



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΣΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΟΛΕΩΝ ΚΑΙ ΚΤΗΡΙΩΝ

Διπλωματική Εργασία

«Η επίδραση του μικροκλίματος στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Διερεύνηση της εξοικονόμησης ενέργειας υφιστάμενης κατοικίας στην Καλαμάτα, μέσα από την βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στο άμεσο περιβάλλον της»

Εμμανουήλ Κουμερτάς

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Αγγελική Χατζηδημητρίου

Πάτρα, Μάιος 2021

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή (Εμμανουήλ Κουμερτάς) που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Η επίδραση του μικροκλίματος στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Διερεύνηση της εξοικονόμησης ενέργειας υφιστάμενης κατοικίας στην Καλαμάτα, μέσα από την βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στο άμεσο περιβάλλον της.

Εμμανουήλ Κουμερτάς

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Αγγελική Χατζηδημητρίου

Κοντολέων Κάρολος Νικόλαος

Συνεργαζόμενο Εκπαιδευτικό Προσωπικό

Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ

Πάτρα, Μάιος 2021

Εμμανουήλ Δ. Κουμερτάς, «Η επίδραση του μικροκλίματος στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Διερεύνηση της εξοικονόμησης ενέργειας υφιστάμενης κατοικίας στην Καλαμάτα, μέσα από την βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στο άμεσο περιβάλλον της»

*«στην Κατερίνα,
τον Δημήτρη και τον Γιάννη»*

Περίληψη

Η υπερσυγκέντρωση των ανθρώπων στις σύγχρονες πόλεις οδήγησε στην έντονη τροποποίηση του φυσικού περιβάλλοντος και την συχνά, δυσμενή μεταβολή του κλίματος των αστικοποιημένων περιοχών. Η μεταβολή αυτή οδήγησε στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα και της θερμικής άνεσης, αλλά και στην αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων για δροσισμό, κυρίως στα θερμά κλίματα, συνεπικουρούμενη από την κλιματική αλλαγή.

Η εν λόγω εργασία, εξερευνά τους τρόπους αξιοποίησης του ανοιχτού περιβάλλοντος χώρου μιας κατοικίας στην πόλη της Καλαμάτας, προκειμένου να επιτευχθούν καλύτερες μικροκλιματικές συνθήκες. Με κυρίαρχη μέθοδο την προσθήκη φυτεύσεων και χρήση υλικών χαμηλής ανακλαστικότητας, γίνεται προσπάθεια μείωσης των καταγεγραμμένων θερμοκρασιών στο περιβάλλον ενός τριώροφου κτηρίου κατοικίας.

Η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας, εμφανίζει μέγιστες τιμές μεταξύ των σεναρίων SC1- SC3 κατά τον θερμότερο μήνα του έτους (Ιούλιος) στις 16:00, φθάνοντας τους 3.69 °C βαθμούς στο επίπεδο του εδάφους και 1.70°C σε ύψος 5μ. Περιμετρικά του κτηρίου η διαφορά είναι ίδια με την μέση τιμή της παρατηρούμενης διαφοροποίησης και φτάνει για τον μήνα Ιούλιο τους 1.80 °C στο επίπεδο του εδάφους και 1.09°C σε ύψος 5μ από αυτό.

Οι ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου, υπολογίζονται με το λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης Green Building Studio, του αρχιτεκτονικού πρόγραμματος Revit. Η σύγκριση για τα δύο ακραία σεναρία SC1- SC3, έδειξε μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση κατά 3,20%. Η μείωση στις ενεργειακές απαιτήσεις εμφανίζεται οριακή.

Εκ των σημαντικότερων ευρημάτων της μελέτης είναι ότι επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος από την προσθήκη των φυτεύσεων και μείωση στην ενεργειακές απαιτήσεις, από την λειτουργία των σκιάσεων των δέντρων πλησιέστερα του κτηρίου.

Λέξεις – Κλειδιά

Βιοκλιματικός σχεδιασμός περιβάλλοντος χώρου, βελτίωση μικροκλίματος, προσομοίωση μικροκλίματος, φυτοκάλυψη, εξοικονόμηση ενέργειας κτηρίων.

