή τυποποιημένων μετεωρολογικών πεδίων) ή για εφαρμογές που απαιτούν μια αλυσίδα εργαλείων για την παροχή κλιματικών δεικτών για τη λήψη αποφάσεων. (Lindberg et al., 2018)

Το UMER διαθέτει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων. Κάθε ένα από τα στοιχεία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα ή σε διάφορους συνδυασμούς.

Οι εφαρμογές του λογισμικού κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Εφαρμογές θερμικής άνεσης

- Extreme Finder - προσδιορισμός ακραίων θερμικών συνθηκών
- SOLWEIG – προσδιορισμός μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt

Εφαρμογές αστικού ενεργειακού ισοζυγίου

- SUEWS - ροές αστικού ενεργειακού και υδατικού ισοζυγίου
- LQF, GQF – ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας

Εφαρμογές ηλιακής ακτινοβολίας

- SEBE – Ηλιακή ενέργεια στο κέλυφος του κτιρίου

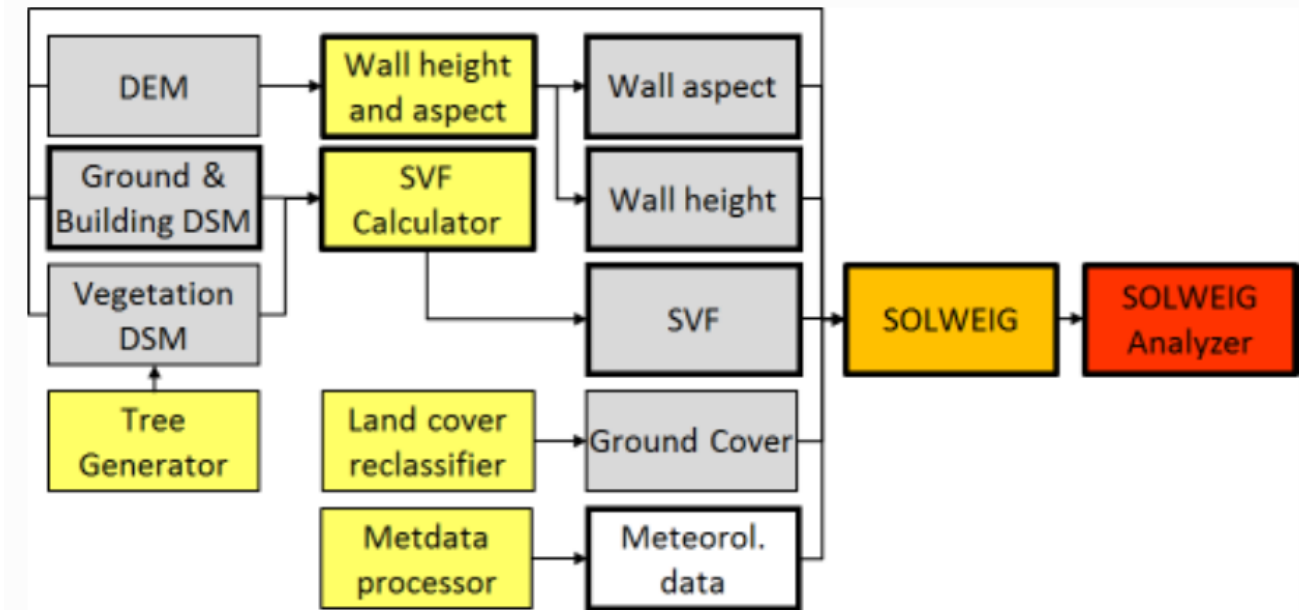
ΜΟΝΤΕΛΟ SOLWEIG

Δομή

Το μοντέλο SOLWEIG (SOlar and LongWave Environmental Irradiance Geometry model), προσομοιώνει τις χωρικές μεταβολές των τρισδιάστατων ροών ακτινοβολίας και μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt σε πολύπλοκα αστικά περιβάλλοντα. (Lindberg et al., 2008). Είναι επίσης σε θέση να μοντελοποιεί τις χωρικές μεταβολές των μοτίβων σκιάς. Η Tmrt είναι μία από τις βασικές μετεωρολογικές μεταβλητές που διέπουν το ανθρώπινο ενεργειακό ισοζύγιο και τη θερμική άνεση των ανθρώπων. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας Tmrt, η οποία είναι το άθροισμα όλων των ροών ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους κύματος (άμεσης και ανακλώμενης), στις οποίες εκτίθεται το ανθρώπινο σώμα, είναι ένας από τους σημαντικότερους μετεωρολογικούς παράγοντες που καθορίζουν το ενεργειακό ισοζύγιο και τη θερμική άνεση του ανθρώπου σε ανοιχτούς υπαίθριους χώρους. Η Tmrt ορίζεται ως η "ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός φανταστικού χώρου στον οποίο η μεταφορά ακτινοβολούμενης θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα ισούται με τη μεταφορά ακτινοβολούμενης θερμότητας στον πραγματικό μη ομοιόμορφο χώρο" (ASHRAE 2001, Lindberg et al., 2008).

Στο SOLWEIG, η Tmrt προκύπτει από τη μοντελοποίηση των ροών ακτινοβολίας σε έξι κατευθύνσεις (προς τα πάνω, προς τα κάτω και από τα τέσσερα σημεία του ορίζοντα) και από γωνιακούς παράγοντες. Οι απαιτούμενες εισροές για το μοντέλο αυτό είναι, η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων (shortwave radiation), η

Θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος (ambient air temperature), η υγρασία (humidity), η αστική γεωμετρία (urban geometry) και η φυτοκάλυψη (vegetation cover). (Lindberg et al. 2014) Το SOLWEIG είναι επίσης σε θέση να μοντελοποιεί μοτίβα σκιάς, που αποτελούν σημαντικές πληροφορίες για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό μιας περιοχής.



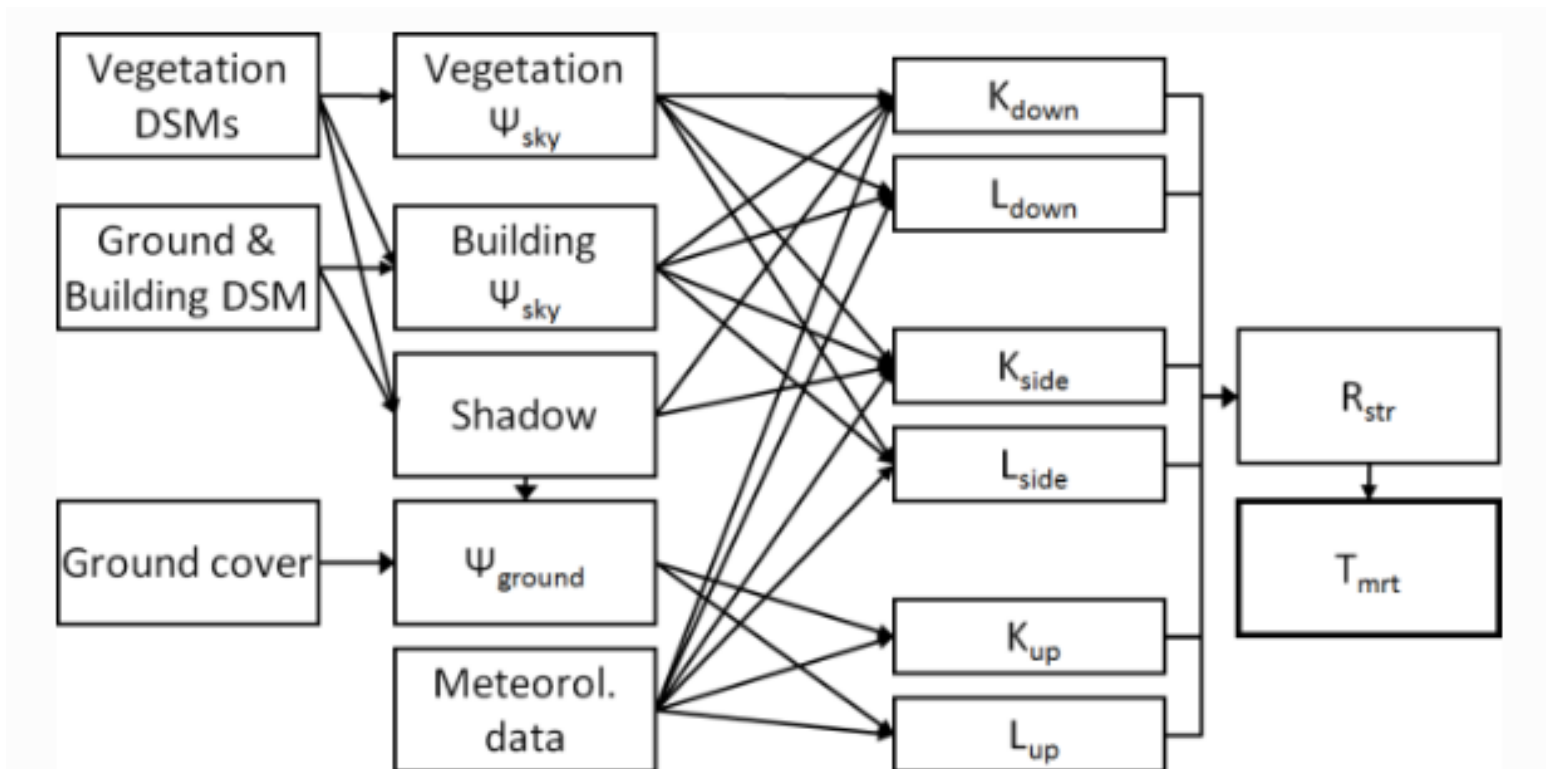
Εικόνα B7.2: Ροή εργασίας και γεωδεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας με τη χρήση του μοντέλου SOLWEIG. Τα έντονα περιγράμματα είναι υποχρεωτικά στοιχεία. Το κίτρινο, το πορτοκαλί και το κόκκινο υποδεικνύουν εργαλεία προ-επεξεργαστή, επεξεργαστή και μετα-επεξεργαστή, αντίστοιχα. Τα γκριζα πλαίσια υποδεικνύουν σύνολα γεωδεδομένων. (Lindberg et al., 2018)

Το SOLWEIG έχει αξιολογηθεί εκτενώς και έχει εφαρμοστεί σε αστικές τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο (Πίνακας B7.1). (Lindberg et al. 2018)

City	Reference	Variables	Settings
Evaluation			
Gothenburg, Sweden	Lindberg et al. (2008)	Radiant fluxes and T_{mrt}	City square, courtyard
Gothenburg, Sweden	Lindberg and Grimmond (2011a)	Radiant fluxes and T_{mrt}	City square with tree
Kassel, Germany	Lindberg and Grimmond (2011a)	T_{mrt}	Street canyon
Freiburg, Germany	Lindberg and Grimmond (2011a)	T_{mrt}	Four urban sites
London, UK	Lindberg et al. (2016b)	Radiant fluxes and T_{mrt}	Different urban ground covers
Shanghai, China	Chen et al. (2016)	T_{mrt}	Very dense urban environment
Hong Kong, China	Lau et al. (2016)	T_{mrt}	Very dense urban environment
Application			
Gothenburg, Sweden	Thorsson et al. (2010)	Spatial and temporal T_{mrt}	Future climate scenarios
London, UK	Lindberg and Grimmond (2011b)	T_{mrt}	Intra-urban differences
Gothenburg, Sweden	Lindberg et al. (2013a,b)	Spatial T_{mrt}	Consideration of weather
Stockholm, Sweden	Thorsson et al. (2014)	T_{mrt}	Prediction of heat related mortality
Porto, Portugal	Lau et al. (2014)	T_{mrt}	Effects of urban geometry, climate change
Gothenburg, Sweden	Lau et al. (2014)	T_{mrt}	Effects of urban geometry, climate change
Frankfurt, Germany	Lau et al. (2014)	T_{mrt}	Effects of urban geometry, climate change
Berlin, Germany	Jänicke et al. (2016)	T_{mrt}	City-wide characteristics
Adelaide, Australia	Thom et al. (2016)	T_{mrt}	Influence of increasing tree cover
Gothenburg, Sweden	Lindberg et al. (2016b)	Spatial and temporal T_{mrt}	Future climate scenarios

Πίνακας B7.1: Μελέτες αξιολόγησης και εφαρμογής με τη χρήση του μοντέλου SOLWEIG

Στο Σχήμα Β7.1 παρουσιάζεται η ροή εργασίας του UMER για την εξέταση των τρισδιάστατων ρών ακτινοβολίας.
(Lindberg et al. 2019)



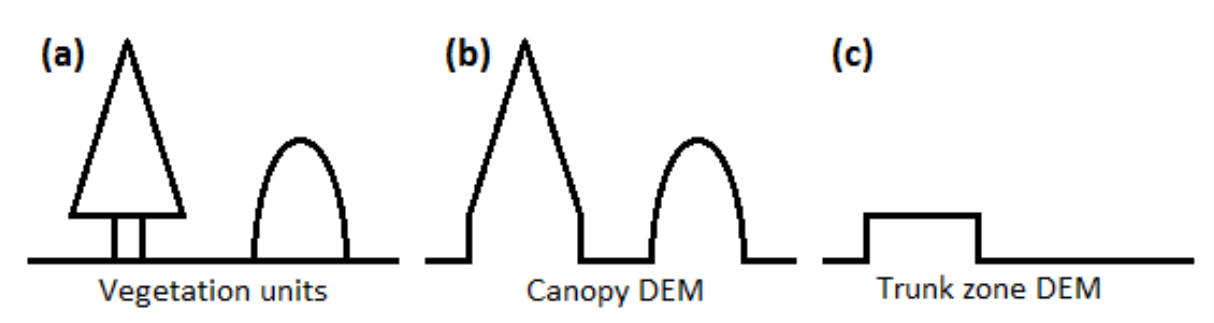
Σχήμα Β7.1: Επισκόπηση μοντέλου SOLWEIG

Δεδομένα εισόδου

Υπάρχουν δύο κατηγορίες δεδομένων που απαιτούνται για την εκτέλεση του SOLWEIG. Η πρώτη κατηγορία είναι η χωρική πληροφορία σε μορφή εικόνας raster και η δεύτερη κατηγορία είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα και ρυθμίσεις, όπως οι περιβαλλοντικές παράμετροι και οι παράμετροι έκθεσης του ανθρώπου. (Lindberg et al. 2019)

Δεδομένα χωρικής πληροφορίας

Αποτελούνται από ψηφιακά επιφανειακά μοντέλα ίδιας έκτασης και ανάλυσης ρixel, με πληροφορίες σχετικά με το έδαφος και τα κτήρια, το υψόμετρο, τη βλάστηση και το υλικό εδαφοκάλυψης. (Εικόνες DSM, DEM, CDSM) (Εικόνα B7.3, B7.4)



Εικόνα B7.3: Σχηματική διατομή της αναπαράστασης της βλάστησης στο SOLWEIG. a Δέντρο κωνοφόρων (αριστερά) και θάμνος (δεξιά), b το DEM του θόλου και c το DEM της ζώνης κορμού με βάση το (α). (Lindberg και Grimmond (2011))



Εικόνα B7.4: Παράδειγμα DSM εδάφους και κτιρίου

Data	Definition	Use	Type	Description
Ground and building digital surface model (DSM)	High resolution surface model of ground and building heights	R	S	Given in metres above sea level (m asl)
Digital elevation model (DEM)	High resolution surface model of the ground	R*	S	R* if land cover is absent to identify buildings. Given in m asl. Must be same resolution as the DSM.
Digital canopy surface model (CDSM)	High resolution surface model of 3D vegetation	O	S	Given in metres above ground level (m agl). Must be same resolution as the DSM.
Digital trunk zone surface model (TDSM)	High resolution surface model of trunk zone heights (underneath tree canopy)	O	S	Given in m agl. Must be same resolution as the DSM.
Land (ground) cover information (LC)	High resolution surface model of ground cover	O	S	Must be same resolution as the DSM. Five different ground covers are currently available (building, paved, grass, bare soil and water)
UMEP formatted meteorological data	Meteorological data from one nearby observation station, preferably at 1-2 m above ground.	R	M	Any time resolution can be given.
Latitude (°)	Solar related calculations	R	O	Obtained from the ground and building DSM coordinate system
Longitude (°)	Solar related calculations	R	O	Obtained from the ground and building DSM coordinate system
<u>UTC (h)</u>	Time zone	R	O	Influences solar related calculations. Set in the interface of the model.
Human exposure parameters	Absorption of radiation and posture	R	O	Set in the interface of the model.
Environmental parameters	e.g. albedos and emissivities of surrounding urban fabrics	R	O	Set in the interface of the model.

R: required, O: Optional, N: not needed, S: Spatial, M: Meteorological

Πίνακας Β7.2: Δεδομένα Εισόδου και Παράμετροι (Lindberg et al. 2019)

Μετεωρολογικά Δεδομένα

Για την προετοιμασία των μετεωρολογικών δεδομένων σε μορφή αναγνωρίσιμη για το μοντέλο χρησιμοποιείται ο προ-επεξεργαστής Metdata Preprocessor. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα λήψης ενός συνόλου δεδομένων για οποιαδήποτε θέση στη Γη χρησιμοποιώντας το Download data (ERA5)-plugin.

Οι μεταβλητές που απαιτούνται για το SOLWIEG είναι οι εξής:

Θερμοκρασία αέρα [°C]

Σχετική υγρασία [%]

Εισερχόμενη ακτινοβολία μικρού μήκους [$W m^{-2}$]

Για τον υπολογισμό των βιοκλιματικών δεικτών PET και UTCI απαιτείται και η ταχύτητα του ανέμου.

Περιβαλλοντικοί παράμετροι

Οι κύριες υποχρεωτικές περιβαλλοντικές παράμετροι είναι το albedo και συντελεστής εκπομπής του εδάφους και των τοίχων. Για τους τοίχους των κτιρίων, πρόκειται για τιμές albedo όγκου με προεπιλογή 0,20 (albedo) και 0,90 (συντελεστής εκπομπής).

Παράμετροι έκθεσης του ανθρώπου

Οι διαθέσιμες παράμετροι έκθεσης του ανθρώπου είναι η Απορρόφηση ακτινοβολίας βραχέων κυμάτων (προεπιλεγμένη τιμή=0,70), η Απορρόφηση ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (προεπιλεγμένη τιμή=0,95) και η Στάση σώματος (προεπιλεγμένη τιμή=στάσιμος)

Δεδομένα εξόδου

Υπάρχουν δύο διαθέσιμες μορφές εξόδου, οι οποίες είναι τα υπολογισμένα πλέγματα διαφόρων παραμέτρων και πληροφορίες για ορισμένα σημεία ενδιαφέροντος (POI) εντός του πεδίου εφαρμογής του μοντέλου. (Lindberg et al. 2019)

Πλέγματα επιφάνειας

1. Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Mean radiation temperature)
2. Εισερχόμενη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (Incoming shortwave radiation)
3. Εξερχόμενη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (Outgoing shortwave radiation)
4. Εισερχόμενη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (Incoming longwave radiation)
5. Εξερχόμενη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (Outgoing longwave radiation)
6. Μοτίβα σκίασης (Shadow patterns)

Σημεία ενδιαφέροντος (POI)

Για τα ορισμένα σημεία ενδιαφέροντος ως πληροφορίες εξόδου αναγράφονται στον Πίνακα B7.3

Column	Name	Description
1	iy	Year [YYYY]
2	id	Day of year [DOY]
3	it	Hour [H]
4	imin	Minute [M]
5	dectime	Decimal time [-]
6	altitude	altitude of the Sun [°]
7	azimuth	azimuth of the Sun [°]
8	kdir	direct beam solar radiation (from meteorological data) [W m-2]
9	kdiff	diffuse component of radiation (from meteorological data) [W m-2]
10	kglobal	global radiation (from meteorological data) [W m-2]
11	kdown	Incoming shortwave radiation [W m-2]
12	kup	Outgoing shortwave radiation [W m-2]
13	keast	Incoming shortwave radiation [W m-2]
14	ksouth	Outgoing shortwave radiation [W m-2]

15	kwest	Incoming shortwave radiation [W m-2]
16	knorth	Outgoing shortwave radiation [W m-2]
17	ldown	Incoming longwave radiation [W m-2]
18	lup	Outgoing longwave radiation [W m-2]
19	least	Incoming longwave radiation [W m-2]
20	lsouth	Outgoing longwave radiation [W m-2]
21	lwest	Incoming longwave radiation [W m-2]
22	lnorth	Outgoing longwave radiation [W m-2]
23	Ta	air temperature from meteorological data [°C]
24	Tg	calculated surface temperature [°C]
25	RH	relative humidity from meteorological data [percent]
26	Esky	sky emissivity
27	Tmrt	mean radiant temperature [°C]
28	IO	theoretical value of maximum incoming solar radiation [W m-2]
29	CI	clearness index
30	Shadow	Shadow value
31	SVF_b	Sky View Factor from ground and buildings
32	SVF_b+v	Sky View Factor from ground, buildings and vegetation
33	Kside1	Direct shortwave radiation from side if cylinder option is used
34	PET	Physiological Equivalent Temperature
35	UTCI	Universal Thermal Comfort Index

Πίνακας Β7.3: Πληροφορίες εξόδου του προγράμματος SOLWEIG για ορισμένα σημεία ενδιαφέροντος POI

Γ. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

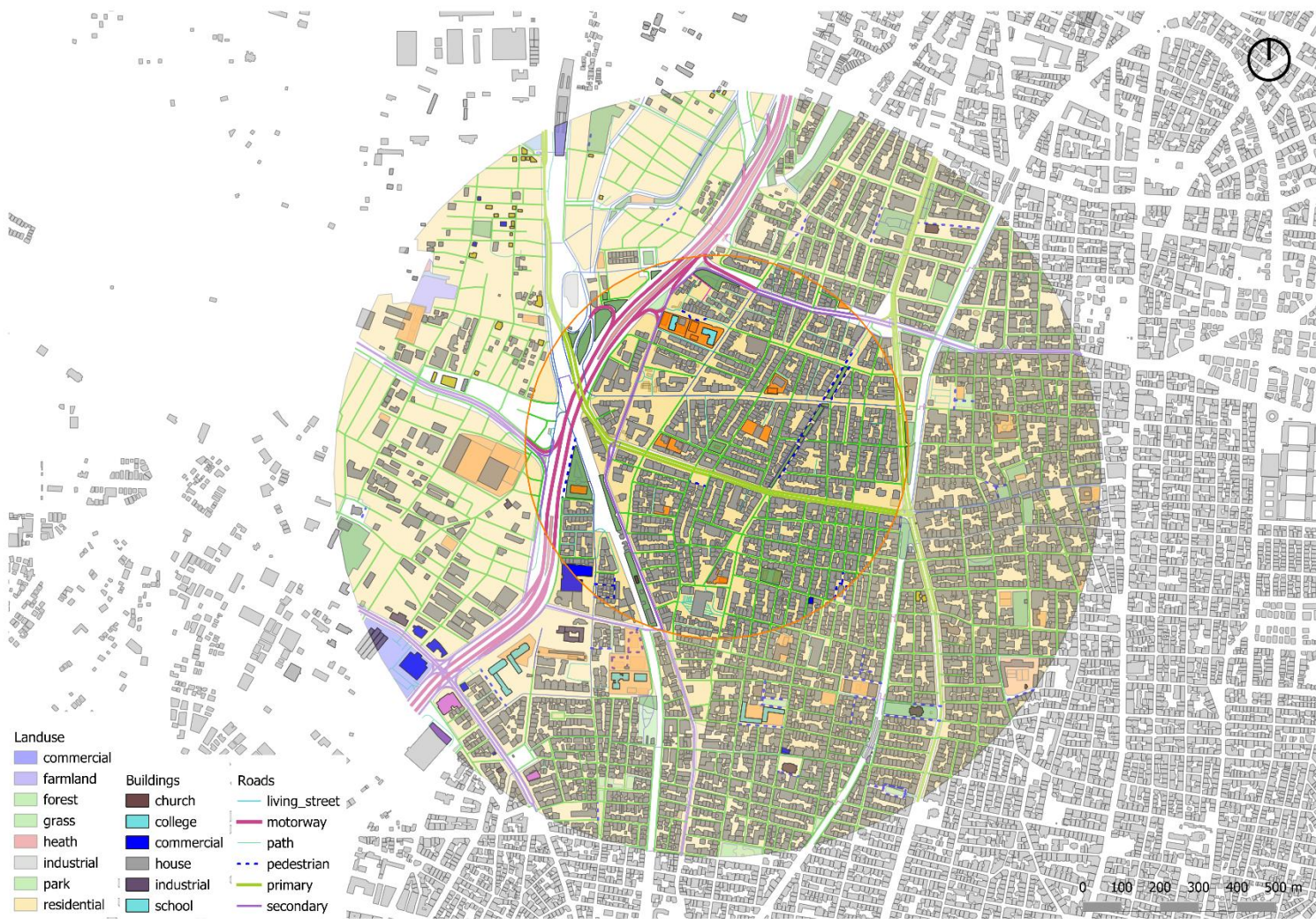
Γ1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen, το κλίμα της Αθήνας είναι Μεσογειακό, ήπια υγρό με ξηρά και θερμά καλοκαίρια. Η μέση ημερήσια διάρκεια ηλιοφάνειας κυμαίνεται μεταξύ 4.5 ωρών τον Ιανουάριο και 12 ωρών τον Ιούλιο. Η ετήσια βροχόπτωση είναι 402mm και η υγρή περίοδος ξεκινά από τον Οκτώβριο – Νοέμβριο και διαρκεί τους Χειμερινούς μήνες. Η μέση θερμοκρασία της χειμερινής περιόδου είναι 9.4 °C και της θερινής περιόδου 25.8 °C. Στο λεκανοπέδιο της Αθήνας η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου είναι Βόρειο και Βορειοανατολική από το τέλος της θερινής περιόδου, το φθινόπωρο και το χειμώνα και Νότιο - Νοτιοδυτική και Νοτιοδυτική την άνοιξη και αρχές της θερινής περιόδου. Στο λεκανοπέδιο της Αθήνας ο αερισμός είναι γενικά ήπιος ενώ το δομημένο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ανέμους μικρής ταχύτητας (Tsiros and Hoffman 2014, Santamouris et al. 1999). Από αυτή την άποψη, στην περίπτωση της Αθήνας και σε αντίθεση με άλλες πόλεις, η επιρροή του ανέμου μπορεί να μην αποτελεί έναν από τους βασικούς μικροκλιματικούς παράγοντες που επιδρά στη θερμική αίσθηση.

Για τους σκοπούς της μελέτης επιλέχθηκε η πλατεία Πύρλα στην περιοχή Κάτω Πατήσια του Δήμου Αθήνας. Η πλατεία Πύρλα αποτελεί έναν ανοιχτό χώρο 1000 m², με απόσταση 75 μ από τον κεντρικό δρόμο Στρ. Καλλάρη, 250 μέτρα από τον πεζόδρομο Στρ. Δαγκλή και περίπου 400 μέτρα από τη λεωφόρο Κηφισού και 650 μέτρα από το σταθμό του τρένου των Κάτω Πατησίων. (Χάρτης Γ1.1)



Εικόνα Γ1.1: Δορυφορική Απεικόνιση Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Google Earth)



Χάρτης Γ1.1: Ανάλυση Ευρύτερης Περιοχής Μελέτης



Κάτοψη αρχικής κατάστασης



Κάτοψη υφιστάμενης κατάστασης

Το καλοκαίρι του 2022, πραγματοποιήθηκε ανάπλαση της πλατείας από το Δήμο Αθήνας. Αντικαταστάθηκε το σύνολο της προ- υπάρχουσας επίστρωσης της πλατείας με πλάκες ψυχρού υλικού, οι οποίες συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας τους θερινούς μήνες, αλλά και στην περιβαλλοντική αναβάθμιση της πλατείας. Πραγματοποιήθηκε ανακατασκευή του δικτύου άρδευσης και ηλεκτροφωτισμού. Η ανάπλαση της πλατείας Πύρρα, πλαισιώθηκε από την πεζοδρόμηση τμήματος της οδού Νικολαΐδου.

Φωτογραφική Απεικόνιση της Πλατείας



Περιβάλλον Κτηριακός Χώρος - Ύψη Κτηρίων περιμετρικά της Πλατείας



Βλάστηση στην Πλατεία



Είδη Φυτικού υλικού



Κυπαρίσσι- *Cupressus sempervirens*



Πλάτανος- *Platanus sp*



Σοφόρα- *Sophora japonica*



Γκρεβιλλεα- *Grevillea robusta*



Μουριά- *Morus alba*



Μεσαίοι θάμνοι

Για την υλοποίηση της παρούσας μελέτης, οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με δορυφορικά δεδομένα της περιοχής πριν την πραγματοποίηση της ανάπλασης. Ο νέος σχεδιασμός μελετάται ως σενάριο προσομοίωσης (Σενάριο 4).

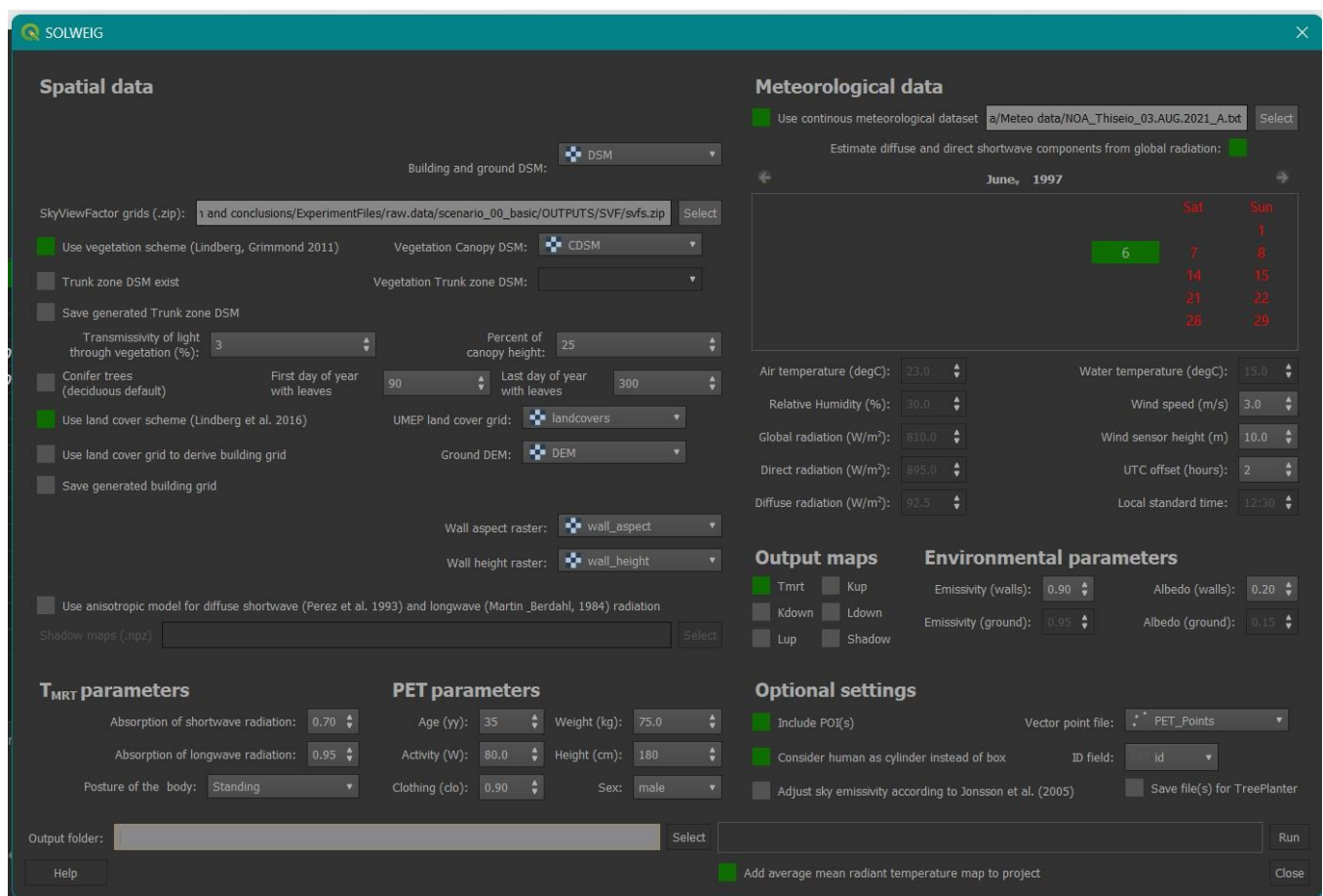
Γ2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης επιλέχτηκε να εξεταστεί ο βιοκλιματικός δείκτης PET, του οποίου η ανάλυση έγινε στο κεφάλαιο Β4. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί ως μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου(°C), γεγονός που κάνει ευκολά κατανοητά τα αποτελέσματά του πειράματος.

Η αξιολόγηση της θερμικής αίσθησης έγινε με βάση το εύρος τιμών PET που έχουν υπολογιστεί για τη Μεσογειακή περιοχή. (Πίνακας Β4.2)

Γ3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Για το αριθμητικό πείραμα χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής της Αθήνας για μια θερμή ημέρα του έτους και ψηφιακά δεδομένα της περιοχής ως αρχικό υπόβαθρο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν 8 σενάρια- προσομοιώσεις με σκοπό να διερευνηθεί αν επηρεάζεται το μικρόκλιμα της περιοχής με βάση το σχεδιασμό της πλατείας. Τα αποτελέσματα αποκτήθηκαν μέσα από τη χρήση του μοντέλου SOLWEIG. Ως POIS επιλέχθηκαν 6 θέσεις για τις οποίες αποκτήθηκαν οι τιμές PET.



Εικόνα Γ3.1: Παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων στο περιβάλλον του SOLWEIG

Dialog sections	
Spatial data	Spatial input data is specified
Meteorological data	Meteorological input data is specified, as a continuous file or specific momentary values.
Environmental parameters	Possibilities to alter emissivities and albedos for the different urban surfaces.
Optional settings	Here additional setting such as including POIs (Points of Interest) is found.
Human exposure parameters	Settings for calculating mean radiant temperature.
Output maps	Options to choose the geotiffs to be saved for each iteration.

Πίνακας Γ3.1: Εξήγηση τμημάτων δεδομένων εισαγωγής

Spatial data	
Building and Ground DSM	A DSM consisting of ground and building heights. This dataset also decides the latitude and longitude used for the calculation of Sun position.
Vegetation Canopy DSM	A DSM consisting of pixels with vegetation heights above ground. Pixels where no vegetation is present should be set to zero.
Vegetation Trunk Zone DSM	A DSM (geoTIFF) consisting of pixels with vegetation trunk zone heights above ground. Pixels where no vegetation is present should be set to zero.
Use vegetation scheme	Tick this box if you want to include vegetation (trees and bushes) in the calculations.
Trunk Zone DSM Exist	Tick this in if a trunk zone DSM already exist.
Transmissivity of Light Through Vegetation (%)	Percentage of light that is penetrating through vegetation. Default value is set to 3 % according to Konarska et al. (2013).
Percent of Canopy Height	If a trunk zone vegetation DSM is absent, this can be generated based on the height of the Canopy DSM. The default percentage is set to 25%.
Save generated Trunk zone DSM	Tick this in if you want to save your TDSM that is generated.
Use land cover scheme	Available since v2015a. Land cover grid should be in the UMEP standard format except for the two tree classes (deciduous and conifer) as the land cover grid should represent what is on the ground surface. UMEP land cover grid can be prepared in the Pre-processor.
Use land cover grid to produce building grid	Tick this in if the building grid should be created from the land cover grid. Otherwise, a DEM including only ground heights must be added. This will then be used to derive a building grid together with the ground and building DSM.
Save generated building grid	Tick this in if you want to save the boolean building grid that is generated.
SkyViewFactor grids	The SOLWEIG model make use of SVFs to calculate T_{mrt} . The zip-file needed can be created with the SkyViewFactor calculator found in the UMEP Pre-processor.
Wall height raster	The SOLWEIG model make use of wall height raster to calculate T_{mrt} . This can be calculated using the Wall height and aspect plugin found in the UMEP Pre-processor
Wall aspect raster	The SOLWEIG model make use of wall height raster to calculate T_{mrt} . This can be calculated using the Wall height and aspect plugin found in the UMEP Pre-processor.

Πίνακας Γ3.2: Εξήγηση παραμέτρων δεδομένων εισαγωγής

Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής Αθηνών

Ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα που λήφθηκαν από το Σταθμό ΕΑΑ Θησείου, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2020. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη αυτή, είναι οι τιμές που καταγράφηκαν στην πιο θερμή ημέρα του έτους 2021, στις 3 Αυγούστου. Στον Πίνακα Γ3.3 παρουσιάζονται οι τιμές για τη συγκεκριμένη ημέρα, όπου:

YEAR	MONTH	DAY	HOUR	T (°C)	TWB (°C)	Pressure (hPa)	RH (%)	Precipitation (mm)	SOLTOT (W/m ²)	SOLDIFF (W/m ²)	GLILLUM (kLux)	Wind speed (m/s)	Sector
2021	8	3	24	32.8	23.6	1000.5	44	0.0	0	0	0.0	1.1	8
2021	8	3	1	32.5	23.4	998.5	44	0.0	0	0	0.0	1.7	2
2021	8	3	2	32.2	23	998.4	43	0.0	0	0	0.0	1.5	2
2021	8	3	3	32	23.1	998.3	45	0.0	0	0	0.0	1.4	4
2021	8	3	4	32.4	22.3	998.3	39	0.0	0	0	0.0	1.3	2
2021	8	3	5	32.9	22.1	998.5	36	0.0	0	0	0.0	1.1	10
2021	8	3	6	32.2	21.8	998.9	37	0.0	0	0	0.0	1.6	9
2021	8	3	7	33.4	22.2	999.4	35	0.0	102	59	11.8	0.9	7
2021	8	3	8	35.1	23.2	999.5	34	0.0	281	99	32.7	0.7	5
2021	8	3	9	37.6	23	999.6	25	0.0	477	120	54.5	0.8	16
2021	8	3	10	39.9	24.6	999.5	26	0.0	664	133	73.3	1.1	12
2021	8	3	11	40.6	25.1	999.3	26	0.0	816	143	87.9	2.8	10
2021	8	3	12	41.5	24.8	998.9	23	0.0	924	150	98.1	3.2	10
2021	8	3	13	42	24.3	998.7	20	0.0	955	157	101.0	3.6	10
2021	8	3	14	41.8	24	998.4	19	0.0	917	159	97.2	4.7	10
2021	8	3	15	42.8	24.7	998.1	20	0.0	820	152	87.6	4.0	10
2021	8	3	16	43.8	25.1	998.0	19	0.0	664	134	72.6	0.8	5
2021	8	3	17	40.8	27.1	998.0	32	0.0	475	113	53.6	1.1	12
2021	8	3	18	38.8	25.6	998.7	32	0.0	270	94	31.5	1.6	12
2021	8	3	19	36	24.4	999.2	36	0.0	58	38	6.9	2.3	13
2021	8	3	20	34.3	25.1	999.8	45	0.0	0	0	0.0	2.0	11
2021	8	3	21	34.5	24.1	1000.3	40	0.0	0	0	0.0	0.6	3
2021	8	3	22	34.3	24.6	1000.6	43	0.0	0	0	0.0	1.5	16
2021	8	3	23	32.5	23.4	1000.8	44	0.0	0	0	0.0	1.6	9

Sectors
0 CALM
1 N
2 NNE
3 NE
4 ENE
5 E
6 ESE
7 SE
8 SSE
9 S
10 SSW
11 SW
12 WSW
13 W
14 WNW
15 NW
16 NNW

Πίνακας Γ3.3: Μετεωρολογικά Δεδομένα για τις 3 Αυγούστου

Για τις ανάγκες του πειράματος τα αρχικά δεδομένα τροποποιήθηκαν, ώστε να είναι σε μορφή συμβατή με το πρόγραμμα. (Πίνακα Γ3.4)

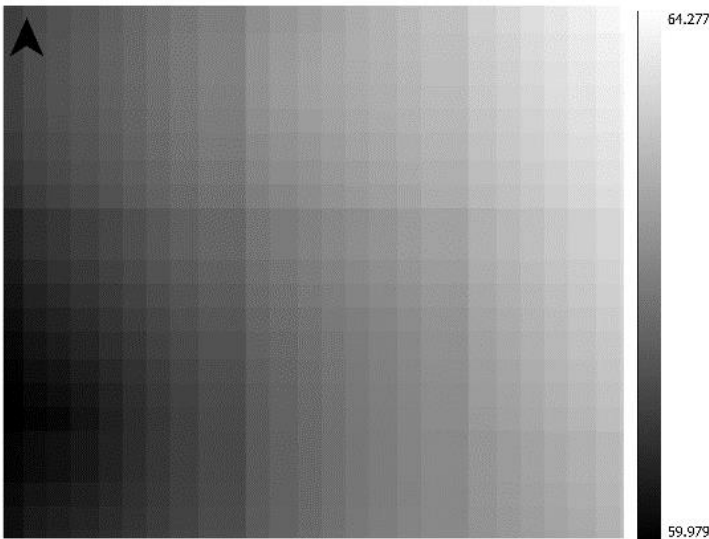
%ly	id	it	imin	Q*	QH	QE	Qs	Qf	Wind	RH (%)	Td	press	rain	Kdn	snow	ldown	fcbd	wuh	xsmo	lai_hr	Kdiff	Kdir	Wd
2021	215	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,1	44	32,8	1000,5	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	157,5
2021	215	1	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,7	44	32,5	998,5	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	22,5
2021	215	2	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,5	43	32,2	998,4	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	22,5
2021	215	3	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,4	45	32	998,3	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	67,5
2021	215	4	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,3	39	32,4	998,3	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	22,5
2021	215	5	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,1	36	32,9	998,5	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	202,5
2021	215	6	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,6	37	32,2	998,9	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	180
2021	215	7	0	-999	-999	-999	-999	-999	0,9	35	33,4	999,4	0,0	102	0	-999	-999	-999	-999	-999	59	-999	135
2021	215	8	0	-999	-999	-999	-999	-999	0,7	34	35,1	999,5	0,0	281	0	-999	-999	-999	-999	-999	99	-999	90
2021	215	9	0	-999	-999	-999	-999	-999	0,8	25	37,6	999,6	0,0	477	0	-999	-999	-999	-999	-999	120	-999	337,5
2021	215	10	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,1	26	39,9	999,5	0,0	664	0	-999	-999	-999	-999	-999	133	-999	247,5
2021	215	11	0	-999	-999	-999	-999	-999	2,8	26	40,6	999,3	0,0	816	0	-999	-999	-999	-999	-999	143	-999	202,5
2021	215	12	0	-999	-999	-999	-999	-999	3,2	23	41,5	998,9	0,0	924	0	-999	-999	-999	-999	-999	150	-999	202,5
2021	215	13	0	-999	-999	-999	-999	-999	3,6	20	42	998,7	0,0	955	0	-999	-999	-999	-999	-999	157	-999	202,5
2021	215	14	0	-999	-999	-999	-999	-999	4,7	19	41,8	998,4	0,0	917	0	-999	-999	-999	-999	-999	159	-999	202,5
2021	215	15	0	-999	-999	-999	-999	-999	4,0	20	42,8	998,1	0,0	820	0	-999	-999	-999	-999	-999	152	-999	202,5
2021	215	16	0	-999	-999	-999	-999	-999	0,8	19	43,8	998,0	0,0	664	0	-999	-999	-999	-999	-999	134	-999	90
2021	215	17	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,1	32	40,8	998,0	0,0	475	0	-999	-999	-999	-999	-999	113	-999	247,5
2021	215	18	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,6	32	38,8	998,7	0,0	270	0	-999	-999	-999	-999	-999	94	-999	247,5
2021	215	19	0	-999	-999	-999	-999	-999	2,3	36	36	999,2	0,0	58	0	-999	-999	-999	-999	-999	38	-999	270
2021	215	20	0	-999	-999	-999	-999	-999	2,0	45	34,3	999,8	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	225
2021	215	21	0	-999	-999	-999	-999	-999	0,6	40	34,5	1000,3	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	45
2021	215	22	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,5	43	34,3	1000,6	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	337,5
2021	215	23	0	-999	-999	-999	-999	-999	1,6	44	32,5	1000,8	0,0	0	0	-999	-999	-999	-999	-999	0	-999	180

Πίνακας Γ3.4: Μετεωρολογικά Δεδομένα για τις 3 Αυγούστου, μετά από μετατροπή για να είναι συμβατά με το SOLWEIG

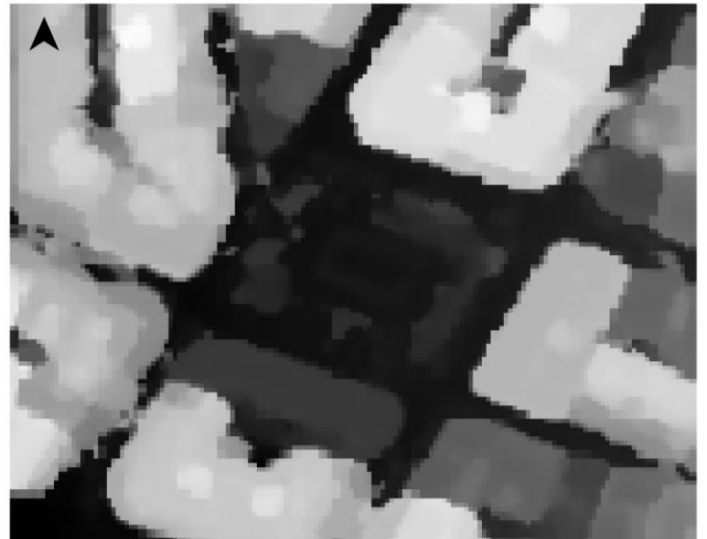
Ψηφιακά δεδομένα περιοχής μελέτης

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και επιφανείας που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα αποκτήθηκε από το Εθνικό Κτηματολόγιο, Διεύθυνση Γεωχωρικών Πληροφοριών / Τμήμα Γεωπληροφορίας, 2020. Τα αρχικά ψηφιακά δεδομένα μορφής GeoTIFF αποτελούνταν από ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) LSO (5 m) (Digital Elevation Model) και ένα Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) VLSO (80 cm) (Digital Surface Model). Για πιο ακριβή αποτελέσματα και με βάση δορυφορική εικόνα της περιοχής ΠΗΓΗ και κτηριακή κάτοψη από την πολεοδομία, το αρχικό αρχείο DSM, χωρίστηκε σε δύο αρχεία. Το ένα αρχείο περιλαμβάνει πληροφορίες για τα κτήρια (DSM) και το δεύτερο, στοιχεία για τα δένδρα της περιοχής (CDSM). Η ανάλυση όλων των ψηφιακών δεδομένων είναι ίδια και το μέγεθος του κάθε ρικελ είναι 0,8m * 0,8m. Για να είναι αναγνωρίσιμα από το μοντέλο τα δεδομένα πρέπει να έχουν ίδιο μέγεθος. Τα αρχεία GeoTIFF που χρησιμοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο αριθμητικό πείραμα έχουν μέγεθος: 2200 (W) * 1700 (H).

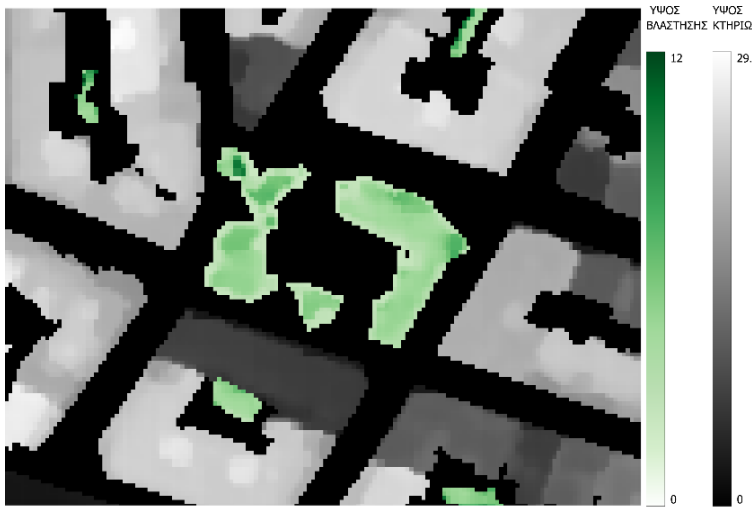
Για τη δημιουργία των θερμικών χαρτών καθώς και του θερμικού δείκτη PET χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν επίσης ως δεδομένα εισόδου αρχεία SVF, wall aspect και wall height. Αυτά τα αρχεία υπολογίζονται από το πρόγραμμα με βάση το DEM και το DSM.



Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) LSO (5 m)



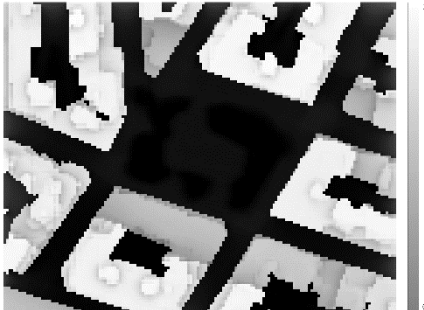
Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) VLSO (80 cm)



DSM και CDSM περιοχής μελέτης



Δορυφορική εικόνα περιοχής



SVF



Wall Aspect



Wall Height

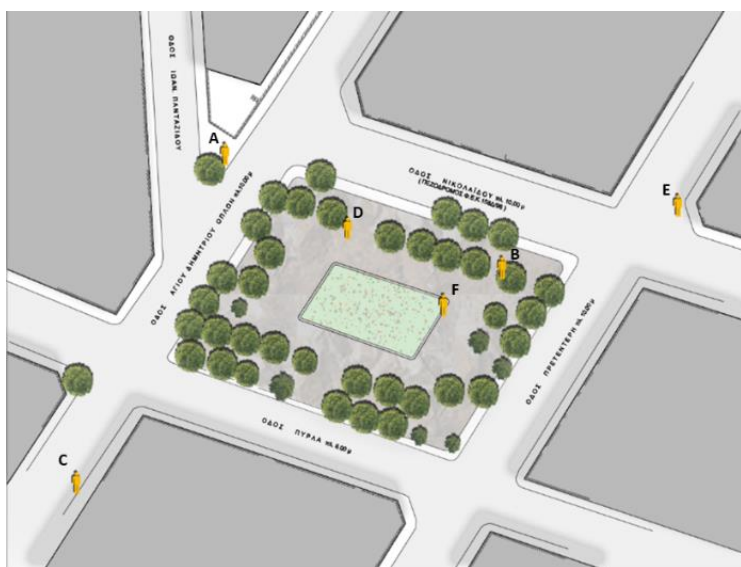
Γ4. ΣΕΝΑΡΙΑ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται διερεύνηση των συνθηκών θερμικού περιβάλλοντος στην επιλεγμένη περιοχή μελέτης για την επιλεγμένη τυπική ημέρα της θερμής περιόδου του έτους (3 Αυγούστου 2021), με σκοπό:

- Να διαπιστωθεί τι συνθήκες θερμικής άνεσης απαντώνται στην περιοχή μελέτης, που αποτελεί έναν τυπικό υπαίθριο χώρο σε κλίμακα γειτονιάς, στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας.
- Να γίνει σύγκριση των διαφορετικών σεναρίων, ώστε να βρεθούν οι όποιες διαφορές μπορεί να προκύπτουν ανάλογα με τα υλικά κάλυψης και την ποσοστό της δενδροφυτεμένης περιοχής.
- Να προταθεί μια παρέμβαση σχεδιασμού της περιοχής με έμφαση την πλατεία βασισμένη στις δυνατότητες του προγράμματος, ώστε να ευνοηθεί η δημιουργία ενός αποδεκτού θερμικού περιβάλλοντος, κατά τη θερμή περίοδο του έτους.

Για όλα τα σενάρια αποκτήθηκαν τιμές του δείκτη PET, για έξι σταθερά σημεία στην πλατεία. (Σημεία A, B, C, D, E, F).

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών για κάθε σενάριο ξεχωριστά καθώς και σύγκριση των τιμών ανά σημείο για τις διαφορετικές προσομοιώσεις. Στόχος είναι η εκτίμηση της θερμικής αίσθησης σύμφωνα με το επιλεγμένο βιοκλιματικό δείκτη για τις διαφορετικές προσομοιώσεις στην περιοχή μελέτης κάτω από το ίδιο καθεστώς περιβαλλοντικών συνθηκών, ούτως ώστε να εκτιμηθούν και να αξιολογηθούν οι διαφοροποιήσεις των συνθηκών περιβάλλοντος, αλλά και να διαπιστωθεί το κατά πόσο διαμορφώνονται συνθήκες θερμικής άνεσης με βάση το διαφορετικό σχεδιασμό ή τα διαφορετικά υλικά και βλάστηση.