The effect of microclimate conditions on the energy efficiency of buildings. Investigation of the energy saving of an existing house in Kalamata, through the improvement of the microclimatic conditions in its immediate environment.

Emmanouil D. Koumertas

Abstract

The over-concentration of people in modern cities has led to the drastic change of the natural environment and the unfavorable climate change of the urbanized areas. This change has led to a decline in air quality and thermal comfort, but also to an increase in the energy demands of buildings for cooling, especially in hot climates, aided by climate change.

This study explores the ways of utilizing the ambient space of a house in the city of Kalamata, in order to achieve better microclimatic conditions. With the predominant method of adding plantings and the use of low albedo materials, an attempt is made to reduce the recorded temperatures in the environment of a three-story residential building.

The study focuses on the cooling period, from May to October. The environment is simulated with the Envi-met program, first for the current situation and then for 3 scenarios of implemented interventions. The scenarios concern the current situation (SC1), the covering of all surfaces with common cementitious materials (SC2), the complete vegetation cover of the surrounding area and the addition of a planted roof (SC3) and finally the vegetation cover by 70% with the addition of water elements (SC4).

The temperature variation shows maximum values between the SC1-SC3 scenarios during the hottest month of the year (July) at 16:00, reaching 3.69 °C degrees at ground level and 1.70°C at a height of 5m. Perimeter of the building the difference is the same as

the average value of the observed diffraction and reaches for the month of July 1.80 °C at ground level and 1.09°C at a height of 5m from it.

The building's energy consumption is calculated with the Green Building Studio energy simulation software, of the Revit architectural program. The comparison for the two extreme scenarios SC1- SC3, showed a reduction in energy consumption by 3.20%. The reduction in energy requirements appears marginal.

The most important findings of the study are that a reduction of the ambient temperature is achieved by the addition of the plantings and a reduction in the energy requirements, by the operation of the shade of the trees closer to the building.

Keywords

microclimate analysis, energy performance simulations, building energy performance, cooling effect of trees, Envi-met simulation,

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα.....	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xii
Κατάλογος Πινάκων	xvii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xix
Highlights.....	1
Συνεισφορά	1
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Βιβλιογραφική Επισκόπηση-Θεωρητικό πλαίσιο	4
1.2 Διατύπωση ερευνητικού ερωτήματος και προσδοκώμενα αποτελέσματα 10	
1.3 Μεθοδολογία διερεύνησης.....	12
1.4 Δομή Εργασίας.....	13
2 Αστικό μικροκλίμα και παράγοντες διαμόρφωσης.....	1
2.1 Εστίαση στο μικροκλίμα για την εξοικονόμηση ενέργειας των κτηρίων ...	1
2.1.1 Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) και Αστικά Φαράγγια (ΑΦ)	2
2.2 Παράγοντες διαμόρφωσης του μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο των κτηρίων 4	
2.2.1 Ο ρόλος της φύτευσης και οι ιδιότητές της.....	5
2.2.2 Φυτεμένα δώματα	8
2.2.3 Στοιχεία υλικών εδαφοκάλυψης-επιστρώσεων	8