Θέση A: Άτομο ΒΔ στην ευρύτερη περιοχή της πλατείας, κοντά σε υψηλή βλάστηση.

Θέση B: Άτομο στην πλατεία ΒΑ, κοντά σε υψηλή βλάστηση.

Θέση C: Άτομο ΝΔ σε δρόμο ανάμεσα σε κτήρια, χωρίς ύπαρξη βλάστησης.

Θέση D: Άτομο στη Βόρεια πλευρά της πλατείας, κοντά σε υψηλή βλάστηση.

Θέση E: Άτομο ΒΑ στην ευρύτερη περιοχή της πλατείας.

Θέση F: Άτομο κεντρικά στην πλατεία ΒΑ.

Η περιοχή ψηφιοποίησης καλύπτει έκταση 1000 m² και το μέγιστο ύψος κτιρίων είναι περίπου 30 m.

Ως προς τα υλικά κάλυψης του εδάφους, έγινε η μορφοποίηση που απαιτείται από το μοντέλο και αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά την υφιστάμενη κατάσταση. Αυτά είναι τα εξής:

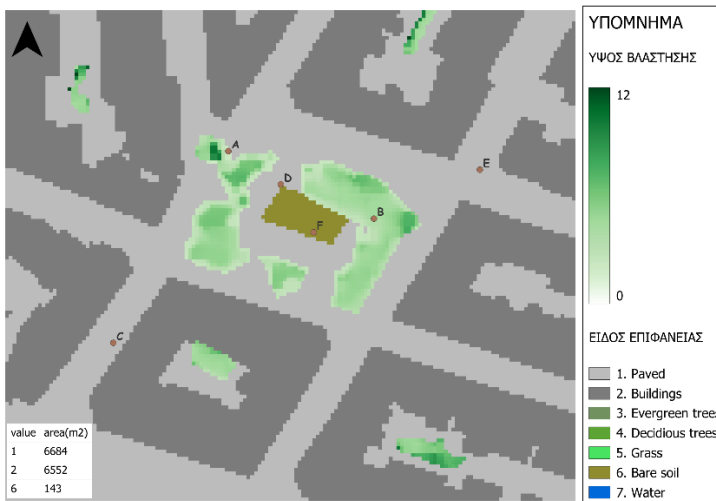
1. Paved: Αντιπροσωπεύει τις ασφαλτοστρωμένες οδούς και τις πεζοδρομημένες περιοχές
2. Buildings: Αντιπροσωπεύει τις θέσεις των κτηρίων
3. Evergreen trees: Αντιπροσωπεύει τα αιθαλή δένδρα
4. Deciduous Trees: Αντιπροσωπεύει τα φυλλοβόλα δένδρα
5. Grass: Αντιπροσωπεύει τις περιοχές με χλοοτάπητα ή πολύ χαμηλή βλάστηση
6. Bare Soil: Αντιπροσωπεύει τις περιοχές χώματος (πχ. Παρτέρι φύτευσης)
7. Water: Θέσεις νερού.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1- ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

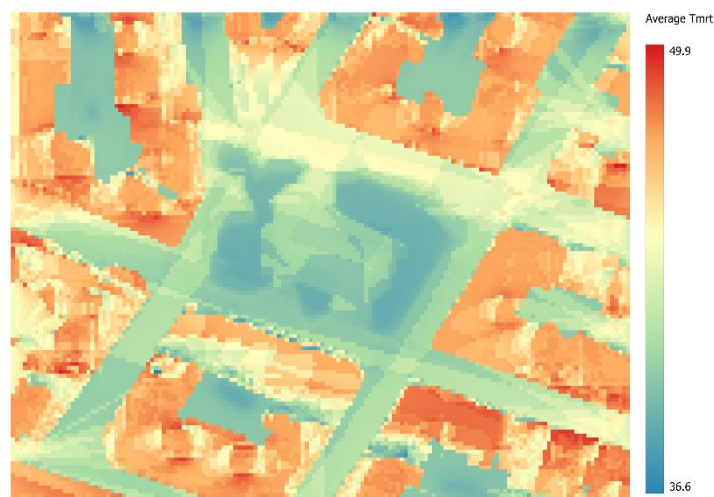
Το είδος δόμησης που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή γύρω από την περιοχή μελέτης, είναι ασφαλτοστρωμένες οδοί και κτήρια δεδομένου πως η πλατεία βρίσκεται σε δομημένη περιοχή. Παρατηρείται πως δεν υπάρχει φύτευση στις οδούς που εισέρχονται στην πλατεία, και πως στην πλατεία η βλάστηση βρίσκεται περιμετρικά και όχι στο εσωτερικό της.

Στην εικόνα Γ4.1.1 παριστάνεται η κατάσταση της πλατείας όπως είναι στα GeoTIFF και μετά από την επεξεργασία διαχωρισμού της βλάστησης από τα κτήρια. Η περιοχή με πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει τα διάφορα ύψη βλάστησης στο εσωτερικό της πλατείας, ενώ η περιοχή με σκούρο γκριζό χρώμα αντιπροσωπεύει τα κτίρια που συνορεύουν με την πλατεία και εκτιμάται ότι επηρεάζουν το μικρόκλιμα στο εσωτερικό της. Όσον αφορά τη βλάστηση, δεν είναι γνωστά τα είδη που υπάρχουν.

Στην εικόνα Γ4.1.2 παρουσιάζεται ο θερμικός χάρτης που αποτυπώνει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mr,t}) για την περιοχή μελέτης. Παρατηρείται ότι στην περιοχή που υπάρχει υψηλή βλάστηση (δένδρα) η θερμοκρασία ακτινοβολίας παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές κατά μέσο όρο. Αντίστοιχα στο κέντρο της πλατείας, που δεν υπάρχουν δένδρα, η T_{mr,t} παρουσιάζει λίγο πιο αυξημένες τιμές. Στους δρόμους που περιβάλλονται από υψηλή δόμηση, η μέση T_{mr,t} παρουσιάζει επίσης χαμηλές τιμές σε σχέση με τις οδούς μεταξύ των κτηρίων και της πλατείας. Οι οροφές των κτηρίων παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές.



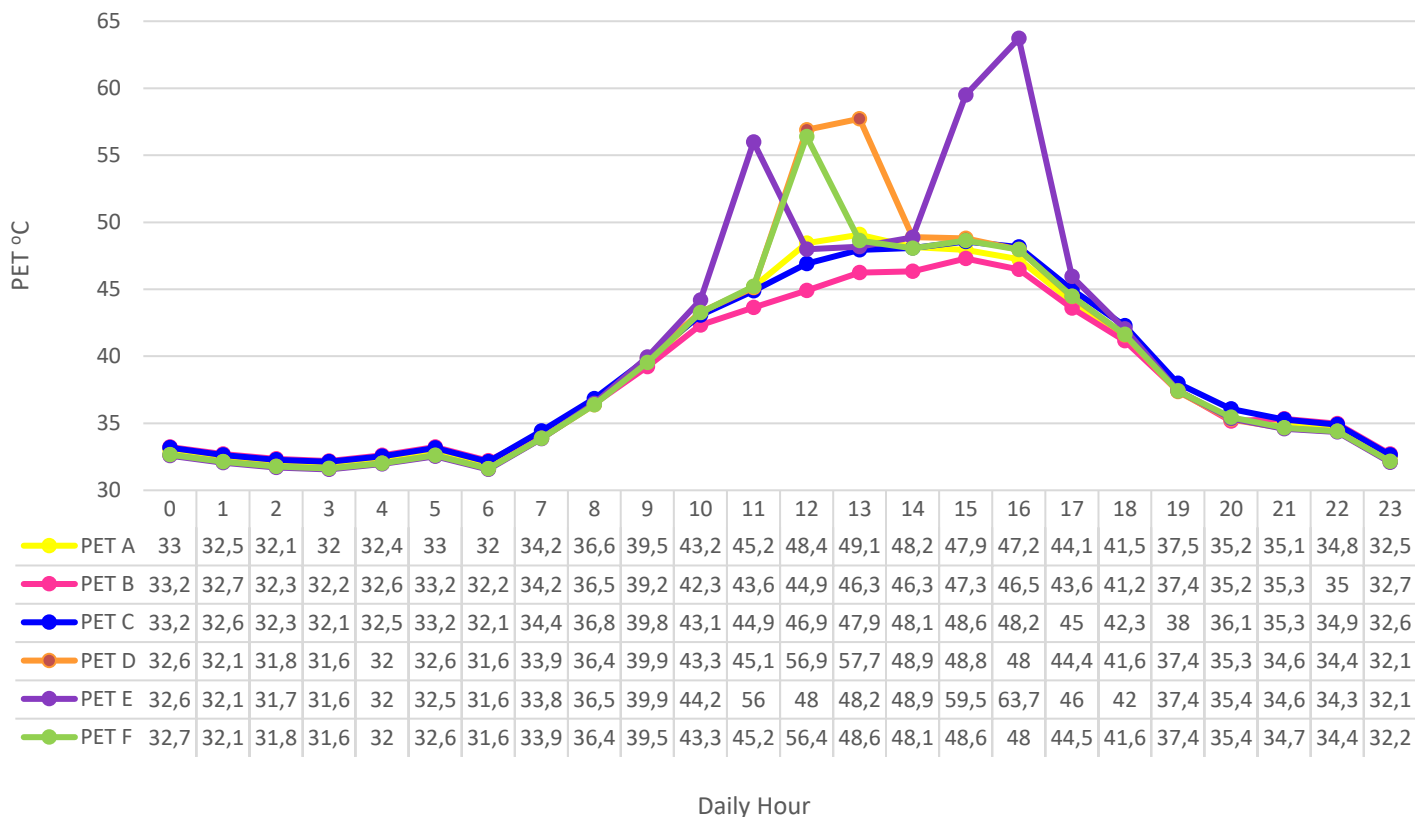
Εικόνα Γ4.1.1 Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 1



Εικόνα Γ4.1.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο 1

Στο γράφημα Γ4.1.1 παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη PET σε κάθε σημείο στο σενάριο 1. Παρατηρείται πως στη θέση E παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση τιμής στις ώρες 11:00, 15:00 και 16:00. Ομοίως ο δείκτης PET παρουσιάζει αύξηση στις 12:00 στις θέσεις D και F. Οι θέσεις D,E και F βρίσκονται σε τοποθεσία στην οποία απουσιάζει η βλάστηση και ταυτόχρονα ο SVF έχει χαμηλές τιμές. Οι τιμές στις υπόλοιπες θέσεις παρουσιάζουν σχετικά ομαλή πορεία. Από τις 09:00- 18:00, σε όλες τις θέσεις οι τιμές βρίσκονται στην κατηγορία Ζεστό. Τις υπόλοιπες ώρες η θερμική αίσθηση εμπίπτει στην κατηγορία Θερμό.

Σενάριο 1. Διακύμανση τιμών PET

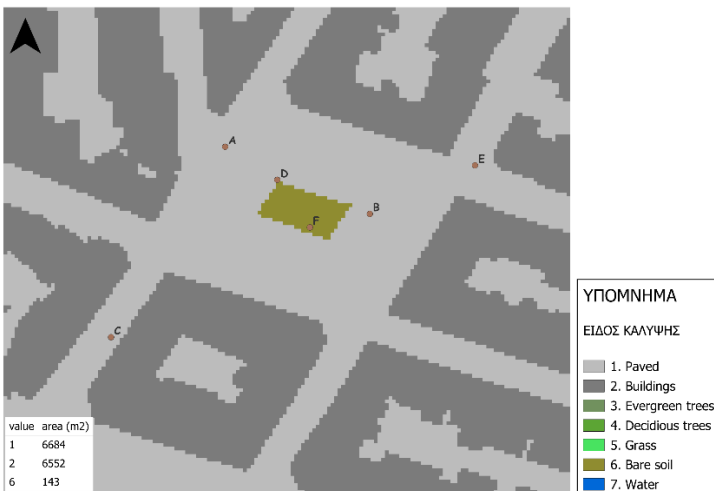


Γράφημα Γ4.1.1 : Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 1

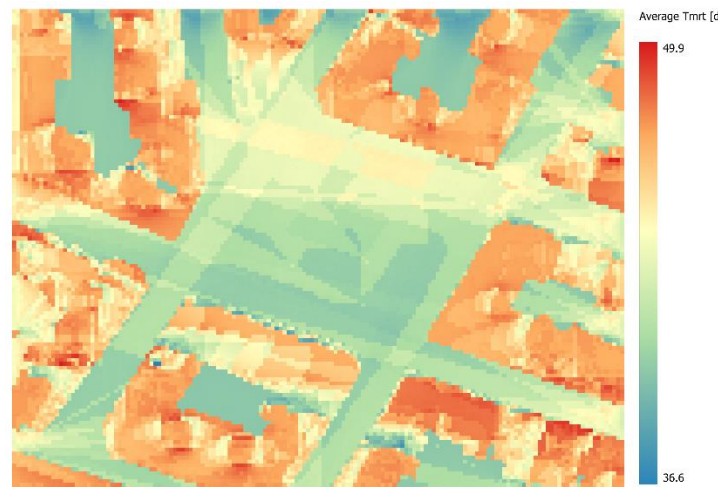
ΣΕΝΑΡΙΟ 2- ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Στο σενάριο 2 παριστάνεται η κατάσταση της πλατείας χωρίς τη βλάστηση.

Σύμφωνα με το θερμικό χάρτη, παρατηρείται πως οι χαμηλότερες τιμές Tmrt καταγράφονται στη νότια πλευρά της πλατείας. Όπως και στο σενάριο 1, οι υψηλότερες τιμές Tmrt παρουσιάζονται στη βόρεια πλευρά της πλατείας. Στους δρόμους που περιβάλλονται από υψηλή δόμηση στην ευρύτερη περιοχή μελέτης καθώς και στα κτήρια, η εικόνα είναι όμοια με το Σενάριο 1.



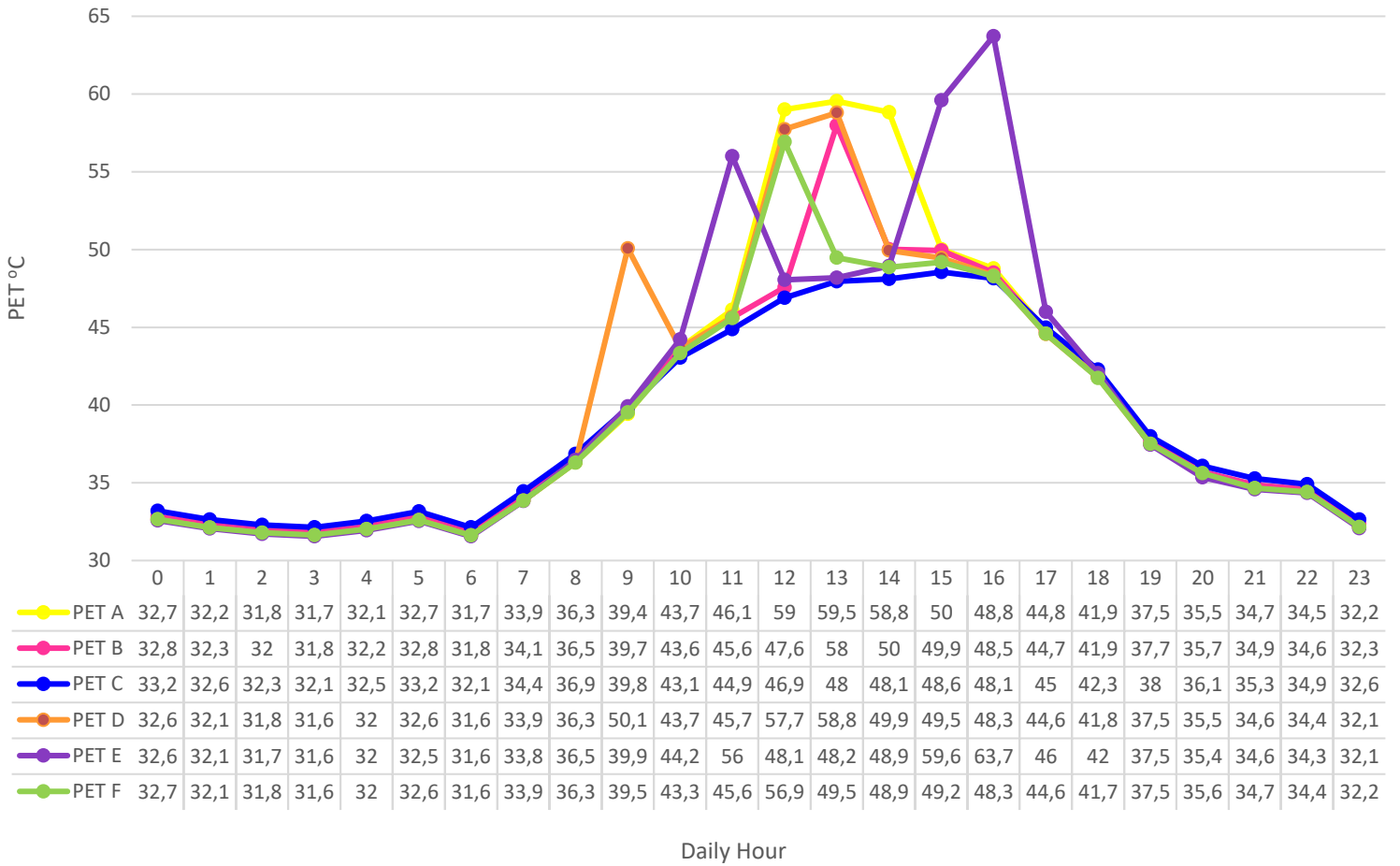
Εικόνα Γ4.2.1 Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 2



Εικόνα Γ4.2.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο 2

Στο Γράφημα Γ4.2.1 φαίνεται πως με εξαίρεση τη θέση C, οι μετρήσεις του δείκτη PET παρουσιάζονται ιδιαίτερα αυξημένες τιμές. μεταξύ του χρονικού διαστήματος 10:00- 18:00.βρίσκονται στην κατηγορία Ζεστό, ενώ τις υπόλοιπες ώρες η θερμική αίσθηση εμπίπτει στην κατηγορία Θερμό.

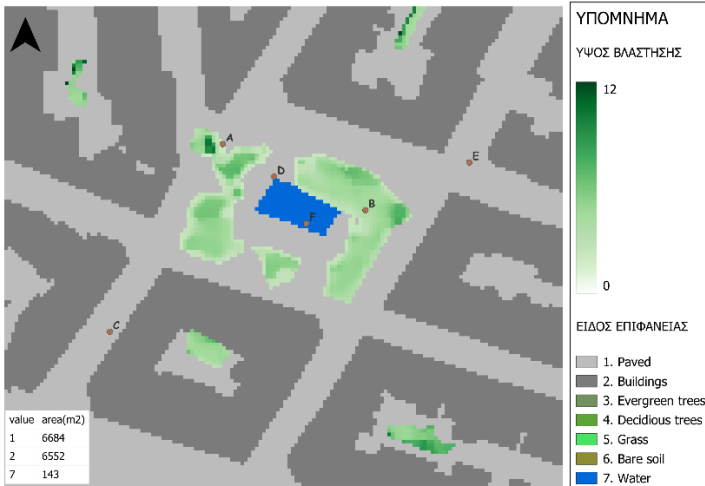
Σενάριο 2. Διακύμανση τιμών PET



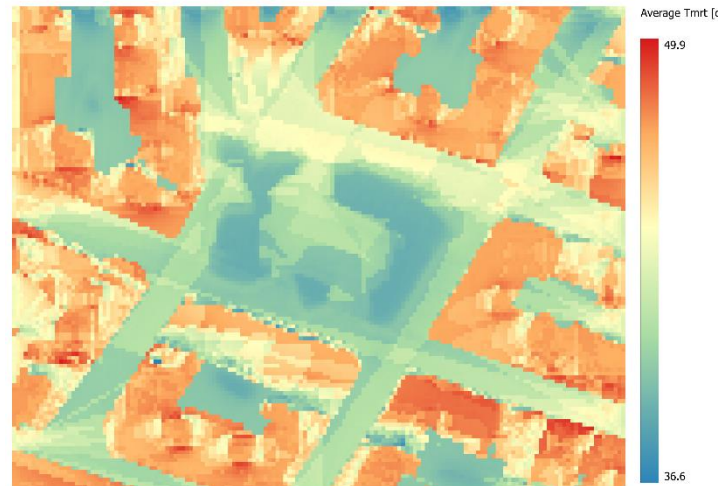
Γράφημα Γ4.2.1 : Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 2

ΣΕΝΑΡΙΟ 3- ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Στην εικόνα αναπαρίσταται η κατάσταση της πλατείας στην αρχική κατάσταση και έχει αντικατασταθεί το κεντρικό τετράγωνο παρτέρι με νερό. Ο αντίστοιχος θερμικός χάρτης δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές σε σχέση με τον αντίστοιχο θερμικό χάρτη για το σενάριο 1.



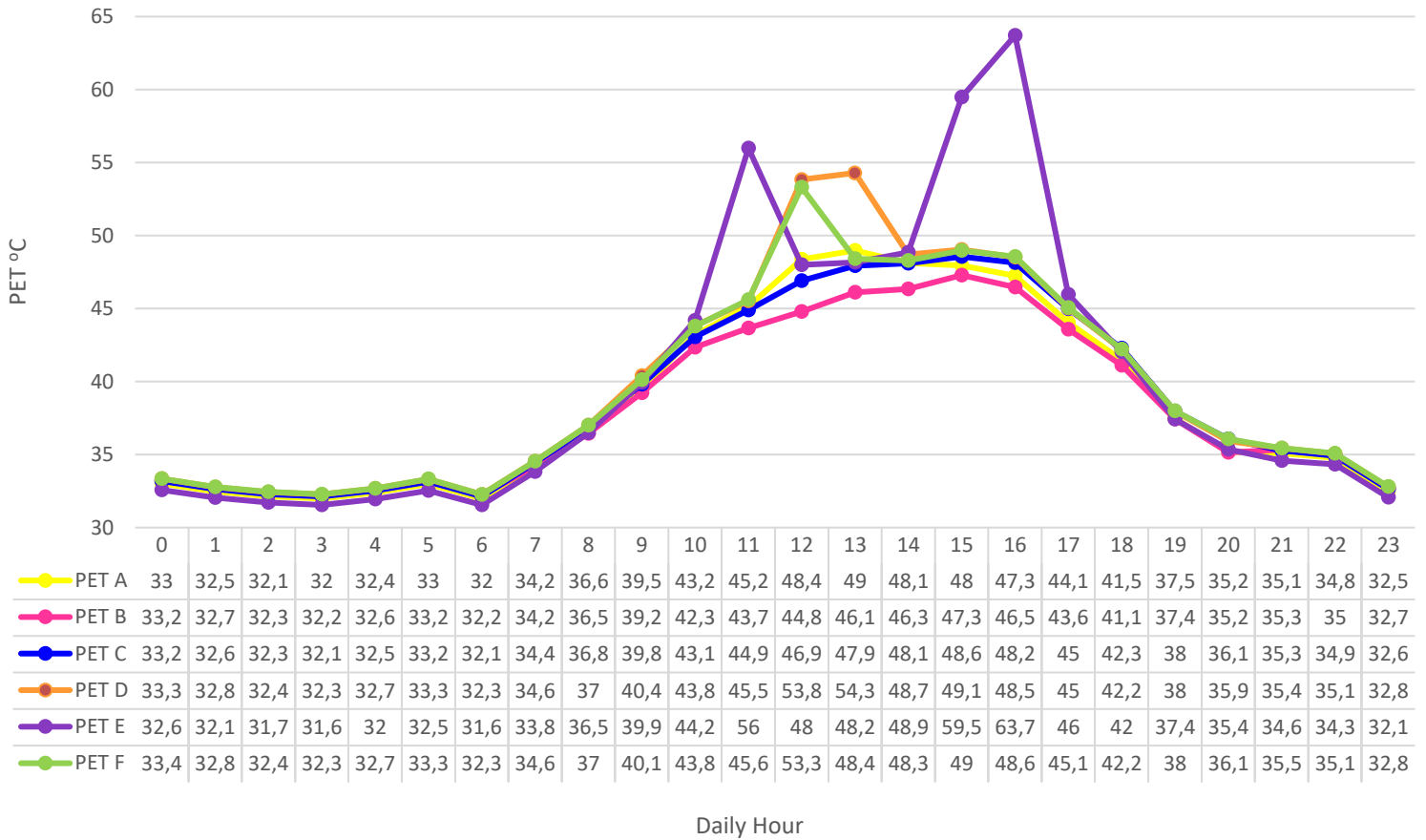
Εικόνα Γ4.3.1 Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 3



Εικόνα Γ4.3.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο 3

Στο γράφημα Γ4.3.1 παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη PET για το σενάριο 3. Στη θέση E παρουσιάζονται δύο μέγιστες τιμές, στις ώρες 11:00, 15:00 - 16:00. Αύξηση εμφανίζει επίσης ο δείκτης στη θέση D και F μεταξύ των ωρών 12:00- 13:00. Η θερμική αίσθηση κυμαίνεται μεταξύ Ζεστό και Θερμό, όπως και στο σενάριο 1.

Σενάριο 3. Διακύμανση τιμών PET



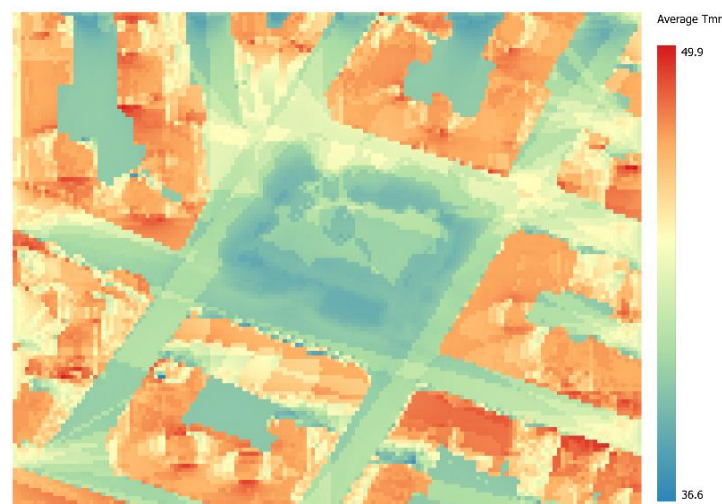
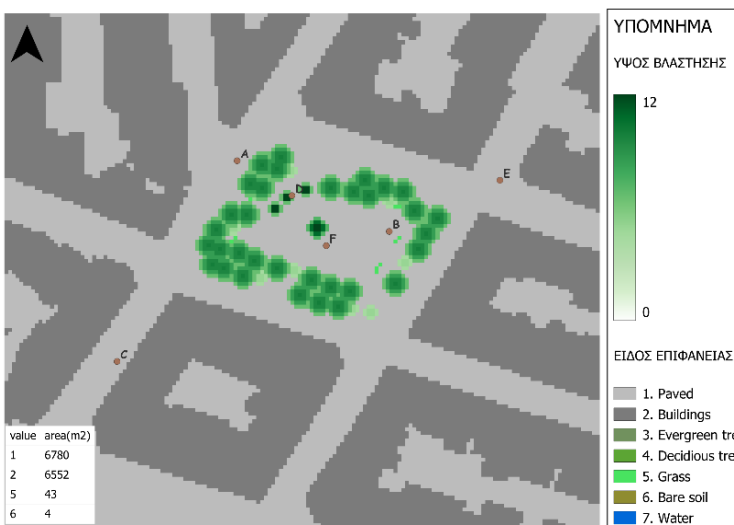
Γράφημα Γ4.3.1: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 3

ΣΕΝΑΡΙΟ 4- ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Στην εικόνα Γ4.4.1 απεικονίζεται η υφιστάμενη κατάσταση της πλατείας όπως αυτή αποτυπώθηκε μετά από επίσκεψη.

Όσον αφορά τη βλάστηση, τα είδη που επικρατούν είναι φυλλοβόλα δένδρα (Πλάτανος, Μουριά, Σοφόρα) και λίγα μικρά νεοφυτεμένα αειθαλή και κωνοφόρα (Γκρεβιλέα, Κυπαρίσσι).

Σύμφωνα με το θερμικό χάρτη, που αποτυπώνει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt}) για την υφιστάμενη κατάσταση, συγκριτικά χαμηλότερες τιμές καταγράφονται στην πλατεία. Η υπόλοιπη περιοχή παρουσιάζει όμοια εικόνα με την προσομοίωση 1.

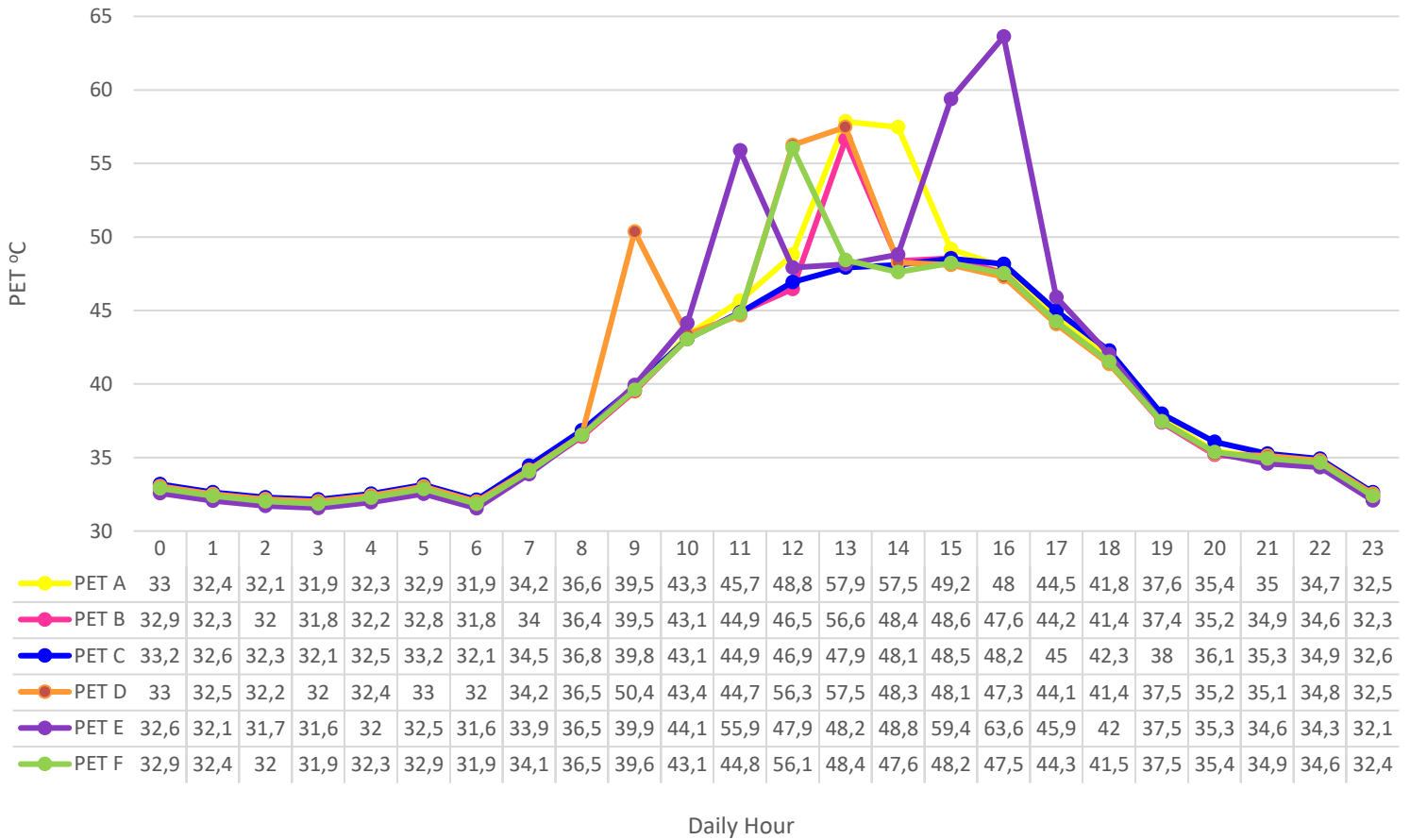


Εικόνα Γ4.4.1 Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 4

Εικόνα Γ4.4.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο 4

Στο αντίστοιχο γράφημα διακύμανσης PET, παρατηρείται έντονη διακύμανση των τιμών στις διαφορετικές θέσεις μεταξύ των ωρών 09:00- 17:00. Η διακύμανση στη θέση F, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ομοιομορφία.

Σενάριο 4. Διακύμανση τιμών PET

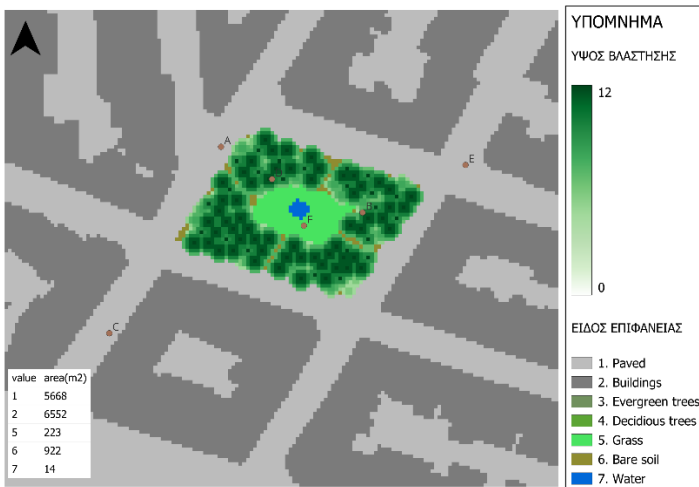


Γράφημα Γ4.4.1: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 4

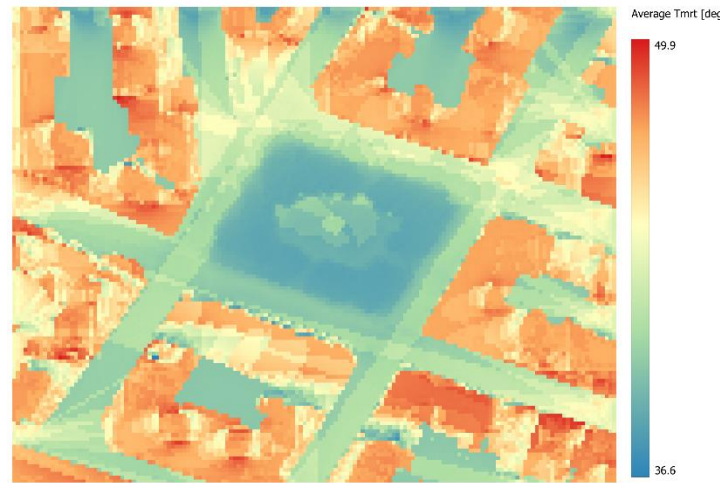
ΣΕΝΑΡΙΟ 5- ΑΛΣΥΛΙΟ

Στην προσομοίωση 5, έγινε μετατροπή της πλατείας σε μικρό αλσύλλιο. Δημιουργούνται 4 μεγάλα παρτέρια χωμάτινης επιφάνειας και η υπόλοιπη επιφάνεια καλύπτεται από γρασίδι αντί για πλάκες πεζοδρομίου. Στο κέντρο της πλατείας βρίσκεται μια επιφάνεια νερού. Σχετικά με τη βλάστηση υπάρχουν δένδρα τοποθετημένα σε απόσταση 4*4 m.

Στο χάρτη μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt φαίνεται πως η πυκνά δενδροφυτεμένη περιοχή παρουσιάζει αρκετά χαμηλές τιμές συγκριτικά με την υπόλοιπη έκταση. Στην επιφάνεια νερού παρατηρείται πιο αυξημένη θερμοκρασία σε σχέση με την επιφάνεια χλοοτάπητα και τη δενδροφυτεμένη έκταση.



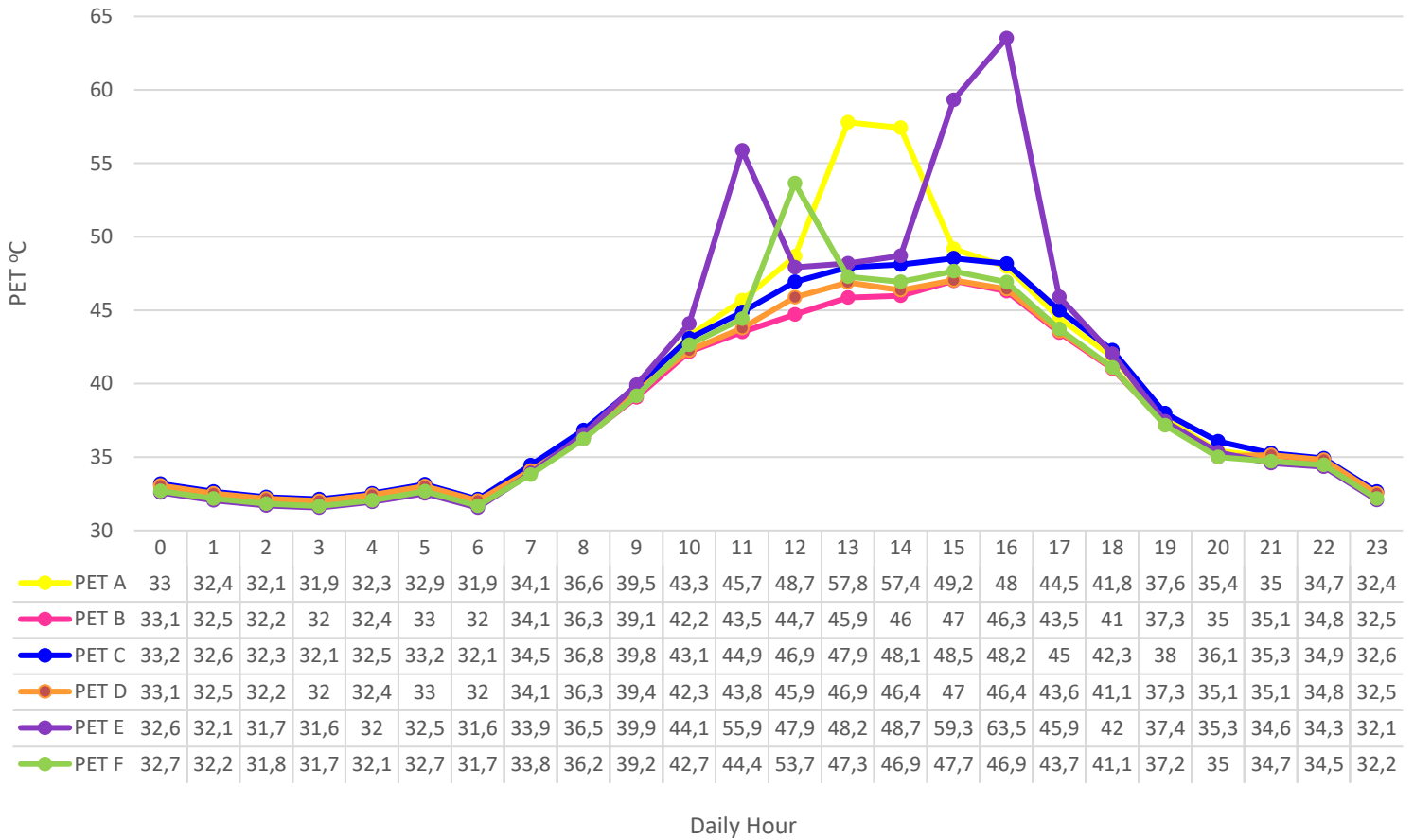
Εικόνα Γ4.5.1 Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 5



Εικόνα Γ4.5.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο5

Οι τιμές του δείκτη PET, παρουσιάζουν έντονη αύξηση στις θέσεις A,E και F, όπως φαίνεται στο ΓΡΑΦΗΜΑ. Μεταξύ των ωρών 10:00 - 16:00. Στις υπόλοιπες θέσεις (B,C,D) παρατηρείται μια ομαλή διακύμανση. Η θερμική αίσθηση κυμαίνεται μεταξύ Ζεστό και Θερμό, όπως και στο σενάριο 1.

Σενάριο 5. Διακύμανση τιμών PET

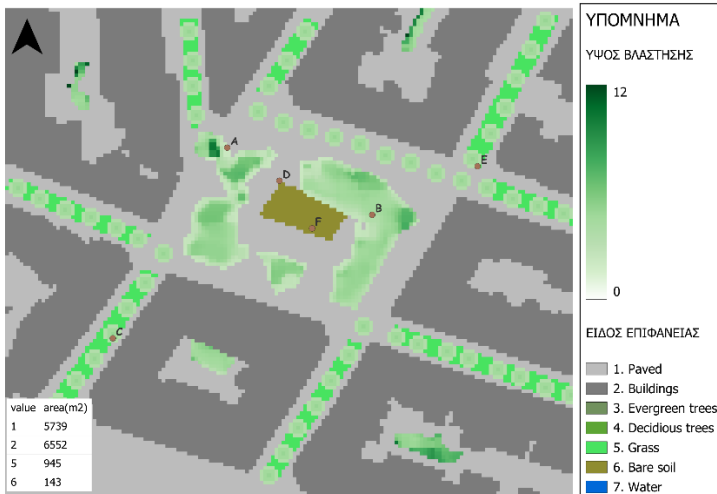


Γράφημα Γ4.5.1: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 5

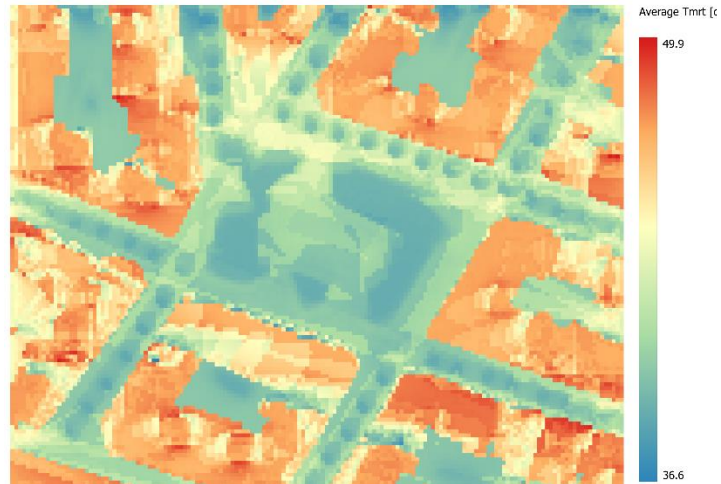
ΣΕΝΑΡΙΟ 6- ΔΕΝΔΡΟΦΥΤΕΥΣΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΩΝ ΟΔΩΝ

Σε αυτή την προσομοίωση έγινε μετατροπή των οδών που εισέρχονται την πλατεία, σε πεζόδρομους με δένδρα αειθαλή και ύψος 5 μ. Τα παρτέρια που αποτελούν τους χώρους φύτευσης είναι καλυμμένα με χλοοτάπητα. Σύνολο προστέθηκαν 54 δένδρα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Ο χάρτης μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας T_{mr,t} εμφανίζει χαμηλότερες τιμές στις περιοχές που υπάρχει υψηλή φύτευση. Παρατηρείται πως δεν εμφανίζει μεγάλες μεταβολές η θερμοκρασιακή εικόνα της πλατείας.



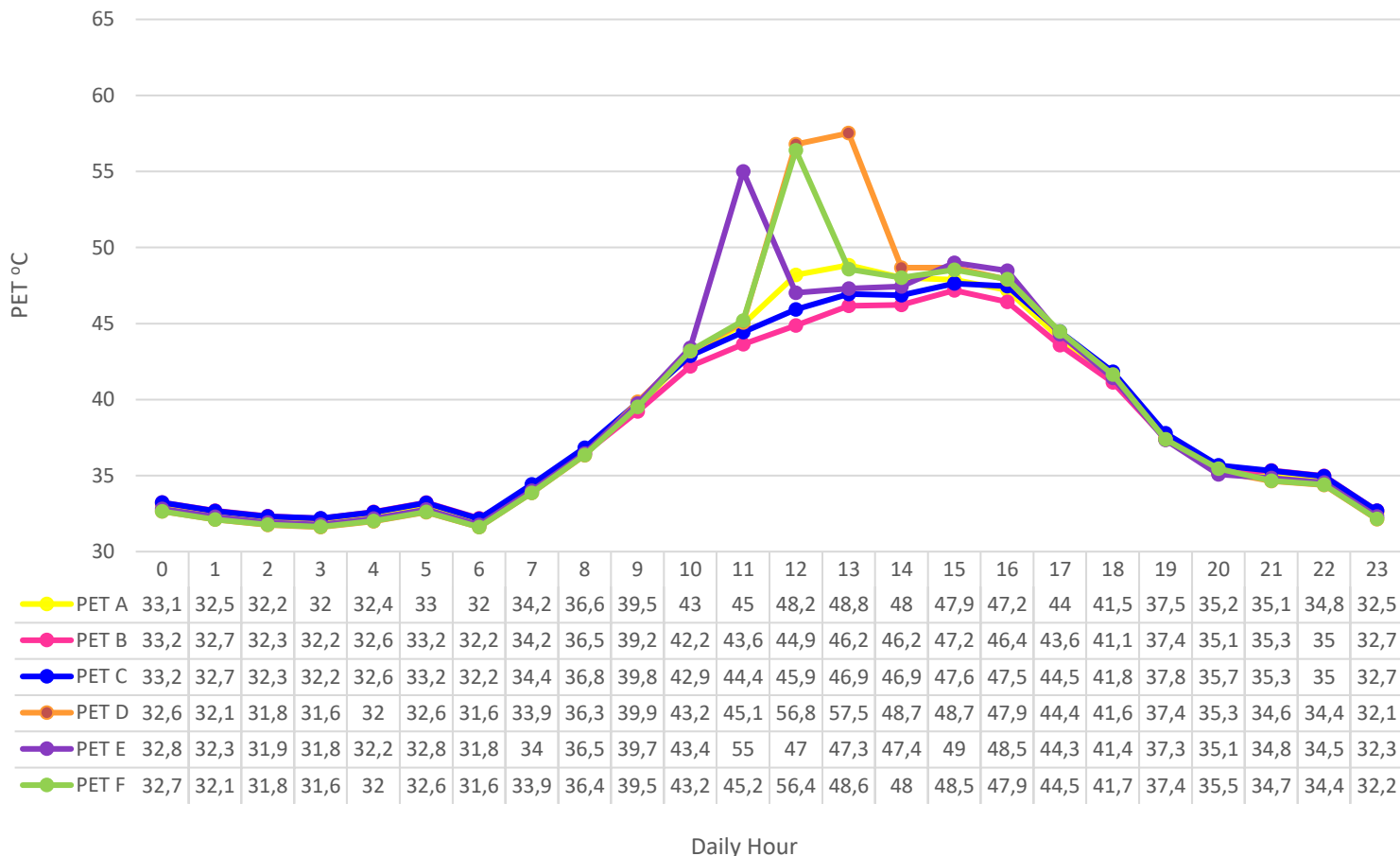
Εικόνα Γ4.6.1 Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 6



Εικόνα Γ4.6.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο 6

Στο αντίστοιχο γράφημα διακύμανσης PET, φαίνεται αύξηση στις θέσεις D,E και F μεταξύ των ωρών 10:00 - 14:00. Στις υπόλοιπες θέσεις παρατηρείται μια ομαλή διακύμανση. Η θερμική αίσθηση κυμαίνεται μεταξύ Ζεστό και Θερμό, όπως και στις υπόλοιπες προσομοιώσεις.

Σενάριο 6. Διακύμανση τιμών PET

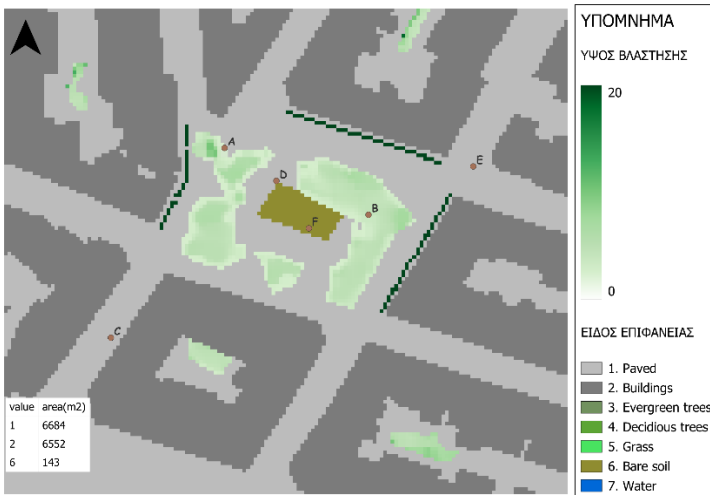


Γράφημα Γ4.6.1: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 6

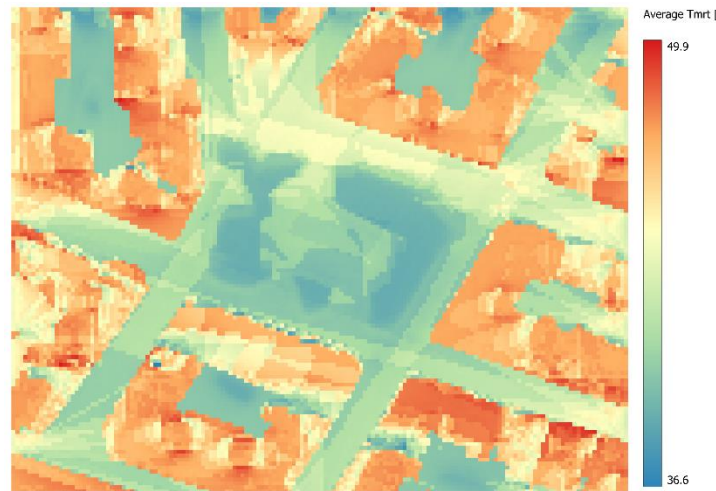
ΣΕΝΑΡΙΟ 7- ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΠΡΟΣΟΨΕΙΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στο σενάριο 7 μετατρέπονται σε πράσινες προσόψεις, οι 3 από τις 4 προσόψεις των κτηρίων που περιβάλλουν την πλατεία. Στο πρόγραμμα UMER, δεν υπάρχει η επιλογή αυτή, οπότε ένας τρόπος προσομοίωσης είναι η προσθήκη δένδρων σε πολύ κοντινές αποστάσεις από τα κτήρια. Τα δένδρα έχουν το ύψος των κτηρίων (εδώ έως 20 μ) και βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους, δημιουργώντας ένας πράσινο τοίχο.

Ο αντίστοιχος θερμικός χάρτης εμφανίζει παρόμοια εικόνα με αυτή του σεναρίου 1, εμφανίζοντας χαμηλότερες τιμές όπου υπάρχει υψηλή φύτευση.