2.2.4	Στοιχεία νερού.....	13
3	Μελέτες περιπτώσης στρατηγικών μετριασμού της αστικής θέρμανσης και βελτίωση της εξοικονόμησης ενέργειας κτιρίων	16
3.1	Δυναμικές αναλύσεις με κυρίαρχη στρατηγική την φύτευση δέντρων στο επίπεδο του δρόμου	16
3.2	Η προσθήκη γρασιδιού στην μείωση της θερμοκρασίας και ακτινοβολίας	17
3.3	Αναλύσεις σχετικές με την ψυκτική δράση των φυτεμένων δωματίων ...	17
3.4	Μελέτες συνδυασμένων στρατηγικών αστικού πρασίνου.....	18
3.5	Εφαρμογές ψυχρών υλικών σε οροφές	19
3.6	Αναλύσεις με εφαρμογή ψυχρών υλικών σε οριζόντιες επιφάνειες	20
3.7	Μελέτες συνδυασμού ψυχρών υλικών και αστικού πρασίνου.....	21
3.8	Μελέτες εφαρμογών με στοιχεία νερού	23
4	Μελέτη Περίπτωσης	25
4.1	Γεωγραφική θέση περιοχής Μελέτης	25
4.2	Στοιχεία Περιοχής Ένταξης.....	27
4.3	Χαρακτηριστικά Οικοπέδου Μελέτης και Εγγύτερης Περιοχής.....	30
4.4	Μεθοδολογία Ανάλυσης και Εργαλεία Λογισμικού	32
4.5	Πρόγραμμα Προσομοίωσης Μικροκλίματος ENVI-met	36
4.6	Σενάρια Διαμόρφωσης-Προσομοίωσης.....	39
4.6.1	SC1-Υφιστάμενη κατάσταση	39
4.6.2	SC2-Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά υλικά (τσιμέντο).....	40
4.6.3	SC3-Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης.....	42
4.6.4	SC4-Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% του συνόλου	44

4.7	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Μικροκλίματος	47
4.7.1	SC1-Υφιστάμενη κατάσταση	47
4.7.2	SC2- Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά τσιμεντοειδή υλικά. 51	
4.7.3	SC3-Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης.....	53
4.7.4	SC4-Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% του συνόλου	56
5	Επίδραση στις Ενεργειακές Απαιτήσεις του Κτηρίου	66
5.1	Προσομοίωσης Κτηρίου με το πρόγραμμα REVIT- ενεργειακή προσομοίωση με το Green Building Studio	66
5.2	Σενάρια ενεργειακής προσομοίωσης και αποτελέσματα	69
5.3	Συμπεράσματα και προβληματισμοί από την ενεργειακή προσομοίωση 74	
6	Συμπεράσματα και προοπτικές	76
6.1	Συμπεράσματα	76
6.2	Αναπάντητα ερωτήματα και αδυναμίες	77
6.3	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	78
6.4	Πιθανές εφαρμογές.....	79
	Βιβλιογραφία	80
7	Παράρτημα: Συμπληρωματικό Υλικό	90
7.1	Παράρτημα Α.....	90
7.2	Παράρτημα Β-Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.....	95

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1-1. Αστική Θερμική Νησίδα-διαφοροποίηση της θερμοκρασίας μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών. Μικροκλίμα αστικών περιοχών και κύριοι παράγοντες διαμόρφωσής του. Πηγή: «Climate Change Resilience in the Urban Environment» (Tristan Kershaw, 2017).....	5
Εικόνα 1-2. Απεικόνιση της χρήσης των φυλλοβόλων δέντρων στην λειτουργία των ηλιακών προσόδων για χειμώνα και καλοκαίρι. Πηγή «Guide to Urban Cooling Strategies» (Osmond, P. & E. Sharifi, 2017).....	7
Εικόνα 1-3. Τα βήματα για την εκπόνηση μελέτης στην πόλη New Borg El-Arab της Αιγύπτου πηγή: «Urban design in favor of human thermal comfort for hot arid climate using advanced simulation methods» (Barakat, Ayad, & El-Sayed, 2017)	10
Εικόνα 2-1. Τρόπος λειτουργίας τους φαινομένου της ΑΘΝ. Πηγή «Guide to Urban Cooling Strategies» (Osmond, P. & E. Sharifi, 2017).....	3
Εικόνα 2-2. Στρατηγικές για την μείωση της θερμοκρασίας στο αστικό περιβάλλον κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Πηγή «Guide to Urban Cooling Strategies» (Osmond, P. & E. Sharifi, 2017).....	4
Εικόνα 2-3. Η ψυκτική δράση των δέντρων. Πηγή «Effects of internal and external planning factors on park cooling intensity: field measurement of urban parks in Gold Coast, Australia» (Jian, Z. & Zhongua, G. 2019)	6
Εικόνα 2-4. Διαφοροποίηση Θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση κοινών υλικών επίστρωσης. Πηγή: Χατζηδημητρίου, (2017). Υλικά επίστρωσης εξωτερικών δαπέδων & μικροκλίμα αστικών χώρων. www.ktirio.gr	10
Εικόνα 3-1. Θερμοκρασίες αέρα για τις τέσσερις διαφορετικές συνθήκες (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012).	22
Εικόνα 4-1. Ευρύτερη περιοχής ένταξης, πηγή: google maps.....	25