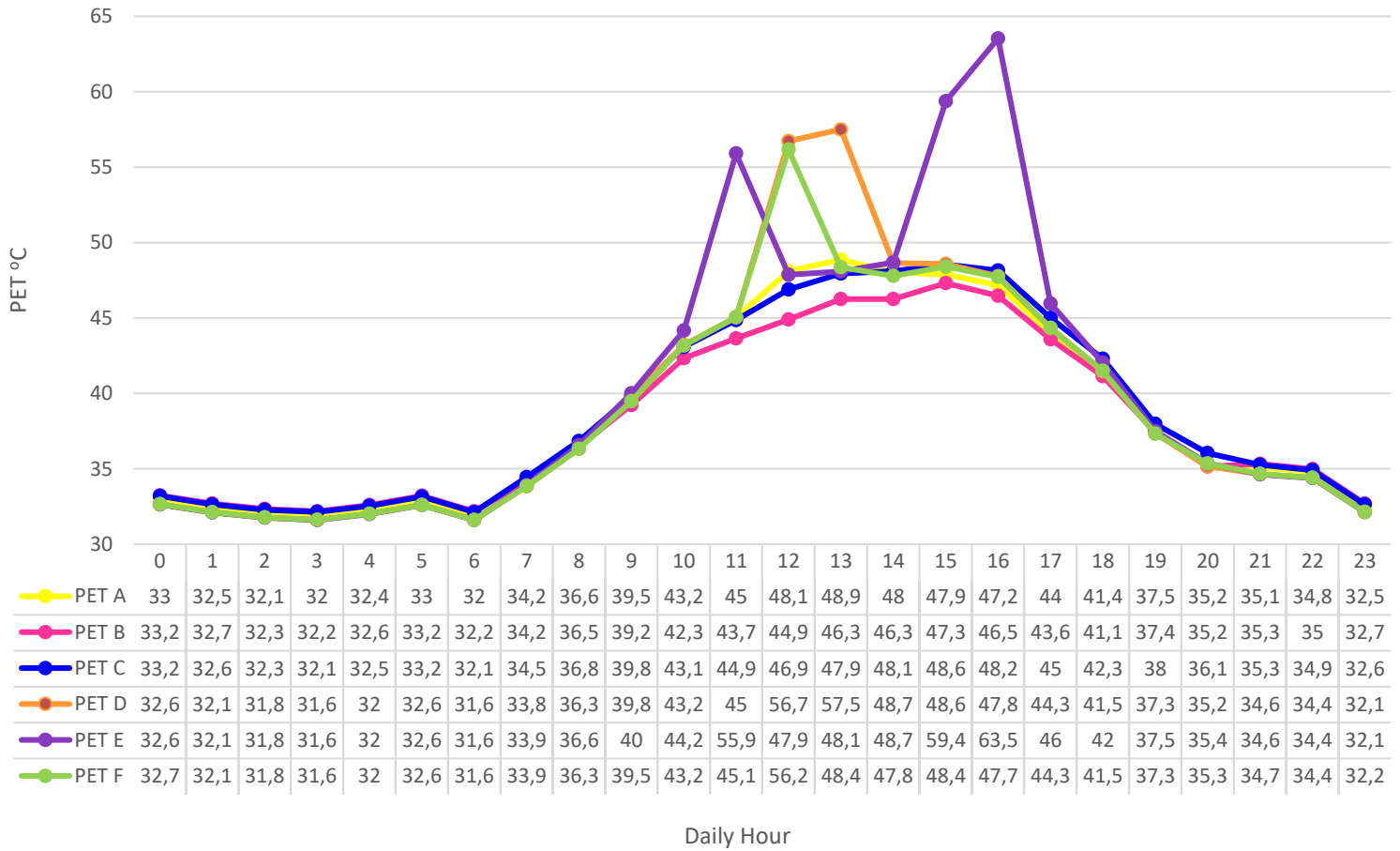
Εικόνα Γ4.7.1: Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 7



Εικόνα Γ4.7.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο 7

Το Γράφημα Γ4.7.1 για την προσομοίωση των πράσινων προσόψεων φαίνεται πως οι τιμές σε όλες τις θέσεις ακολουθούν ίδια διακύμανση με τις τιμές του σεναρίου 1.

Σενάριο 7. Διακύμανση τιμών PET

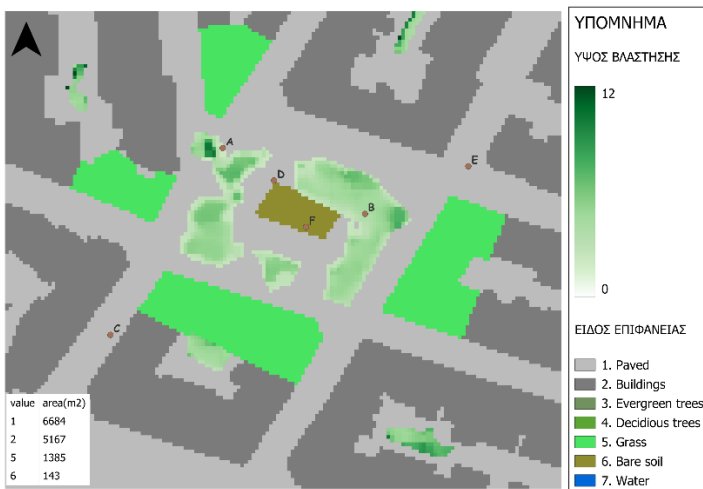


Γράφημα Γ4.7.1: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 7

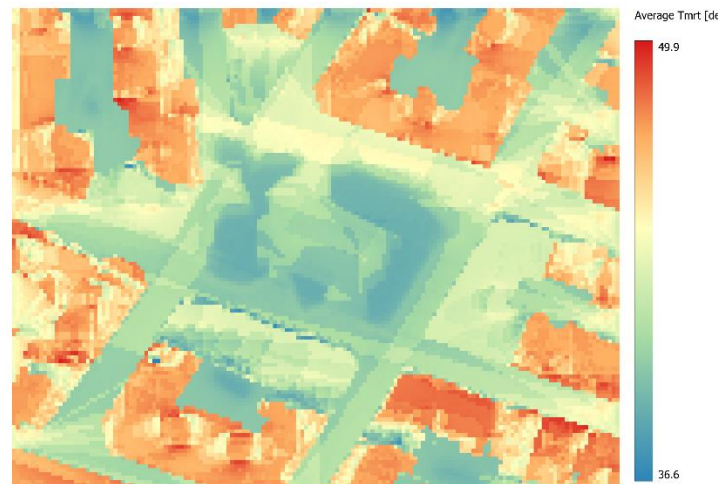
ΣΕΝΑΡΙΟ 8- ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ ΕΚΤΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Στο σενάριο 8 μετατρέπονται σε πράσινες οροφές, 1385 τμ² από τις ταράτσες των κτηρίων. Το είδος φυτεμένου δώματος επιλέχθηκε να είναι εκτατικού τύπου, δηλαδή χαμηλή φύτευση– γρασίδι. Ο τρόπος που γίνεται αυτό, ώστε να είναι αναγνωρίσιμο από το πρόγραμμα είναι η αλλαγή του υλικού επιφάνειας στις συντεταγμένες που βρίσκονται τα κτήρια στα οποία γίνεται η παρέμβαση (landcover.GeoTIFF).

Ο αντίστοιχος θερμικός χάρτης εμφανίζει παρόμοια εικόνα με αυτή του σεναρίου 1, εμφανίζοντας χαμηλότερες τιμές όπου υπάρχει υψηλή φύτευση. Σε ότι αφορά τις οροφές των κτηρίων, παρατηρείται πως οι φυτοκαλυμμένες επιφάνειες παρουσιάζουν αρκετά χαμηλότερες τιμές Tmrt σε σχέση με τις μη φυτεμένες.



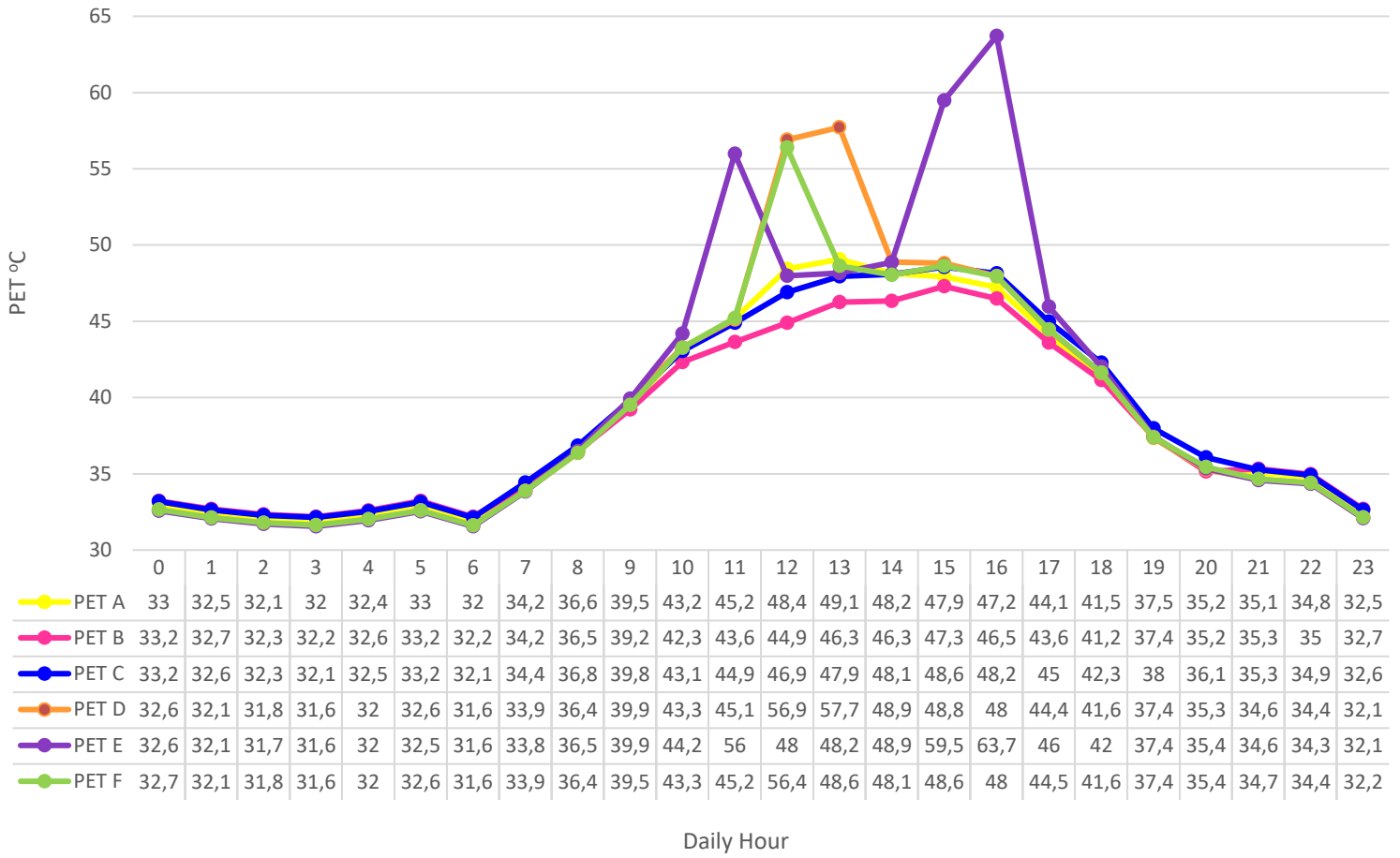
Εικόνα Γ4.8.1: Ψηφιοποιημένη περιοχή μελέτης Σενάριο 8



Εικόνα Γ4.8.2 Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας Σενάριο 8

Το Γράφημα Γ4.8.1 για την προσομοίωση των πράσινων οροφών έχει ίδια τάση με το Σενάριο 1. Οι τιμές σε όλες τις θέσεις ακολουθούν ίδια διακύμανση όπως στο σενάριο 1 και στο σενάριο 7.

Σενάριο 8. Διακύμανση τιμών PET

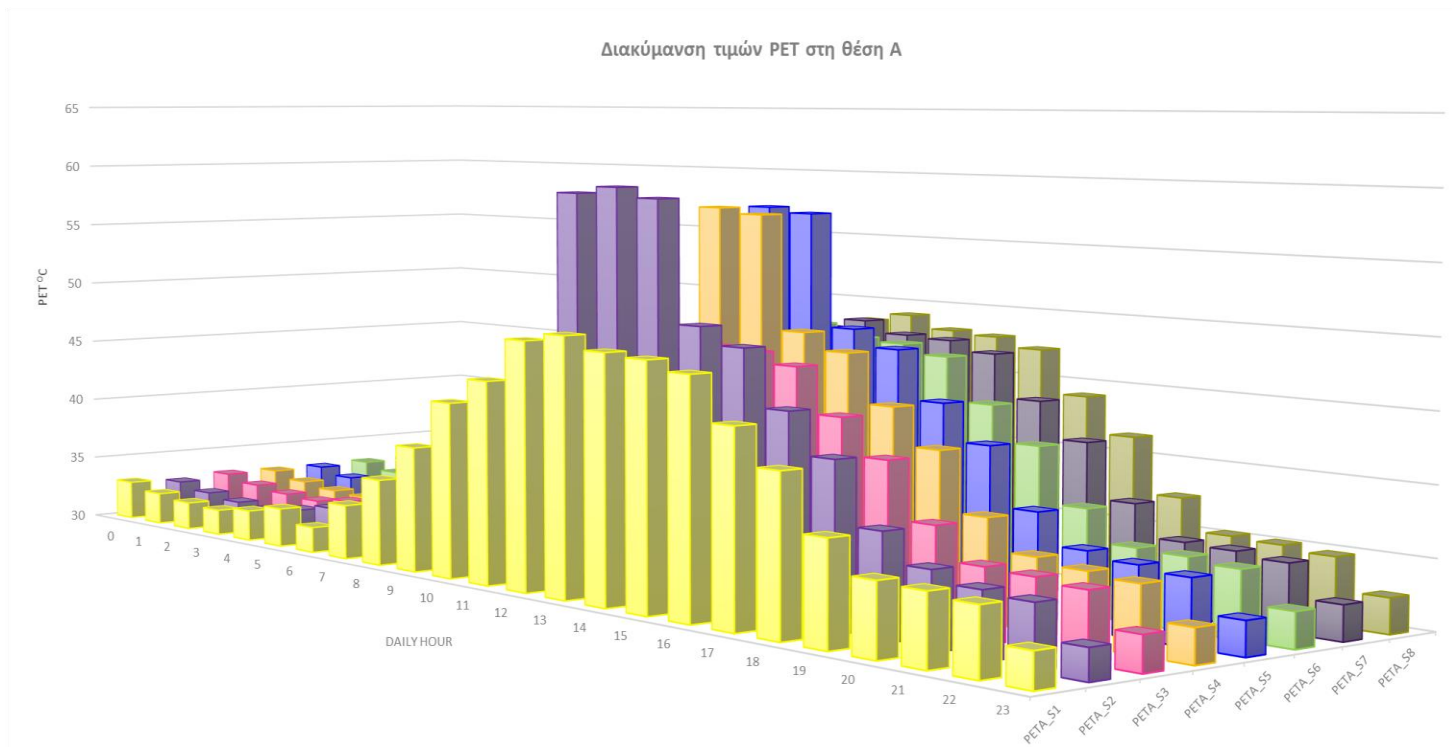


Γράφημα Γ4.8.1: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET για το σενάριο 8

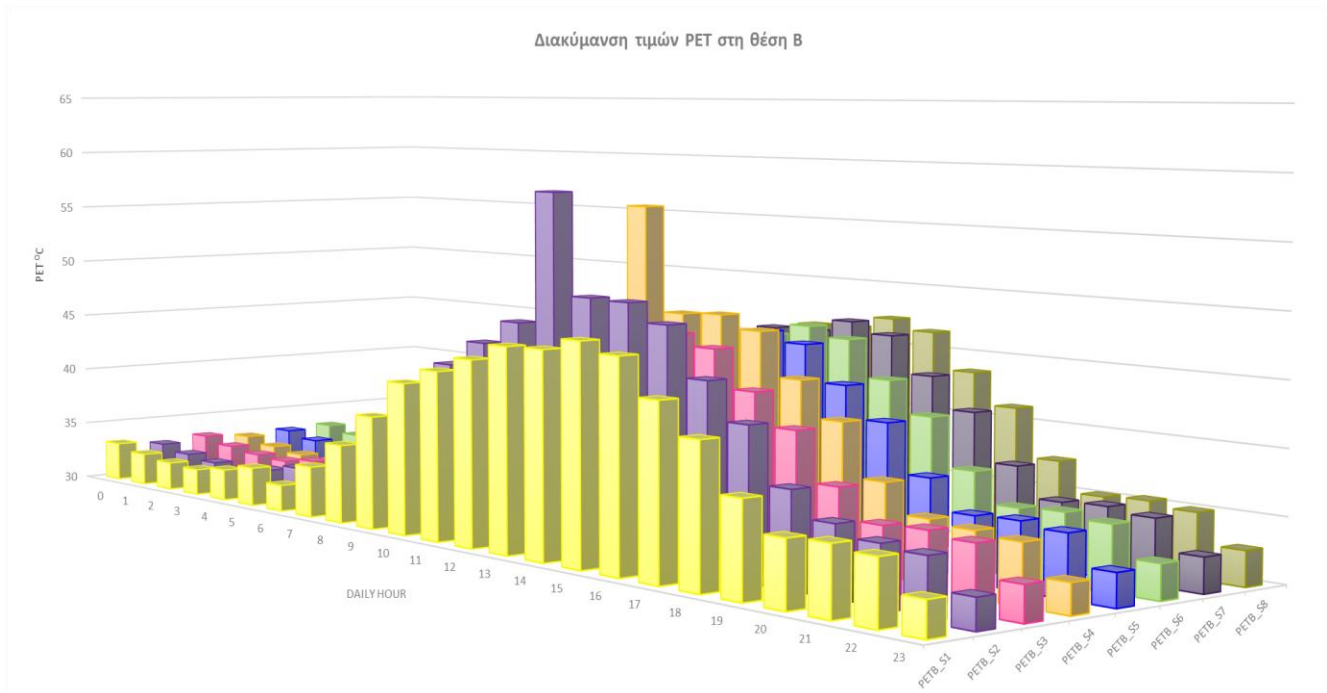
Γ6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΔΕΙΚΤΗ PET ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΘΕΡΜΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων για κάθε θέση για την οποία αποκτήθηκαν τιμές για το δείκτη PET.

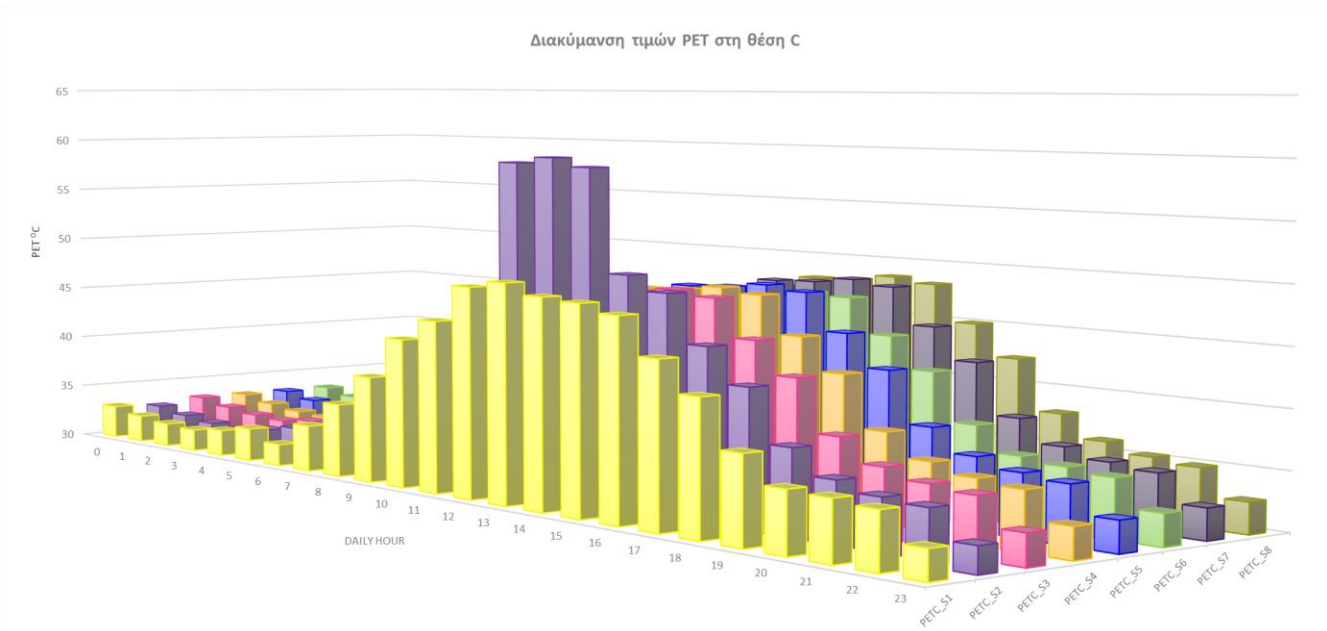
Στη θέση A παρατηρείται πως υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο σενάριο 2 στο οποίο έχει αφαιρεθεί η βλάστηση. Αντίστοιχα υψηλές τιμές παρουσιάζονται στα σενάρια 4 και 5, όπου αφαιρέθηκε η υψηλή φύτευση από τη θέση αυτή. Σε όλα τα σενάρια παρατηρείται μια ανοδική πορεία των τιμών με υψηλότερες τιμές μεταξύ των ωρών 12:00-16:00.



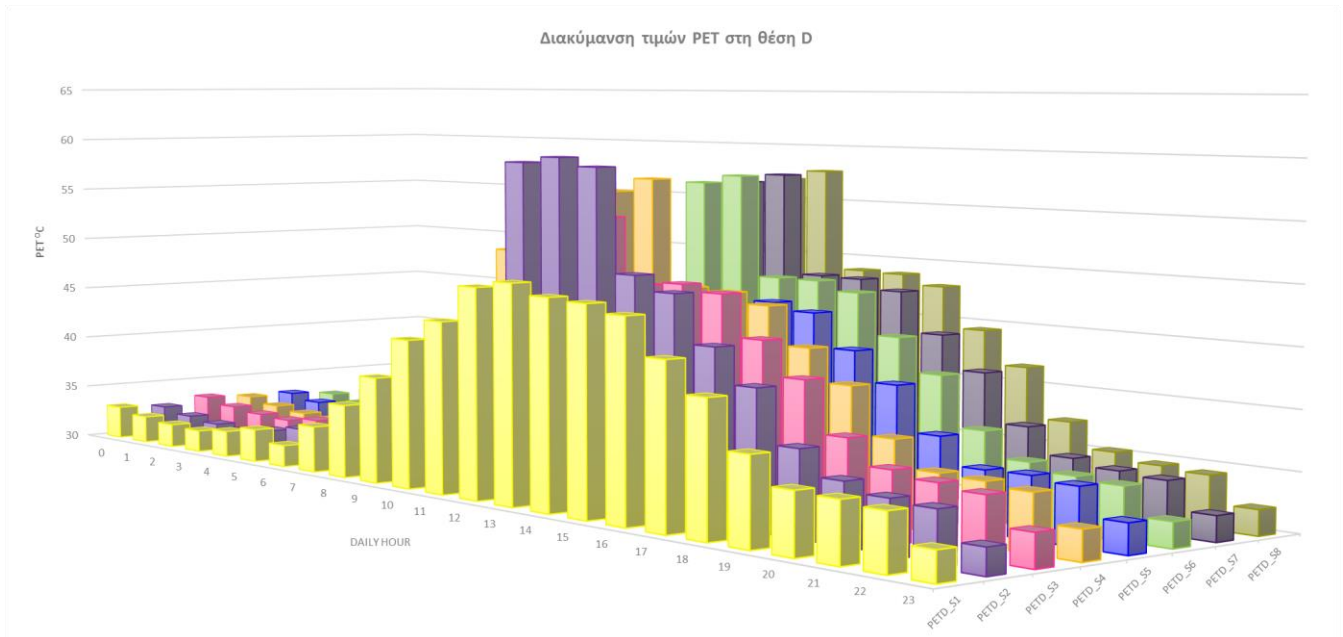
Η θέση Β παρουσιάζει υψηλότερες τιμές στο σενάριο 2. Αντίστοιχα πορεία ακολουθούν και οι τιμές στο σενάριο 4 με την υψηλότερη τιμή να εμφανίζεται στις 13:00 όπως και στο σενάριο 2. Στα υπόλοιπα σενάρια η διακύμανση είναι παρόμοια χωρίς να εμφανίζονται ακραίες τιμές.



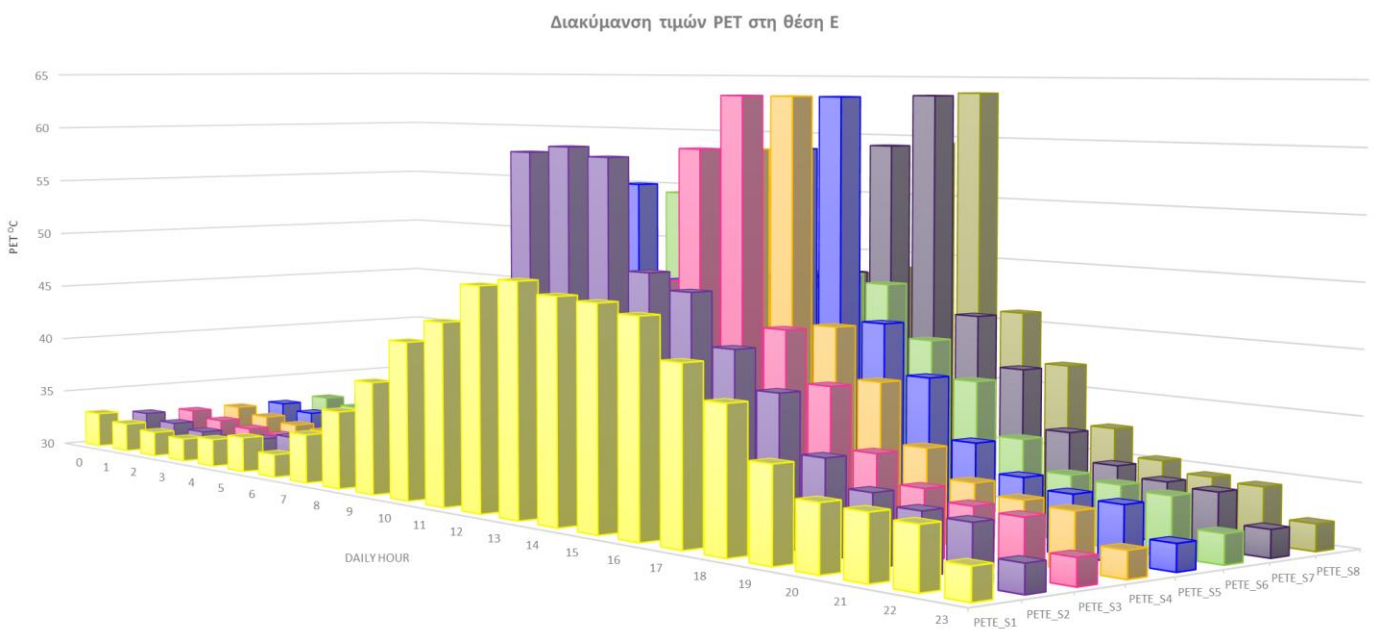
Η θέση Γ παρουσιάζει υψηλότερες τιμές στο σενάριο 2., κυρίως μεταξύ των ωρών 13:00- 15:00. Στα υπόλοιπα σενάρια οι τιμές παρουσιάζουν ίδια πορεία χωρίς εμφάνιση ακραίων τιμών.