Εικόνα 4-2. Θέση περιοχής μελέτης στην πόλη, πηγή: google maps.....	26
Εικόνα 4-3. Οικόπεδο μελέτης, πηγή: google maps	26
Εικόνα 4-4. Μέσες τιμές θερμοκρασιών και υετού για την περιοχή της Καλαμάτας τα τελευταία 30 έτη. (πηγή: https://www.meteoblue.com/).....	27
Εικόνα 4-5. Αριθμός ημερών με πλήρη ηλιοφάνεια, περιορισμένη νέφωση και νεφοσκεπή ανά μήνα για την περιοχή της Καλαμάτας τα τελευταία 30 έτη. (πηγή: https://www.meteoblue.com/).....	28
Εικόνα 4-6. Διαγραμματική απεικόνιση αριθμού ημερών με τιμές θερμοκρασιών ανά μήνα, για την περιοχή της Καλαμάτας τα τελευταία 30 έτη. πηγή: https://www.meteoblue.com/	29
Εικόνα 4-7. Ύψη κτηρίων και είδη επιφανειών στην περιοχή μελέτης (πηγή υποβάθρου google earth).....	30
Εικόνα 4-8. Ασφαλτος, τσιμέντο και χαμηλή βλάστηση περιβάλλουν το οικόπεδο μελέτης	31
Εικόνα 4-9. Άποψη οικοπέδου από νοτιοανατολικά. Τσιμεντένιος δρόμος και ακάλυπτες επιφάνειες διακρίνονται.	31
Εικόνα 4-10. Άποψη οικοπέδου από νοτιοδυτικά. Ακάλυπτο χώμα και χαμηλή βλάστηση.....	31
Εικόνα 4-11. Χαρακτηριστική εικόνα της εδαφοκάλυψης στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου.	31
Εικόνα 4-12. Νότια όψη του κτηρίου με την περιμετρική του φύτευση.....	32
Εικόνα 4-13. Σχηματική απεικόνιση μεθοδολογίας και χρήσης υπολογιστικών εργαλείων	33
Εικόνα 4-14. Μοντέλο προσομοίωσης με το λογισμικό ENVI-met v.04-υπόβαθρο google earth.....	38

Εικόνα 4-15. Μοντέλο προσομοίωσης εδάφους με την διαφοροποίηση των επιφανειών (λογισμικό ENVI-met v.04).	38
Εικόνα 4-16. Τρισδιάστατη απεικόνιση υφιστάμενης κατάστασης-SC1 και απεικόνιση κτηριακών όγκων και φυτεύσεων-απεικονίσεις από λογισμικό προσομοίωσης ENVI-met.	40
Εικόνα 4-17. Τρισδιάστατη απεικόνιση σεναρίου 2-SC2 και απεικόνιση κτηριακών όγκων και φυτεύσεων-απεικονίσεις από λογισμικό προσομοίωσης ENVI-met.	41
Εικόνα 4-18. Μοντέλο προσομοίωσης με το λογισμικό ENVI-met v.04-υπόβαθρο google earth. Διακρίνονται οι κωδικοί SM, XX, H4 των διαφορετικών ειδών φύτευσης..	42
Εικόνα 4-19. Τρισδιάστατη απεικόνιση κτηριακών όγκων και φυτεύσεων SC3-απεικονίσεις από λογισμικό προσομοίωσης ENVI-met.	43
Εικόνα 4-20. Στοιχεία κτηρίων και φύτευσης –SC4	45
Εικόνα 4-21. Υλικά εδαφοκάλυψης–SC4.....	45
Εικόνα 4-22. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	48
Εικόνα 4-23. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 1.8m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI - met.....	49
Εικόνα 4-24. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.	49
Εικόνα 4-25. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα Ιούλιο. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI - met	50

Εικόνα 4-26. Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά υλικά (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	51
Εικόνα 4-27. Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά τσιμεντοειδή υλικά (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.20m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	51
Εικόνα 4-28 Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.	52
Εικόνα 4-29. Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης (SC3). Θερμοκρασία αέρα και διεύθυνση ανέμου για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	53
Εικόνα 4-30. Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης (SC3). Θερμοκρασία αέρα και διεύθυνση ανέμου για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	53
Εικόνα 4-31. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC3, σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.	55
Εικόνα 4-32. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI-met.	55
Εικόνα 4-33. Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	56
Εικόνα 4-34. Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	56

Εικόνα 4-35. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	57
Εικόνα 4-36. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met	58
Εικόνα 4-37. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC3-SC4 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.	58
Εικόνα 4-38. Τιμές μέσης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.....	59
Εικόνα 4-39. Τιμές μέσης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.....	60
Εικόνα 4-40. Τιμές μέγιστης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.....	61
Εικόνα 4-41. Τιμές μέγιστης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.....	62
Εικόνα 4-42. Θερμοκρασία αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.	63
Εικόνα 4-43. Θερμοκρασία αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.	64
Εικόνα 5-1. Απεικόνιση του κτηριακού όγκου με το αρχιτεκτονικό πρόγραμμα REVIT.	66
Εικόνα 5-2. Απεικόνιση της πορείας του ήλιου στον ορίζοντα και των πραγματοποιούμενων σκιάσεων με βάση την γεωμετρία και θέση του κτηρίου με το αρχιτεκτονικό πρόγραμμα REVIT.	68

Εικόνα 5-3. Ορισμός θέσης οικοπέδου και μετεωρολογικού σταθμού στο πρόγραμμα REVIT.....	69
Εικόνα 5-4. Ενεργειακή κατανάλωση κτηρίου με Green Building Studio για το σενάριο αρχικής κατάστασης (SC1).	71
Εικόνα 5-5. Απεικόνιση κτηρίου και δεντροστοιχιών με το Green Building Studio για το SC3.	73
Εικόνα 5-6. Ενεργειακή κατανάλωση κτηρίου με το Green Building Studio για το σενάριο πλήρους φύτευσης (SC3) μετά και την τοποθέτηση των δέντρων.....	73

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1. Τιμές υλικών albedo για κοινά υλικά με διαφοροποίηση λόγω έκθεσης ή χρωματισμού. Πηγή: (Tsoka, Tsikaloudaki, &Theodosiou, 2019).....	12
Πίνακας 4-1. Πίνακας τιμών παραμέτρων που εξήχθησαν από την βάση κλιματικών δεδομένων του Meteonorm-Demo mode v.8.0.2.....	34
Πίνακας 4-2. Πίνακας τιμών μέγιστων και ελάχιστων τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας για κάθε μήνα. Οι τιμές προκύπτουν από επεξεργασία των ωριαίων τιμών της βάσης δεδομένων του Meteonorm.	37
Πίνακας 4-3. Στοιχεία υλικών και φύτευσης –SC1	39
Πίνακας 4-4. Στοιχεία υλικών και φύτευσης –SC3.....	44
Πίνακας 4-5. Στοιχεία υλικών και φύτευσης –SC4.....	46
Πίνακας 4-6. Συγκεντρωτικός πίνακας διαφοροποίησης της θερμοκρασίας αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.....	65
Πίνακας 4-7. Συγκεντρωτικός πίνακας διαφοροποίησης της θερμοκρασίας αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.....	65

Πίνακας 5-1. Δεδομένα θερμικής ζώνης και κελύφους για την ενεργειακή προσομοίωση με το πρόγραμμα REVIT- Green Building Studio.....	67
Πίνακας 5-2. Πίνακας τιμών θερμοκρασίας στο πρόγραμμα REVIT.....	70
Πίνακας 5-3. Πίνακας τιμών θερμοκρασιών αρχικής κατάστασης και SC3 για την εισαγωγή στο πρόγραμμα REVIT.....	70
Πίνακας 5-4. Σύγκριση τιμών ενεργειακών καταναλώσεων με το Green Building Studio μεταξύ SC1-SC3	74