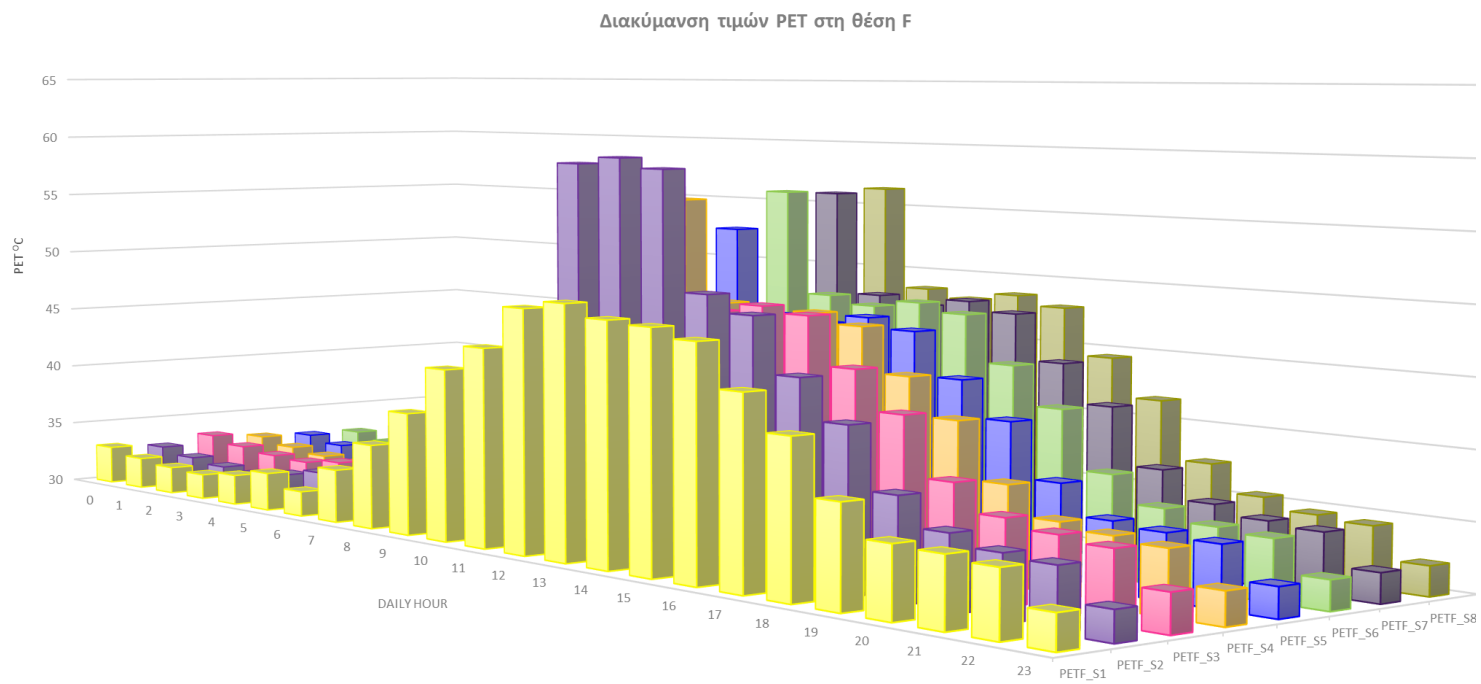
Στη θέση D, παρουσιάζονται πολύ υψηλές τιμές μεταξύ των ωρών 12:00-15:00 σε όλα τα σενάρια, εκτός από το σενάριο 1, όπου οι τιμές εμφανίζονται αυξημένες μεταξύ του χρονικού διαστήματος 10:00-18:00, χωρίς όμως να εμφανίζονται ακραία μέγιστα.



Αντίστοιχα στη E, παρατηρείται όμοια πορεία τιμών στο σενάριο 1. Η ίδια θέση στις υπόλοιπες προσομοιώσεις εμφανίζει ακραία μέγιστα με μεγάλη απόκλιση μεταξύ των ωρών 12:00-16:00. Στα σενάρια 3,4,5,7 και 8 παρουσιάζονται οι υψηλότερες τιμές (60-65 °C) στις 16:00.



Τέλος, στη θέση F οι μέγιστες τιμές φαίνονται να είναι μεταξύ των ωρών 12:00-13:00, σε όλα τα σενάρια με εξαίρεση το σενάριο 1.



Γ7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Στο σύνολο παρατηρείται πως μεταξύ των ωρών 09:00 – 16:00 και ιδίως μεταξύ του χρονικού διαστήματος 11:00 – 14:00, εμφανίζονται οι περισσότερες ακραίες τιμές PET, ανεξάρτητα από τη θέση. Τις υπόλοιπες ώρες παρατηρείται ομαλή πορεία τιμών χωρίς να εμφανίζονται ακραία μέγιστα.

Οι θέσεις που εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές PET, παρατηρείται πως είναι σε όλα τα σενάρια οι θέσεις E, D και F. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται σε σημεία τα οποία αποτελούν ανοιχτό χώρο χωρίς κάλυψη από δένδρο ή κτήριο και λόγω αυτού είναι οι πιο εκτεθειμένες στις επιδράσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Παρατηρείται πως η διαφορά στα υλικά επιφάνειας εδάφους ή η χαμηλή βλάστηση δεν επηρεάζει έντονα το θερμικό αποτέλεσμα, πχ. νερό, χλοοτάπητας ή χώμα. Δεν παρατηρήθηκε επίσης κάποια ουσιαστική διαφορά παρά μόνο σε πολύ κοντινή απόσταση στις περιπτώσεις πράσινων προσόψεων και δεν υπήρχε επιρροή στις τιμές της πλατείας στην περίπτωση των φυτεμένων δωμαίων.

Αντίστοιχα, η υψηλή βλάστηση παρατηρείται πως έχει θετική επιρροή στο θερμική αίσθηση του ανθρώπου εμφανίζοντας διαφορά σε τιμές PET υπό σκιά και υπό ήλιο έως και 10°C , όπως φαίνεται στα γραφήματα στο κεφάλαιο Γ6.

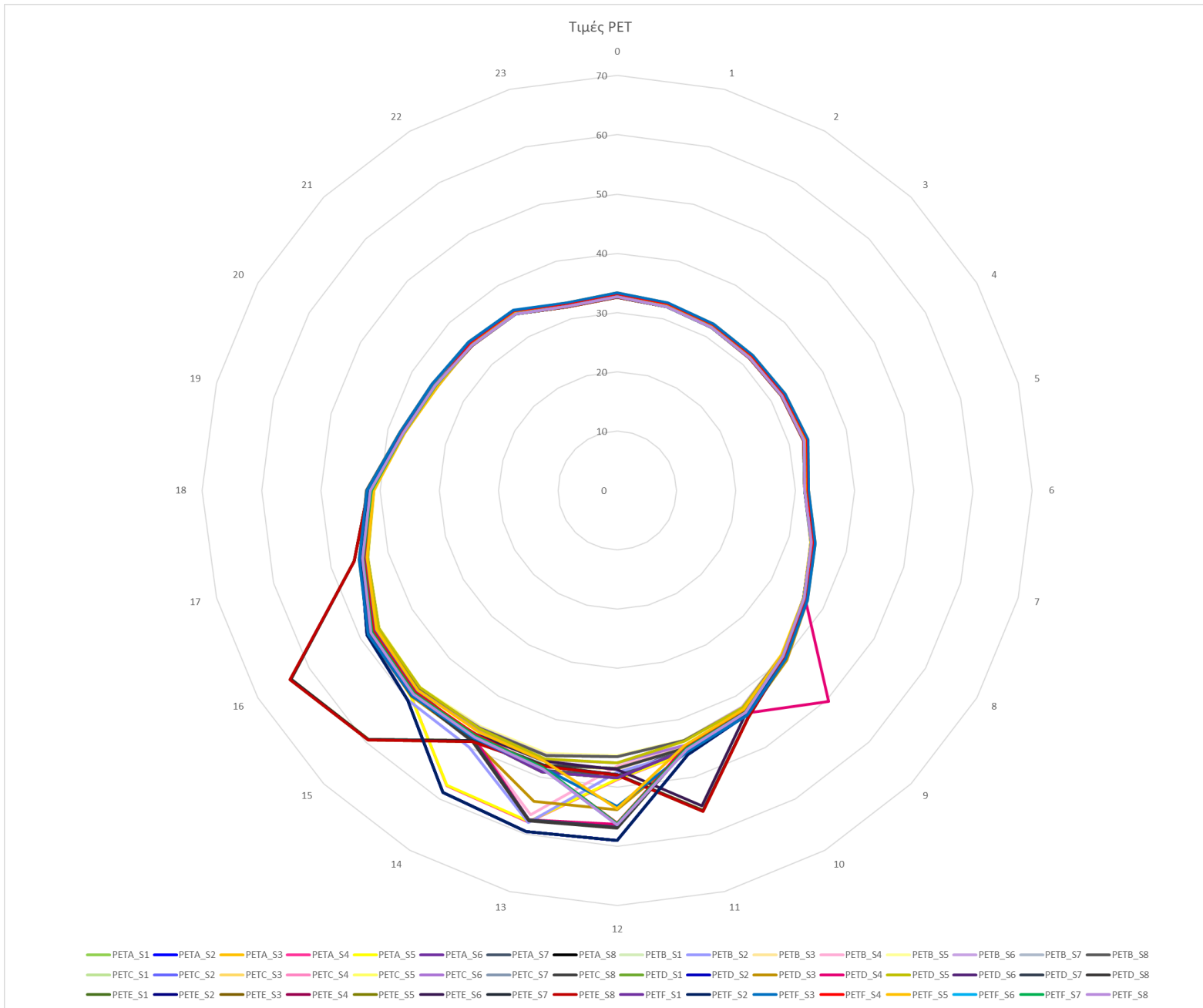
Το σενάριο 2 εμφάνισε συνολικά τις υψηλότερες τιμές Tmrt και δείκτη PET αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας τη σημασία της υψηλής βλάστης στη θερμική άνεση του ανθρώπου.

Στη θέση C παρατηρείται η πιο ομοιόμορφη πορεία τιμών δείκτη PET χωρίς έντονες διακυμάνσεις και ακραία μέγιστα για όλα τα σενάρια εκτός από το 2. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θέση C είναι προφυλαγμένη λόγω των υψηλών κτηρίων και του στενού δρόμου. Αντίθετα οι θέσεις D, E και F παρουσιάζουν ακραίες τιμές με μεγάλες διαφορές, ειδικά τις μεσημεριανές ώρες. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται εκτεθειμένες και επηρεάζονται άμεσα από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Σε όλα τα σενάρια από τις 09:00- 18:00, οι τιμές βρίσκονται στην κατηγορία Ζεστό. Τις υπόλοιπες ώρες η θερμική αίσθηση εμπίπτει στην κατηγορία Θερμό. (Πίνακας XXX)

Γενικά, στις φυτοκαλυμμένες με υψηλή βλάστηση (δένδρα) περιοχές, η θερμοκρασία ακτινοβολίας παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές, όπως φαίνεται στους θερμικούς χάρτες κάθε σεναρίου. Αντίστοιχα στο κέντρο της πλατείας, που δεν υπάρχουν δένδρα, η Tmrt παρουσιάζει λίγο υψηλότερες τιμές. Στους δρόμους που περιβάλλονται από υψηλή δόμηση, η μέση Tmrt παρουσιάζει επίσης χαμηλές τιμές σε σχέση με τις οδούς μεταξύ των κτηρίων και της

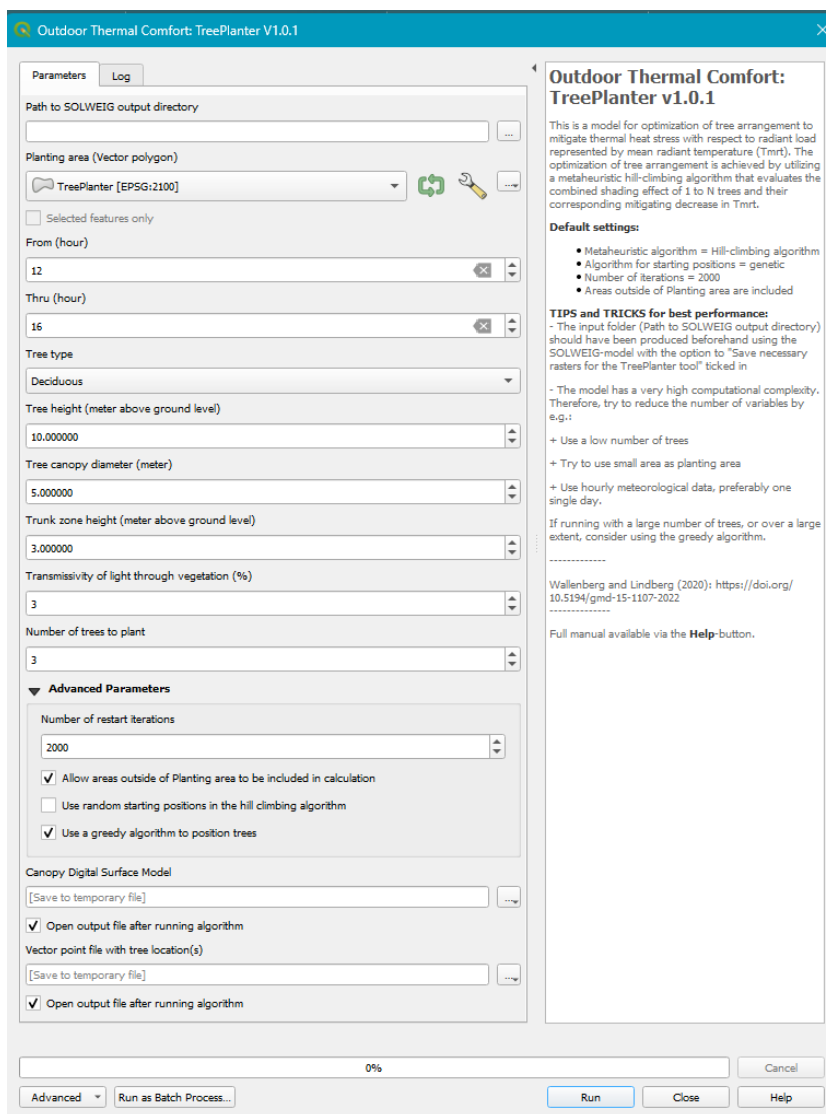
πλατείας. Οι οροφές των κτηρίων παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Αντίστοιχη διακύμανση ακολουθούν και οι τιμές του δείκτη PET, ανάλογα με τη θέση.



Γράφημα Γ7.1: Γράφημα Σύγκρισης συνολικών Τιμών.

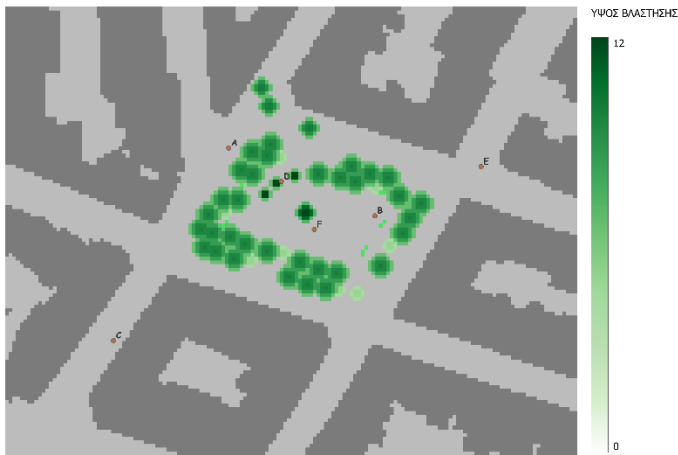
Γ8. ΠΡΟΤΑΣΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ ΜΕΣΩ TREEPLANTER

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια πρόταση παρέμβασης για τη βελτίωση των συνθηκών στην περιοχή μελέτης. Η πρόταση επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί στο σενάριο 4, που αποτυπώνει την υφιστάμενη κατάσταση της πλατείας. Η βλάστηση είναι ένα αποτελεσματικό μέτρο για τη μείωση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε προβλήματα υγείας που σχετίζονται με τη ζέση. Για την πρόταση αυτή έγινε χρήση του πρόσθετου (plug-in) TreePlanter για να βρεθεί η επίδραση της επιπρόσθετης βλάστησης στην περιοχή μελέτης και να συγκριθεί με την υφιστάμενη κατάσταση. Το TreePlanter είναι ένα μοντέλο βελτιστοποίησης της διάταξης των δέντρων για τη μετρίαση της θερμικής καταπόνησης σε σχέση με το φορτίο ακτινοβολίας που αντιπροσωπεύεται από τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Tmrt). Η βελτιστοποίηση της διάταξης των δέντρων επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μεταερευτικού αλγορίθμου αναρρίχησης λόφου που αξιολογεί τη συνδυασμένη επίδραση σκίασης από 1 έως N δέντρα και την αντίστοιχη μείωση του μετριάσμου της Tmrt.

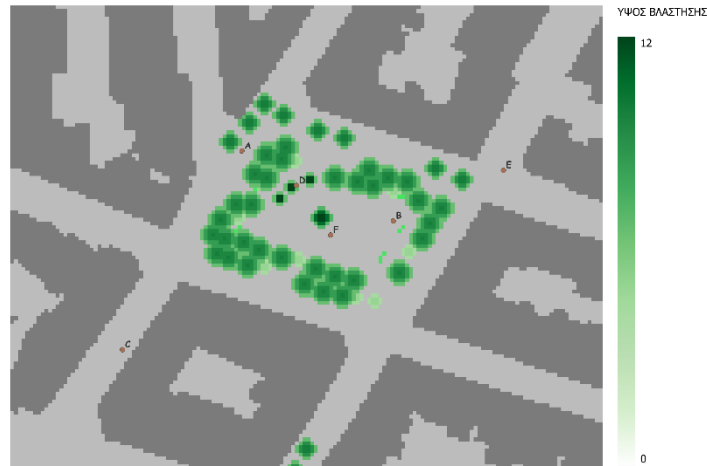


Εικόνα Γ8.1: Εισαγωγή δεδομένων στο περιβάλλον του SOLWEIG TreePlanter

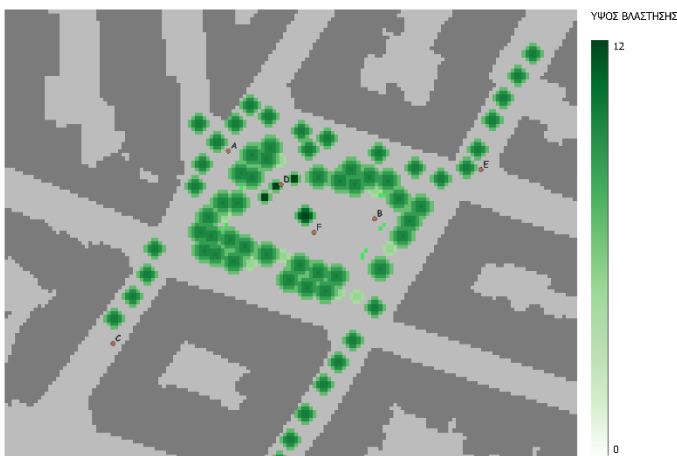
Το εργαλείο αυτό λαμβάνει υπόψιν τα αποτελέσματα από το SOLWEIG και προτείνει θέσεις φύτευσης για βελτίωση των συνθηκών στην ορισμένη περιοχή. Για το συγκεκριμένο πείραμα επιλέχθηκε να βρεθούν θέσεις φύτευσης σε όλη την ελεύθερη επιφάνεια της περιοχής μελέτης εντός και εκτός πλατείας και να βρεθούν οι θέσεις για 3, 10, 30 και 50 φυλλοβόλα δένδρα. Υπολογίστηκαν οι κλιματικές συνθήκες μεταξύ των ωρών 12:00-16:00, που παρατηρήθηκε πως ήταν οι ώρες με τις υψηλότερες τιμές Tmrt και PET. Ως αποτέλεσμα προκύπτει ένα αρχείο βλάστησης CDSM, στο οποίο έχει συμπεριληφθεί η υπάρχουσα βλάστηση.



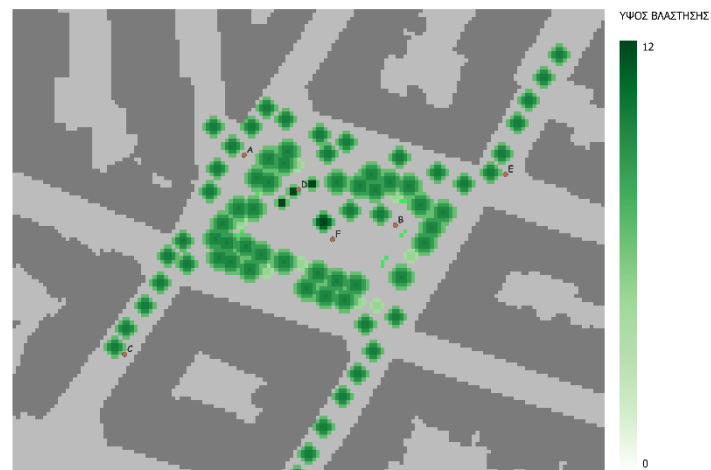
Εικόνα Γ8.2: CDSM με 3 νέες θέσεις φύτευσης



Εικόνα Γ8.3: CDSM για 10 θέσεις φύτευσης

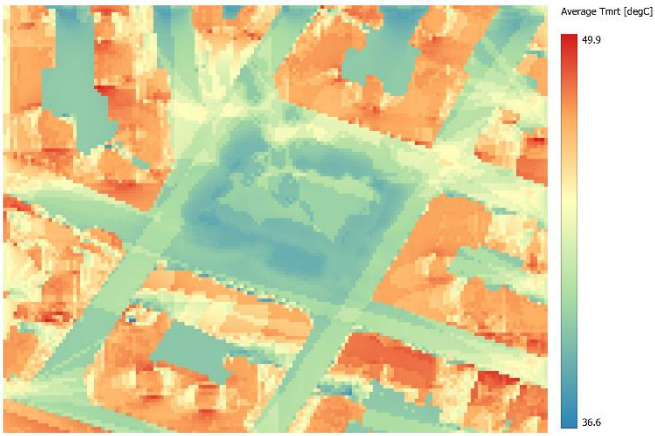


Εικόνα Γ8.4: CDSM για 30 θέσεις φύτευσης

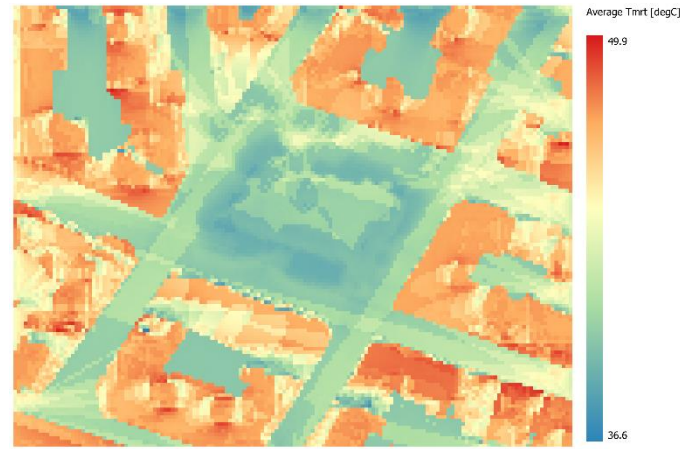


Εικόνα Γ8.5: CDSM για 50 θέσεις φύτευσης

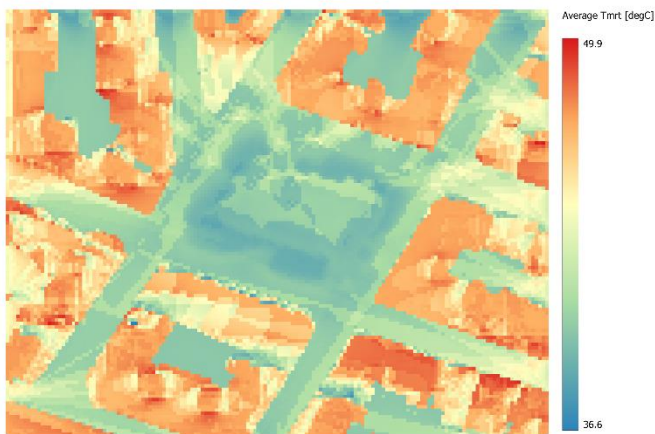
Με βάση αυτά τα αρχεία βλάστησης υπολογίστηκαν η θερμοκρασία ακτινοβολίας Tmrt και ο δείκτης PET για τις 6 διαφορετικές θέσεις. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του σεναρίου 4 που αντικατοπτρίζει την υφιστάμενη κατάσταση και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν για κάθε διαφορετικό αρχείο CDSM. Ακολουθούν οι θερμικοί χάρτες που προέκυψαν με βάση τη νέα βλάστηση στην περιοχή μελέτης.