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΚΕνΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων
ΑΘΝ	Αστική Θερμική Νησίδα
ΑΦ	Αστικά Φαράγγια
LAI	Leaf Area Index
PCMs	Phase Change Materials
BEPS	Building Energy Performance Simulation
ΟΤ	Οικοδομικό Τετράγωνο
LAD	Leaf Area Density
LAI	Leaf Area Index
GCR	Green Coverage Ratio

Highlights

- Ακόμα και διαφοροποιήσεις στον υπαίθριο χώρο μιας, περιορισμένης έκτασης περιοχής μελέτης, όπως ο περιβάλλον χώρος μιας κατοικίας, είναι ικανές να μεταβάλλουν το μικροκλίμα της εγγύτερης περιοχής, οπότε και να επηρεάσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων.
- Όσο υψηλότερες καταγεγραμμένες θερμοκρασίες εμφανίζονται σε μια περιοχή, τόσο μεγαλύτερη θερμοκρασιακή μείωση επιτυγχάνεται μέσω των φυτεύσεων που συντελούνται.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται όσο πυκνότερη είναι η φύτευση, και αντίστροφα εμφανίζεται υψηλότερη όσο οι ίδιες οι ακάλυπτες με χώμα ή χαμηλή φύτευση επιφάνειες, αντικατασταθούν με σκληρά τσιμεντοειδή ή ασφαλικά υλικά.
- Η βελτίωση της θερμοκρασίας που έχει συντελεστεί από την τροποποίηση του περιβάλλοντος χώρου ενός κτηρίου στο επίπεδο του εδάφους, εμφανίζεται μειούμενη όσο αυτό αναπτύσσεται καθ' ύψος.
- Η λογική της αξιοποίησης του περιβάλλοντος χώρου ενός κτηρίου, προκειμένου να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης χωρίς μεγάλες δαπάνες σε ενέργεια, αντιμετωπίζει το ίδιο το κτήριο, ως μια ενοποιημένη με το περιβάλλον του δομική ενότητα.

Συνεισφορά

Η συνεισφορά αυτής της εργασίας έγκειται στην προσπάθεια εφαρμογής στρατηγικών βελτίωσης του μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο ενός κτηρίου, ενταγμένο στο αστικό περιβάλλον. Η ψυκτική ικανότητα των φυτεύσεων και ειδικότερα των δέντρων, αποτελεί μια χαμηλού κόστους, οικολογική και αποτελεσματική μέθοδο βελτίωσης του αστικού περιβάλλοντος, σε περιοχές με θερμά κλίματα, όπως ο Ελλαδικός χώρος. Η ανάδειξη του γεγονότος αυτού έχει βαρύνουσα σημασία, αν αναλογιστούμε ότι η κλιματική αλλαγή και η συνεχής επέκταση των πόλεων, επιδεινώνουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης και τις ενεργειακές καταναλώσεις, τόσο σε τοπική όσο και σε ευρύτερη κλίμακα.

1 Εισαγωγή

Η σημασία της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου των κτηρίων στην βελτίωση των συνθηκών άνεσης, τόσο της θερμικής αλλά και ακόμα, της ακουστικής και οπτικής, είναι γνωστή από την δημιουργία των πρώτων οικισμών. Ωστόσο, η συγκέντρωση των ανθρώπων στις σύγχρονες πόλεις συνδέθηκε με την έντονη τροποποίηση του φυσικού περιβάλλοντος και συνοδεύτηκε από την συχνά, δυσμενή μεταβολή του κλίματος των αστικοποιημένων περιοχών. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του (Αραβαντινός, 1998, σ. 17), «Η πόλη «κατατρώγει» την ύπαιθρο. Η ύπαιθρος, ο φυσικός χώρος στην επιφάνεια του πλανήτη συρρικνώνεται, ρυπαίνεται και κατακτάται από τις επεκτατικές αστικές δραστηριότητες».