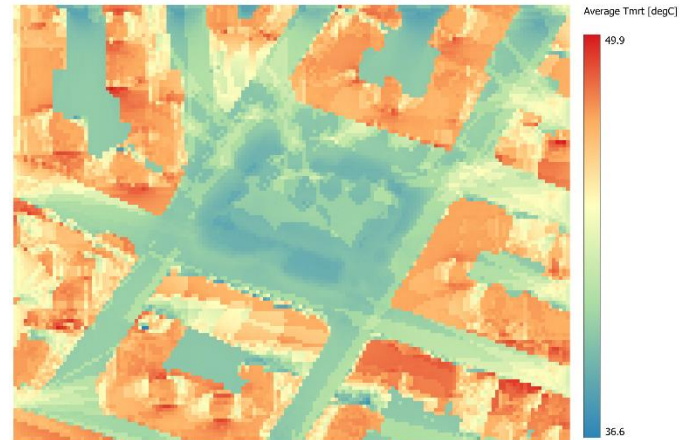
Εικόνα Γ8.6:Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας με 3 νέες θέσεις φύτευσης



Εικόνα Γ8.7: Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας με 10 νέες θέσεις φύτευσης

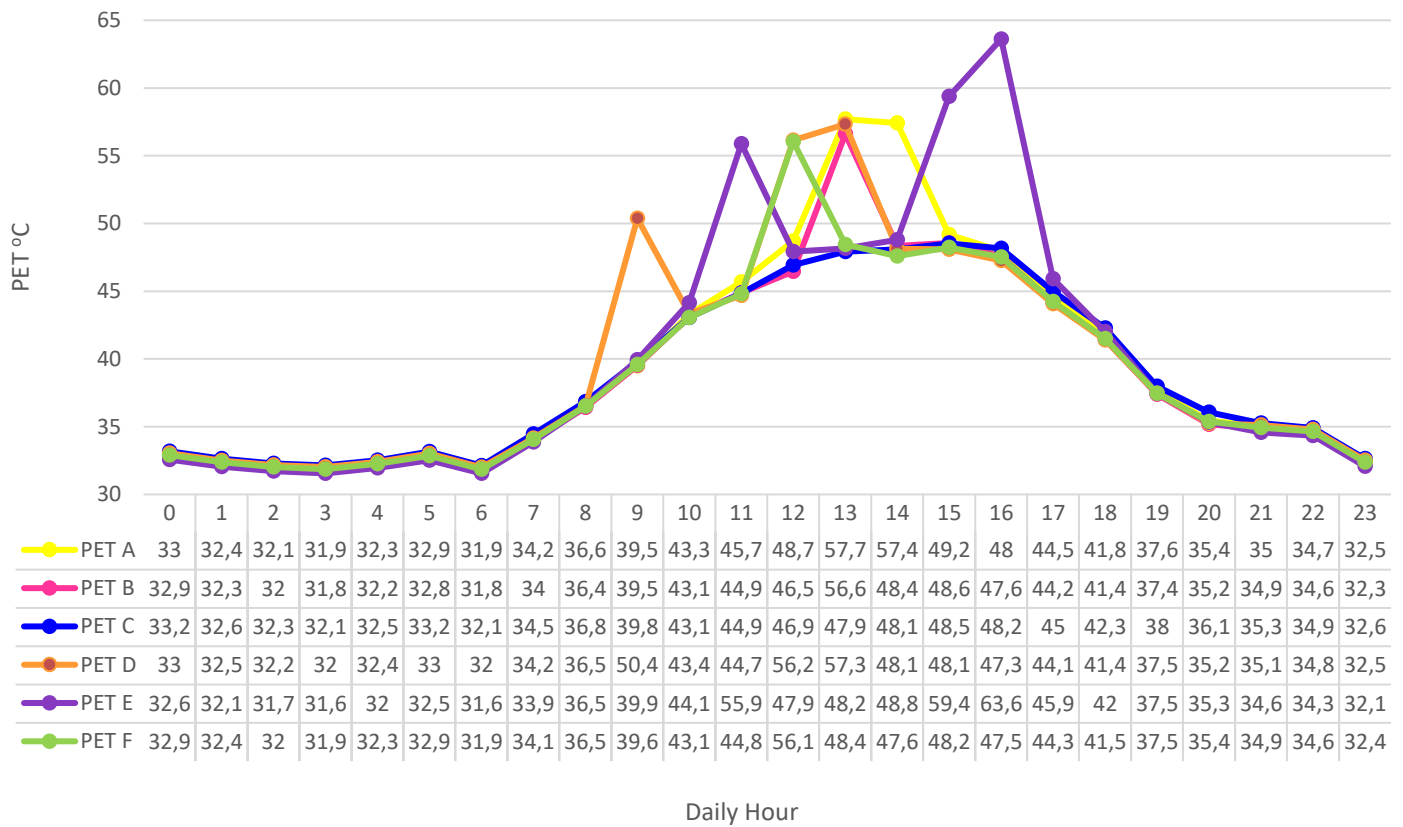


Εικόνα Γ8.8: Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας με 30 νέες θέσεις φύτευσης

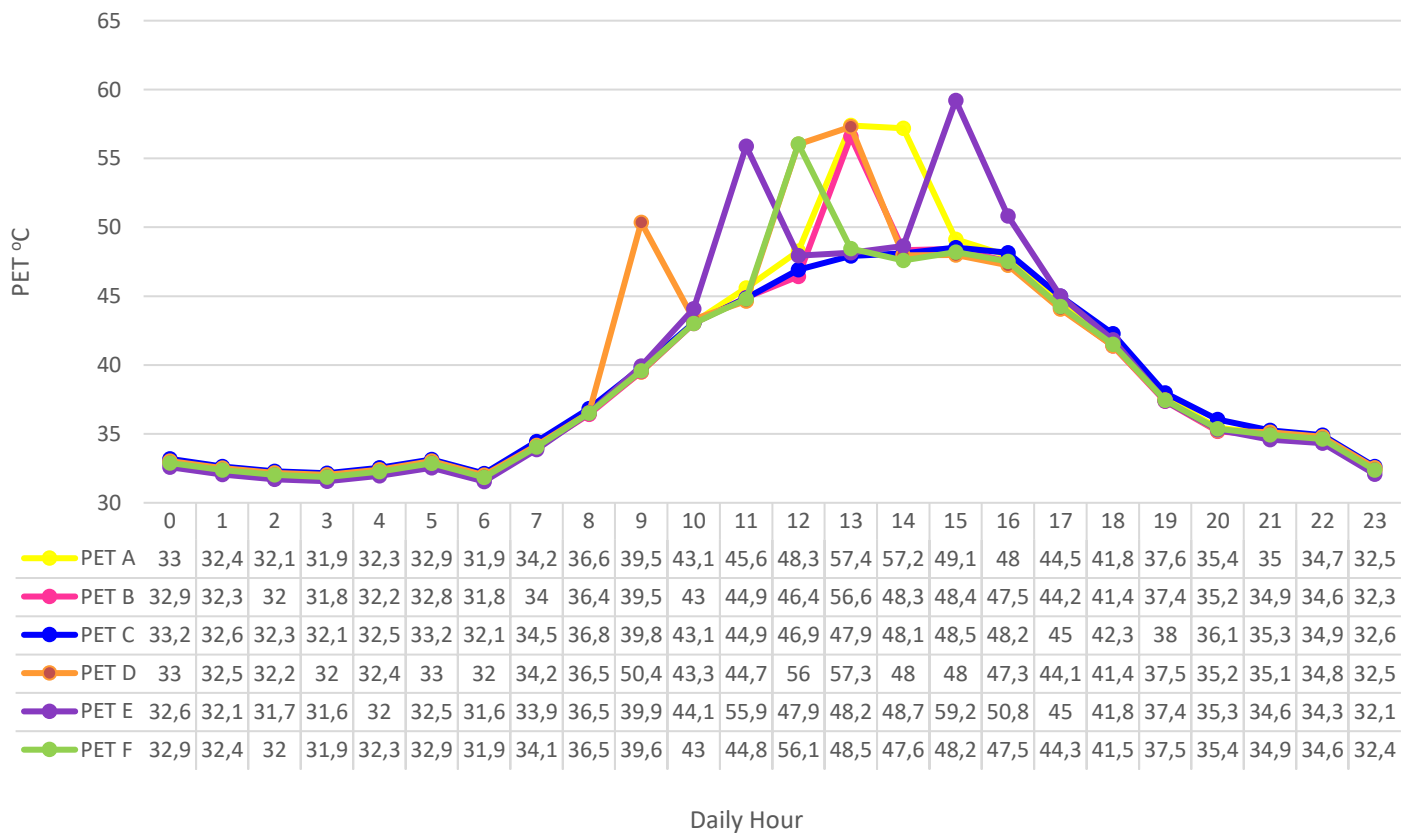


Εικόνα Γ8.9: Θερμικός χάρτης μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας με 50 νέες θέσεις φύτευσης

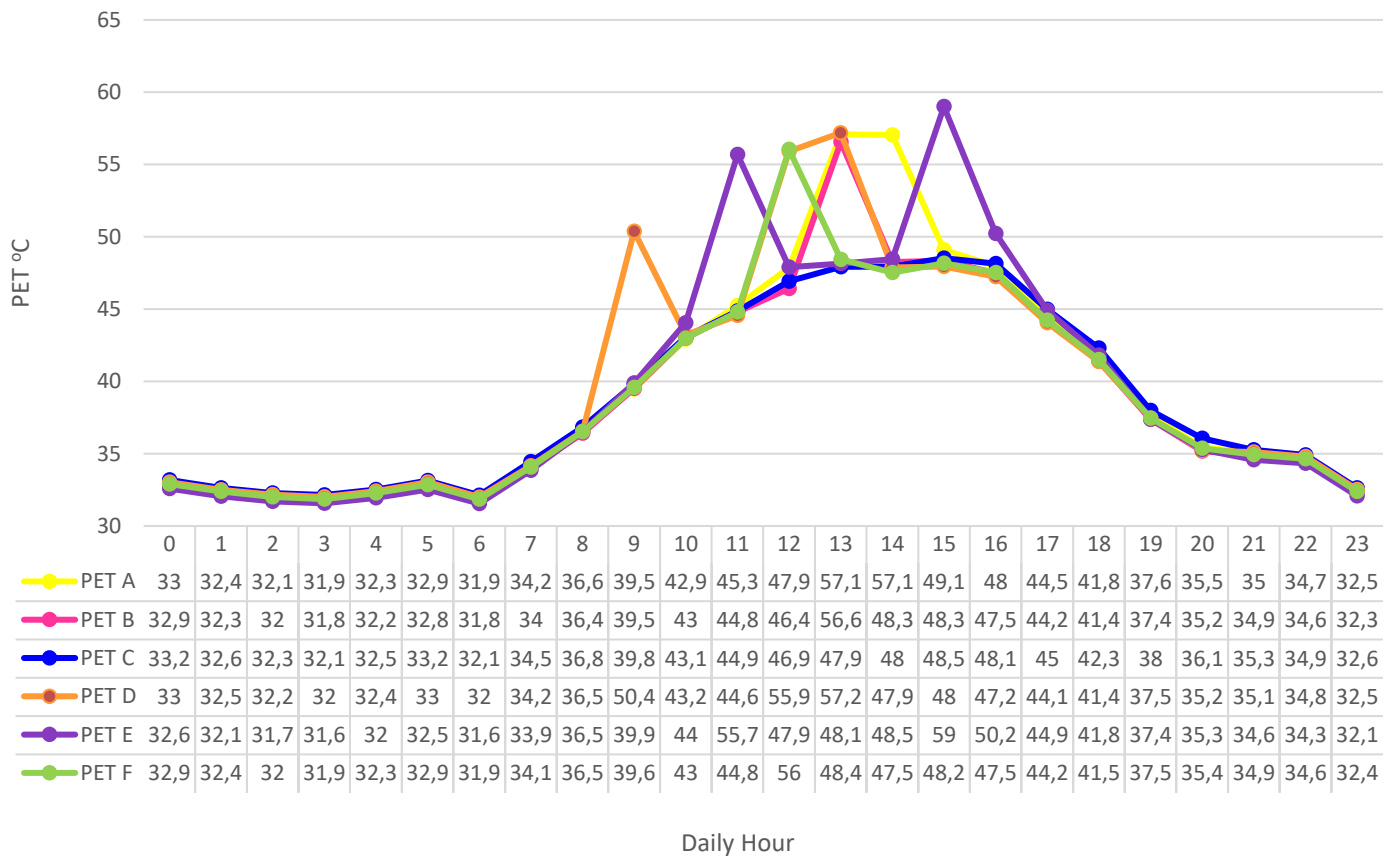
Από τα γραφήματα διακύμανσης του δείκτη PET με τη νέα βλάστηση, παρατηρείται πως με την προσθήκη 3 δένδρων δεν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές σε σχέση με το γράφημα του σεναρίου 4 (Γράφημα Γ4.4.1). Με την προσθήκη 10 δένδρων, ενώ η διακύμανση παραμένει ίδια, παρατηρείται πως υπάρχει διαφορά στη σύγκριση των μέγιστων τιμών με αυτών του σεναρίου 4. Εδώ δεν υπερβαίνει την τιμή 60 °C στη θέση F (μέγιστη τιμή 59,2 °C στις 15:00), σε αντίθεση με το σενάριο 4 που η μέγιστη τιμή του F αγγίζει τους 63,6 °C στις 16:00. Αντίστοιχα χαμηλότερες παραμένουν οι τιμές με την προσθήκη 30 και 50 δένδρων. Ακολουθούν τα γραφήματα ωριαίας διακύμανσης των τιμών του δείκτη PET.



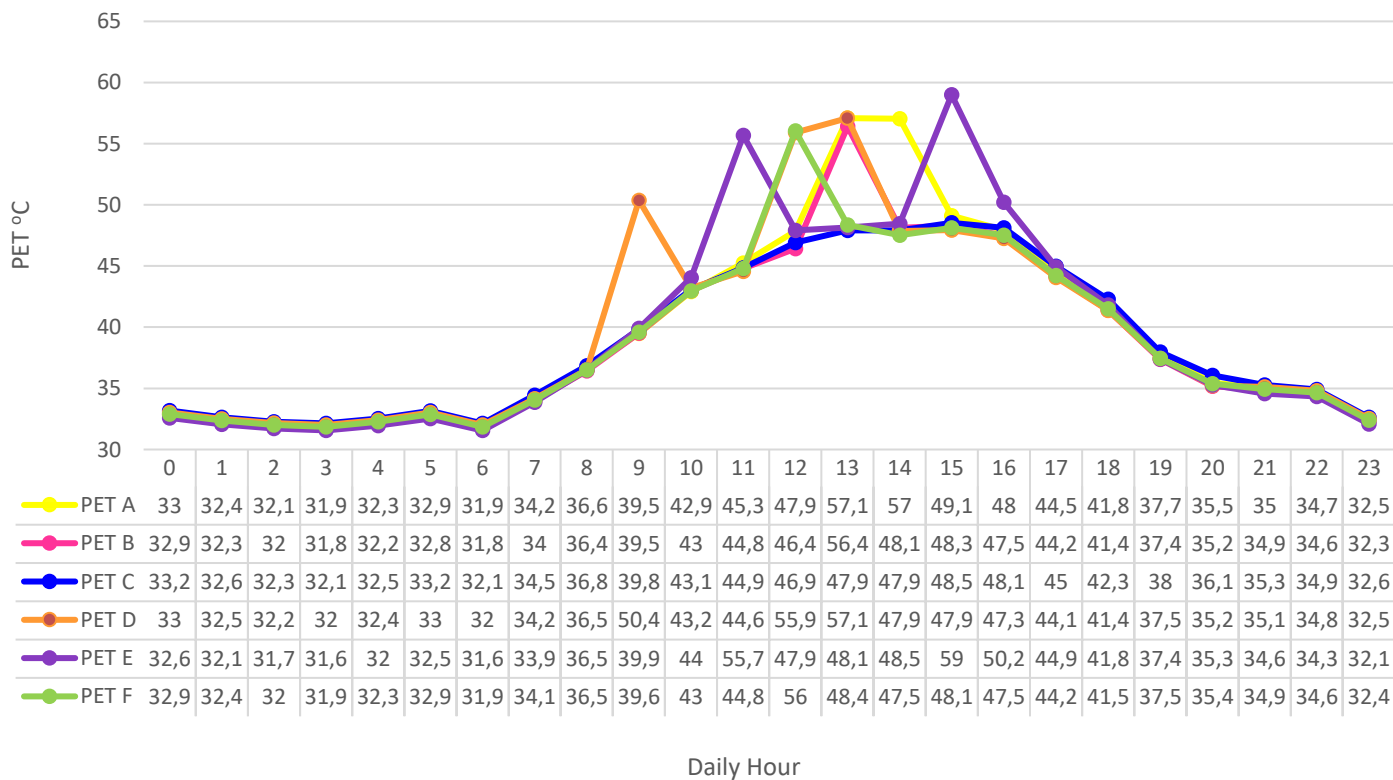
Γράφημα Γ8.1: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET με προσθήκη 3 δένδρων



Γράφημα Γ8.2: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET με προσθήκη 10 δένδρων



Γράφημα Γ8.3: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET με προσθήκη 30 δένδρων

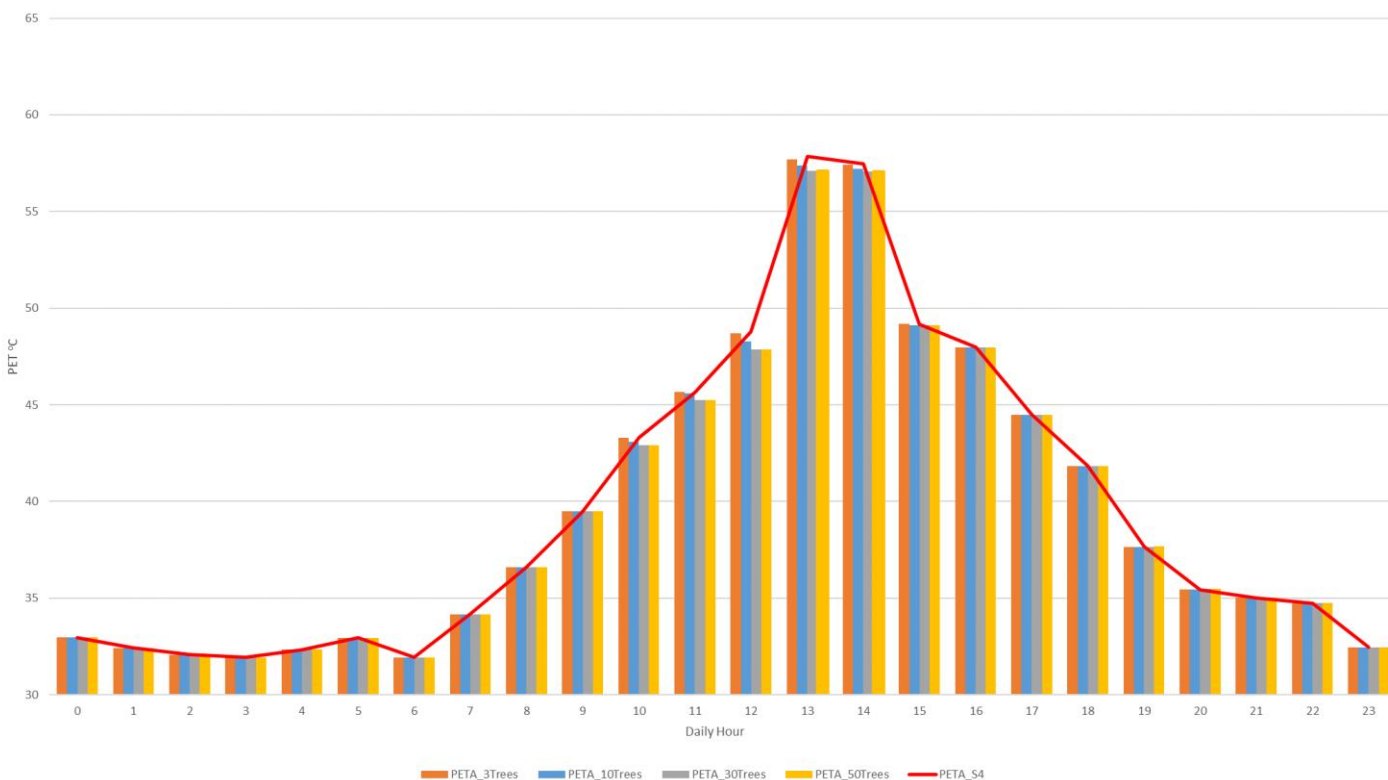


Γράφημα Γ8.4: Ωριαία διακύμανση τιμών δείκτη PET με προσθήκη 50 δένδρων

Γ9. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων των τιμών δείκτη PET μετά από την προσθήκη βλάστησης στην υφιστάμενη κατάσταση (Σενάριο 4).

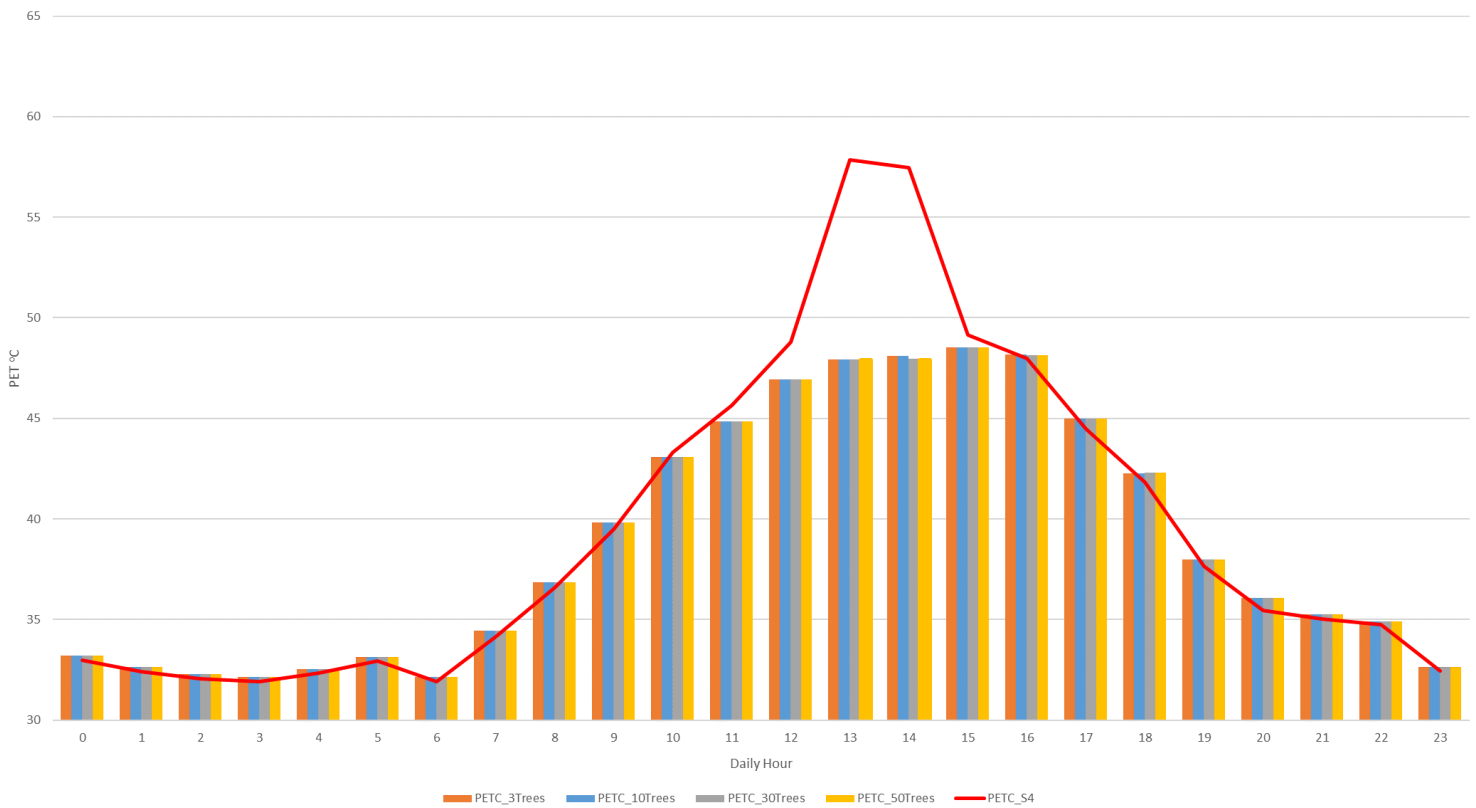
Παρατηρείται ότι η θέση A δεν παρουσιάζει αλλαγές. Στη θέση B, αντί για 2 μέγιστα στις 13:00 και 14:00 παρουσιάζεται πλέον 1 κορύφωση στις 13:00. Η θέση C παρουσιάζει μεγάλη διαφορά σε σχέση με το σενάριο 4, καθώς δεν παρουσιάζει καμία ακραία μέγιστη τιμή φτάνοντας λιγότερο από 50 °C, σε αντίθεση με την υφιστάμενη κατάσταση όπου οι ακραίες τιμές αγγίζουν τους 60 °C. Αντίθετα στη θέση D εμφανίζεται ένα νέο μέγιστο στις 09:00 και ένα στις 12:00. Στις 13:00 υπάρχει ίδια κορύφωση ενώ στις 14:00 οι τιμές μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης με των σεναρίων με νέα βλάστηση παρουσιάζουν περίπου 10 °C διαφορά. Στη θέση E παρουσιάζονται 2 μέγιστα στις 11:00 και στις 16:00, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση που οι μέγιστες τιμές είναι μεταξύ των ωρών 13:00-14:00. Τέλος, στη θέση F, παρουσιάζεται μια ακραία τιμή στις 12:00 και τις υπόλοιπες μεσημεριανές ώρες οι τιμές διατηρούνται χαμηλά σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ώρες που στην υφιστάμενη κατάσταση καταγράφονται τα υψηλότερα νούμερα. Σε όλες τις θέσεις με εξαίρεση τη θέση E στις 16:00, δεν παρατηρείται έντονη διαφορά με την προσθήκη 3,10,30 ή 50 δένδρων.



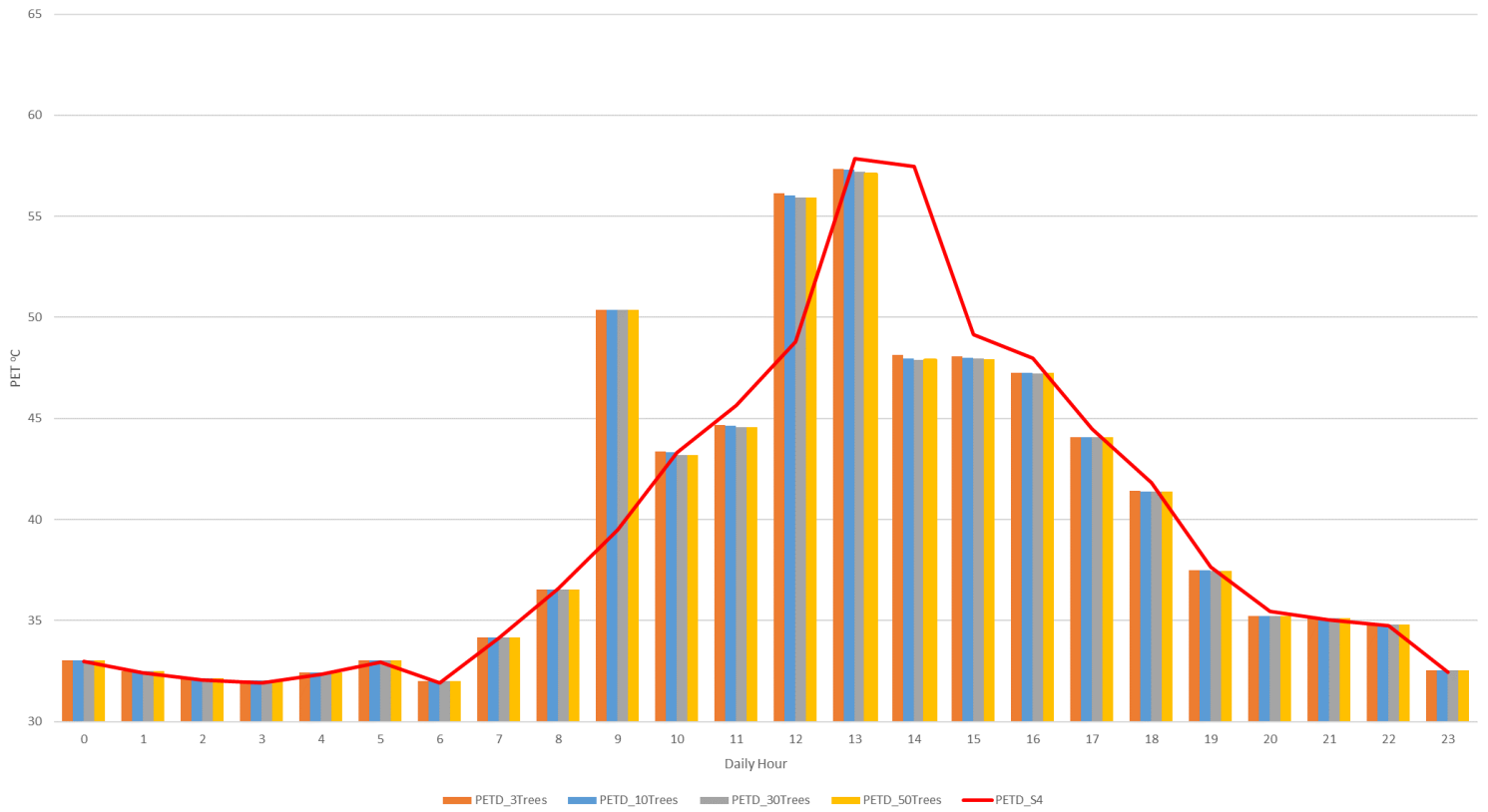
Γράφημα Γ9.1: Σύγκριση τιμών δείκτη PET με την προσθήκη 3, 10, 30 και 50 δένδρων με το σενάριο 4 για τη θέση A



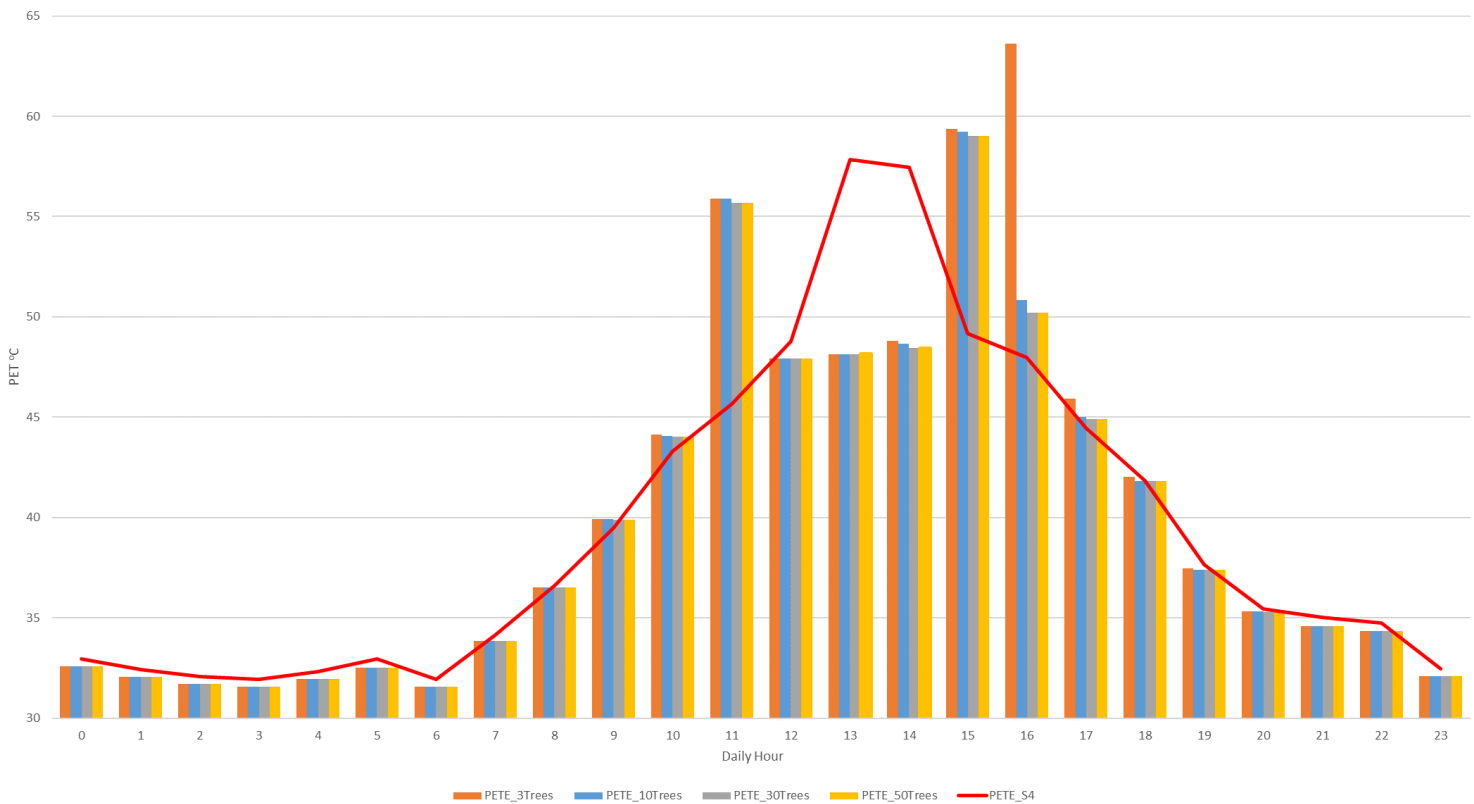
Γράφημα Γ9.2: Σύγκριση τιμών δείκτη PET με την προσθήκη 3, 10, 30 και 50 δένδρων με το σενάριο 4 για τη θέση B



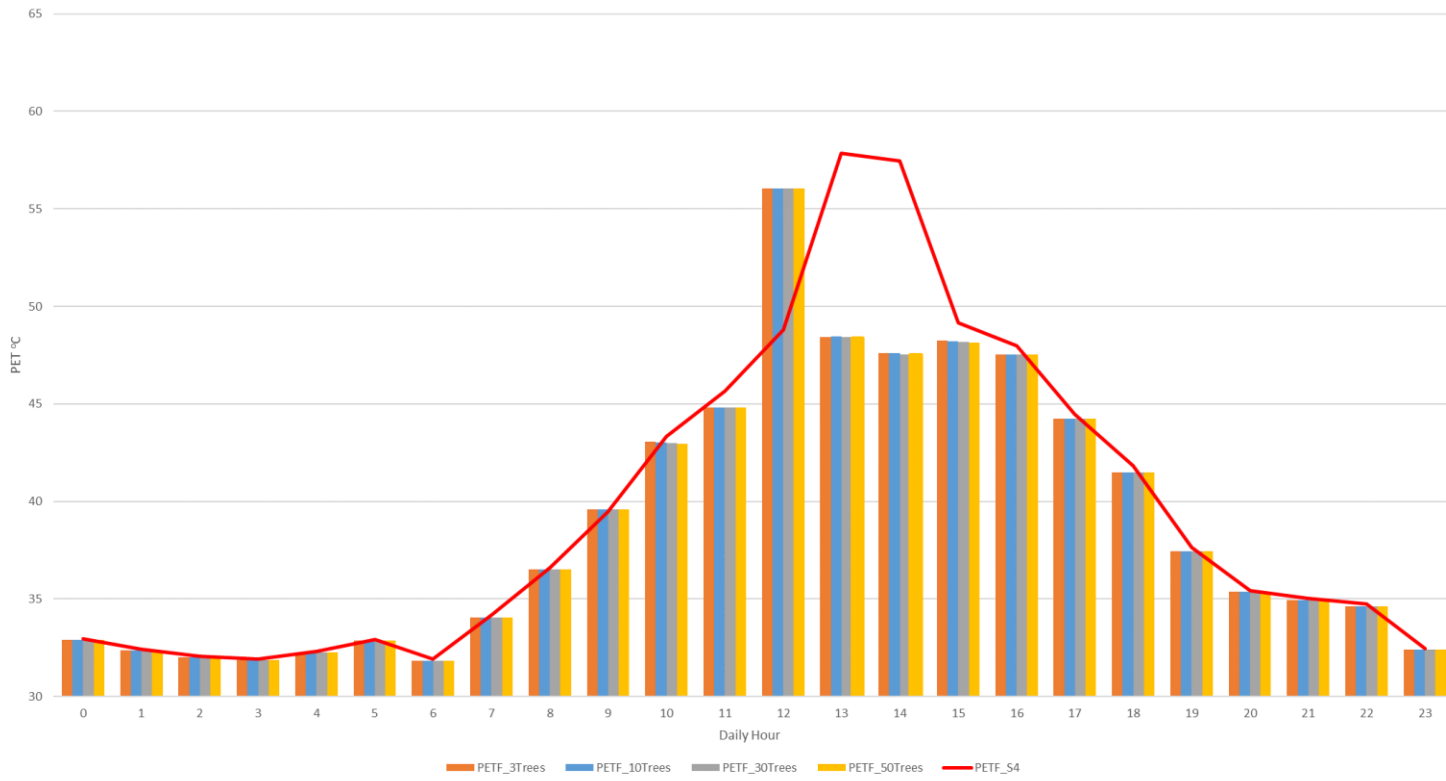
Γράφημα Γ9.3: Σύγκριση τιμών δείκτη PET με την προσθήκη 3, 10, 30 και 50 δένδρων με το σενάριο 4 για τη θέση C



Γράφημα Γ9.4: Σύγκριση τιμών δείκτη PET με την προσθήκη 3, 10, 30 και 50 δένδρων με το σενάριο 4 για τη θέση D



Γράφημα Γ9.5: Σύγκριση τιμών δείκτη PET με την προσθήκη 3, 10, 30 και 50 δένδρων με το σενάριο 4 για τη θέση E



Γράφημα Γ9.6: Σύγκριση τιμών δείκτη PET με την προσθήκη 3, 10, 30 και 50 δένδρων με το σενάριο 4 για τη θέση F

Δ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη των δυνατοτήτων του προγράμματος UMEP για τη διερεύνηση των συνθηκών θερμικής αίσθησης σε έναν τυπικό αστικό υπαίθριο χώρο της Αθήνας. Επιπλέον έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων του προγράμματος σε ότι αφορά το δείκτη PET μεταξύ διαφορετικών σημείων στην πλατεία μελέτης. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο του προγράμματος TreePlanter για πρόταση σημείων φύτευσης με στόχο τη βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στην εν λόγω περιοχή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως για τη συγκεκριμένη περιοχή, σύμφωνα με τη μεσογειακή κλίμακα, η θερμική αίσθηση κυμαίνεται μεταξύ των διαβαθμίσεων Θερμό- Ζεστό, ανάλογα με την ώρα της ημέρας.

Συνολικά εντοπίστηκε πως στις περιοχές που καλύπτονται με υψηλή βλάστηση (δένδρα) ή στις περιοχές που υπάρχει κάλυψη από υψηλά κτήρια, παρουσιάστηκαν οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας ακτινοβολίας T_{mrt} και κατ' επέκταση οι χαμηλότερες τιμές PET. Στις κτηριακές οροφές καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές T_{mrt} , καθώς και στις περιοχές στο έδαφος στις οποίες δεν υπάρχει κάλυψη από βλάστηση ή κτήρια και είναι εκτεθειμένες στις υψηλές θερμοκρασίες αέρα. Σε ότι αφορά την επιφάνεια κάλυψης εδάφους, δεν παρατηρείται έντονη διαφορά μεταξύ του υδάτινου, χωμάτινου ή φυτικού στοιχείου κάλυψης ως μέσο μείωσης των υψηλών θερμοκρασιών και μέσο βελτίωσης της θερμικής αίσθησης.

Συνολικά οι υψηλότερες τιμές T_{mrt} παρατηρούνται μεταξύ των ωρών 09:00 – 16:00 και πιο έντονα μεταξύ του χρονικού διαστήματος 11:00 – 14:00. Αντίστοιχη διαβάθμιση ακολουθούν και οι τιμές PET. Για τις τιμές PET που αποκτήθηκαν, οι θέσεις οι οποίες είναι κάτω από υψηλή βλάστηση και η θέση C που βρίσκεται ανάμεσα σε υψηλή δόμηση παρουσίασαν την καλύτερη διακύμανση τιμών με τα λιγότερα ακραία μέγιστα.

Το εργαλείο TreePlanter που χρησιμοποιήθηκε προτείνοντας θέσεις φύτευσης οι οποίες βελτίωσαν την εικόνα των θερμικών χαρτών, παρουσίασε βελτιωμένα αποτελέσματα στις τιμές PET, μειώνοντας τα ακραία μέγιστα ειδικά στην περίπτωση της θέσης C, B ΚΑΙ F και ταυτόχρονα φάνηκε να υπάρχει πιο ομοιόμορφη κατανομή.

Ε. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Από τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων του δείκτη PET και των θερμικών χαρτών που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις στην περιοχή μελέτης, διαπιστώνεται ότι:

- Η δενδρώδης βλάστηση έχει καθοριστικό ρόλο στην τοπική μείωση της θερμοκρασίας αέρα ως παράγοντας σκίασης και διαπνοής
- Η εγκατάσταση δενδρώδους βλάστησης έχει μεγαλύτερη βιοκλιματική αξία από τα φυτεμένα δώματα ή τις πράσινες προσόψεις των κτηρίων.
- Η παρουσία νερού δεν επιφέρει ουσιαστικές αλλαγές στη θερμική αίσθηση.
- Η ύπαρξη παρτεριών με θαμνώδη φύτευση δεν έχει μεγάλο αντίκτυπο στη βελτίωση των συνθηκών.
- Οι μεταβολές στις οροφές δεν επηρεάζουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τη θερμική αίσθηση στο επίπεδο του εδάφους όπου κινείται ο πληθυσμός.
- Το εργαλείο TreePlanter φαίνεται να προτείνει θέσεις προς φύτευση σε αρκετά επιβαρυμένες θερμικά περιοχές, όπως διαπιστώνεται με σύγκριση των θερμικών χαρτών.

Επισημαίνεται ότι τα συμπεράσματα δεν μπορούν ακόμα να γενικευτούν, γιατί το πρόγραμμα UMER πρέπει να συγκριθεί με αποτελέσματα άλλου προγράμματος (πχ Envi- met), ούτως ώστε να γίνουν πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα του. Επίσης, για να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το εργαλείο TreePlanter, σε ότι αφορά το δείκτη PET, θα πρέπει να γίνει σύγκριση μέσω αντίστοιχων χαρτών τιμών PET και όχι μόνο μεταξύ συγκεκριμένων θέσεων. Το UMER παρέχει ένα ακόμα εργαλείο για αυτή τη χρήση (URock), το οποίο όμως βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο.

Συνολικά το πρόγραμμα UMER, παρουσιάζει αρκετά στοιχεία τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό ενός αστικού υπαίθριου χώρου με στόχο την επίτευξη της θερμικής άνεσης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A. Chatzidimitriou, S. Yannas, Microclimate design for open spaces: ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer, *Sustain. Cities Soc.* 26 (2016) 27–47, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.004>.
- A. Djukic, M. Vukmirovic, S. Stankovic, Principles of climate sensitive urban design analysis in identification of suitable urban design proposals. Case study: central zone of Leskovac competition, *Energy Build.* 115 (2016) 23–35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.057>.
- A. Galatioto, M. Beccali, Aspects and issues of daylighting assessment: a review study, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 66 (2016) 852–860, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.018>.
- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar Energy*, Volume 70, Issue 3. Berkeley, CA, USA: Lawrence Berkeley National Laboratory, Heat Island Group.
- Ali-Toudert F and Mayer H (2007) Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81: 742 – 754
- Allegrini, J. et al., 2015. A review of modelling approaches and tools for the simulation of district-scale energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, pp.1391–1404. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.123>.
- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). (2001). Thermal comfort. In *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (p. 8.1-8.29). Atlanta, GA: ASHRAE
- ASHRAE (2004) ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE, American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers. (n.d.).
- ASHRAE. (1992). Standard 55-1992. Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE. (2001a). *Handbook of Fundamentals*. American Society for heating, refrigerating and air conditioning.
- Bernatzky, A. (1982). The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*
- Bozonnet, Belarbi, & Allard. (2005). Modeling solar effects on the heat and mass transfer in a street canyon, a simplified approach. *Solar Energy* 79.
- Bröde P, Fiala D, Błażejczyk K, Holmér I, Jendritzky G, Kampmann B, Tinz B, Havenith G. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol.* 2012 May;56(3):481-94. doi: 10.1007/s00484-011-0454-1. Epub 2011 May 31. PMID: 21626294.
- Cain, S. (1950). Life-forms and phytoclimate. *The Botanical Review* 16, 1–32.
- Ebi, K. L., Burton, I., & McGregor, G. R. (2009). *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*. Springer Netherlands
- Ebi, K. L., Burton, I., & McGregor, G. R. (2009). *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*.
- Eliasson, I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment* 30(3): 379-392.
- Eliasson I, Knez I, Westerberg U, Thorsson S and Lindberg F (2007) Climate and behaviour in a Nordic city. *Landsc Urb Plan* 82: 72–84
- F. Xue, S.S.Y. Lau, Climate-adaptive urban open space design strategy in workplace for comfort and health-Case in Hong Kong and Singapore, *Procedia Eng.*

- Fanger PO (1970) Thermal Comfort. Analysis and Application in Environment Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen
- Fanger, P. O. (1972). Thermal comfort analysis and applications in environment engineering. New York: McGraw-Hill Book Company
- Fanger, P. O., & Langkilde, G. (1975). Interindividual differences in ambient temperatures preferred by seated persons. ASHRAE Transactions, 81, 140-147
- Gagge AP, Stolwijk J, Nishi Y (1971) An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. ASHRAE Trans 77(1):247–262
- Gagge AP, Nishi Y and Gonzalez RR (1972) Standard effective temperature-A single temperature index of temperature sensation and thermal discomfort. In Proceedings of the CIB Commission W45 (human requirements) symposium held at the Building Research Station (pp. 229-50).
- Hoppe PR (1993) Heat balance modelling. *Experientia* 49(9): 741-746.
- Höppe P (1999) The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol.* 1999 Oct;43(2):71-5.
- Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2002). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in everyday thermal environments. *Energy and Buildings*, 34(6), 667-684
- ISO. (1993). Evaluation of cold environments-determination of required clothing insulation(IREQ). Geneva, Switzerland: ISO Technical Report TR 11079. International Standardization Organization.
- ISO. (1993). Moderate thermal environments determination of the PMV and PPD indices and specification on the conditions for thermal comfort. DIS 7730. Series Geneva.
- J. Allegrini, K. Orehounig, G. Mavromatidis, F. Ruesch, V. Dorer, R. Evins, A review of modelling approaches and tools for the simulation of district-scale energy systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 52 (2015) 1391–1404, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.123>.
- Jendritzky DMG and Nübler W (1981) A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Archives for meteorology, geophysics, and bioclimatology, Series B*, 29(4), 313-326.
- Jendritzky G, Maarouf A and Staiger H (2001) Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications. Windsor-Conference on Thermal Standards, April 5- 8, 2001, Windsor, UK.
- Jendritzky G, Havenith G, Weihs P and Batchvarova E (eds) (2009) Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. Final Report COST Action 730.
- Johansson E and Emmanuel R (2006) The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology* 51(2):119-133
- Lindberg, Fredrik & Holmer, Björn & Thorsson, Sofia. (2008). SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International journal of biomF Lindberg, CSB Grimmond 2019. SOLWEIG_v2019a* Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Sweden, University of Reading, UKeteorology. 52. 697-713. 10.1007/s00484-008-0162-7.
- Lindberg, Fredrik & Grimmond, Christine & Onomura, Shiho & Järvi, Leena. (2014). UMEP - An integrated tool for urban climatology and climate sensitive planning applications.

- Lindberg F, Grimmond CSB, Gabey A, Huang B, Kent CW, Sun T, Theeuwes N, Järvi L, Ward H, Capel- Timms I, Chang YY, Jonsson P, Krave N, Liu D, Meyer D, Olofson F, Tan JG, Wästberg D, Xue L, Zhang Z (2018) Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP) - An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling and Software*.99, 70-87 <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020>
- Lindberg F, Grimmond CSB, A Gabey, L Jarvi, CWKent, NKrave, TSun, NWallenberg, HCWard (2019) Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP) Manual. <https://umep-docs.readthedocs.io/>University ofReading UK, University ofGothenburg Sweden, SIMS China
- M. Tsitoura, M. Michailidou, T. Tsoutsos. Achieving sustainability through the management of microclimate parameters in Mediterranean urban environments during summer, *Sustain. Cities Soc.* 26 (2016) 48–64, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.006>.
- Matzarakis A, Mayer H, Iziomon MG (1999) Applications of universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology* 43(2):76-84
- Matzarakis A and Mayer H (2000) Atmospheric Conditions And Human Thermal Comfort In Urban Areas||11th Seminar on Environmental Protection Environment and Health. 20.- 23, Thessaloniki, Greece, 155-166
- Mayer. (1993). *Urban Bioclimatology*. Freiburg
- Michalakakou, G., M. Santamouris, N. Papanikolaou, C. Cartalis και A. Tsangrassoulis (2004). Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates. *Pure and Applied Geophysics* vol.161 pp429-451
- Munn, R. (1970). *Biometeorological methods*. New York and London: Academic Press
- N. Mazhar, R.D. Brown, N. Kenny, S. Lenzholzer, Thermal comfort of outdoor spaces in Lahore, Pakistan: lessons for bioclimatic urban design in the context of global climate change, *Landsc. Urban Plan.* 138 (2015) 110–117, <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.007>.
- N. Nasrollahi, E. Shokri, Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 66 (2016) 861–874, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.052>.
- Nicol, J.F. and Humphreys, M.A. (2002) *Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings*. Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture, Oxford Brookes University, Oxford.
- Oke, T. (1981). *The boundary layer climates*. London: Routledge
- Oke, T. (1987). *Boundary-Layer Climates*, second edition. London: Routledge. Oliver,
- Park, C.Y., Lee, D.K., Krayenhoff, E.S., Heo, H.K., Hyun, J.H., Oh, K., Park, T.Y., 2019. Variations in pedestrian mean radiant temperature based on the spacing and size of street trees. *Sustain. Cities Soc.* 48, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101521>.
- Parsons, K. (1993). *Human thermal environments*. London: Taylor and Francis.
- Q. Meng, J. Kang, Effect of sound-related activities on human behaviours and acoustic comfort in urban open spaces, *Sci. Total Environ.* 573 (2016) 481–493, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.130>.
- R.F. Rupp, N.G. Vásquez, R. Lamberts, A review of human thermal comfort in the built environment, *Energy Build.* 105 (2015) 178–205, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>.
- S. Lenzholzer, W. Klemm, C. Vasilikou, New qualitative methods to explore thermal perception in urban spaces, *Urban Clim.* (2016) 1–6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.10.003>.

- S. Zoras, Urban environment thermal improvement by the bioclimatic simulation of a populated open urban space in Greece, *Int. J. Ambient Energy* 36 (4) (2015) 156–169
- Saltzman, B. (1968). Surface boundary effects on the general circulation and macroclimate: A review of the theory of the quasi-stationary perturbations in the atmosphere, in: *Causes of Climatic Change*. Springer, pp. 4–19.
- Toparlar, Y. et al., 2017. A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (January), pp.1–28. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.248>.
- Tseliou A, Tsiros IX, Lykoudis S and Nikolopoulou M (2010) An Evaluation of Three Biometeorological Indices for Human Thermal Comfort in Urban Outdoor Areas under Real Climatic Conditions. *Building and Environment* 45 (5): 1346–1352.
- Tseliou, A., Tsiros, I., Nikolopoulou, M., Papadopoulos, G., 2016. Outdoor thermal sensation in a Mediterranean climate (Athens): the effect of selected microclimatic parameters. *Archit. Sci. Rev.* 59, 190–202. <https://doi.org/10.1080/00038628.2015.1028022>.
- Tseliou A., I. Koletsis, K. Pantavou, E. Thoma, S. Lykoudis, I.X. Tsiros, Evaluating the effects of different mitigation strategies on the warm thermal environment of an urban square in Athens, Greece, *Urban Climate*, Volume 44, 2022, 101217, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101217>.
- Tuller, S. (1980). Effects of a moderate sized city on human thermal bioclimate during clear winter nights. *International Journal of Biometeorology* 24(1): 97-106.
- W. Klemm, B. van Hove, S. Lenzholzer, H. Kramer. Towards guidelines for designing parks of the future, *Urban For. Urban Green*. 21 (2016) 134–145, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.004>.
- Weihls P, Staiger H, Tinz B, Batchvarova E, Rieder H, Vuilleumier L, Maturilli G and Jendritzky G (2011) The uncertainty of UTCI due to uncertainties in the determination of radiation fluxes derived from measured and observed meteorological data. *Int J Biometeorol*. doi:10.1007/s0048-011-0416-7.
- Z. Huang, H. Yu, Z. Peng, M. Zhao, Methods and tools for community energy planning: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 42 (2015) 1335–1348, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.042>.
- Zoulia I., Santamouris M., Dimoudi A. (2008). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/s 10661-008-0483-3.
- Αμούργης Σ., Γιαννάς Σ., Ευαγγελινός Ε., Καλογεράς Ν., Καλογήρου Ν. και Helmle P. 2001. Περιβαλλοντικός σχεδιασμός πόλεων και ανοικτών χώρων, Τόμος Α', Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Εθνικό Κτηματολόγιο, Διεύθυνση Γεωχωρικών Πληροφοριών / Τμήμα Γεωπληροφορίας, 2020
- Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2020
- Χρονοπούλου- Σερέλη, Α., & Χρονόπουλος, Ι. (2011). Βιομετεωρολογία-Βιοκλιματολογία. ΖΗΤΗ.
- Χρονοπούλου, & Ουζιέλ. (1997). Θέματα βιοκλιματολογίας. Αθήνα. Χρονοπούλου-Σερέλη
- ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ
- http://www.utci.org/utci_doku.php
- <https://qgis.org/en/site/about/index.html>
- https://rwdi.com/en_ca/knowledge/blog/how-urban-planners-can-use-microclimate-and-thermal-comfort-to-create-quality-outdoor-urban-spaces