Η μεταβολή αυτή οδήγησε, όχι μόνο σε φαινόμενα όπως η αστική θερμική νησίδα (ΑΘΝ) και η συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων, αλλά και στην αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων για δροσισμό, κυρίως στα υποτροπικά και τροπικά κλίματα, συνεπικουρούμενη από την κλιματική αλλαγή. Η προσπάθεια για βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στις πόλεις και της μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος των κτηρίων υπό την πίεση της κλιματικής αλλαγής, αποτελεί αντικείμενο έρευνας με αυξανόμενο ενδιαφέρον στις μέρες μας (Boeri, Gaspari, Gianfrate, & Longo, 2017).

Οι υφιστάμενες μελέτες με αντικείμενο την τροποποίηση του μικροκλίματος με βιοκλιματικές προσεγγίσεις, επιλέγουν πεδίο έρευνας, που περικλείει ολόκληρες αστικές περιοχές, κεντρικές περιοχές πόλεων ή αστικές γειτονιές. Αυτό συμβαίνει διότι στις εν λόγω περιοχές το φαινόμενο της ΑΘΝ είναι εντονότερο και η παρουσία πεζών που επηρεάζονται με άμεσο τρόπο από αυτήν, συχνότερη. Με βάση τα στοιχεία που έχουν αντληθεί από τις προσεγγίσεις αυτές, κάποιες έρευνες προχωρούν στην εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίων (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012), (Kavan & Vahid, 2019) ή κτηριακών τμημάτων (Tsoka, Tsikaloudaki, & Theodosiou, 2019), που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης τους.

Στον αντίποδα, δεν υπάρχουν έρευνες που να εστιάζουν στα αποτελέσματα της διαμόρφωσης του μικροκλίματος στην πλησιέστερη περιοχή ενός κτηρίου, όπως μιας μεμονωμένης κατοικίας και τις συνακόλουθες συνέπειες στην ενεργειακή της απόδοση. Στην εν λόγω εργασία θα γίνει προσπάθεια να καλυφθεί αυτό το κενό, μέσα από την εκπόνηση διαφορετικών σεναρίων διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου, ενός κτηρίου κατοικίας στην περιοχή της Καλαμάτας.

Στο γενικό πλαίσιο της έρευνας, θα εξεταστούν οι παράγοντες που καθορίζουν τις μικροκλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος των κτηρίων και θα διερευνηθούν οι μέθοδοι που ακολουθούνται για την τροποποίησή τους. **Σκοπός** είναι να αναδειχθεί η σημασία της διαμόρφωσης του υπαίθριου χώρου στις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων μέσω των βιοκλιματικών προσεγγίσεων και να εντοπιστούν οι παράμετροι που επιδρούν καθοριστικά στην ελάττωση των απαιτήσεων για ενέργεια.

Οι συνηθέστερα ακολουθούμενες πρακτικές στην βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών, αφορούν στην αύξηση του ποσοστού φύτευσης και στην βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών επικάλυψης, που σχετίζονται κυρίως με την ανακλαστικότητα και θερμοχωρητικότητά τους.

Στόχος της μελέτης είναι να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα των διαφορετικών αυτών παραγόντων στο μικροκλίμα, μεμονωμένα αλλά και συνδυαστικά, ώστε να προκύψουν επεμβάσεις που να βελτιστοποιούν την ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον στόχος είναι, να γίνει ποσοτική αξιολόγηση της επίδρασης των παραγόντων που βελτιώνουν το μικροκλίμα, στην ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου. Γνωρίζουμε από την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Streiling&Matzarakis, 2003) (Matzarakis, et al., 2018) (Zölch, 2019) (Shahidan, et al., 2012), ότι η φύτευση έχει θετική επίδραση στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Θέλουμε να μετρήσουμε ποσοτικά την επίδραση αυτή και εφόσον είναι σημαντική, να μπορεί να προταθεί ως μια μέθοδος βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων όπως είναι αντίστοιχα π.χ η τοποθέτηση σκιάστρων ή η ενίσχυση της θερμομόνωσης.

Η διερεύνηση της μεταβολής του μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο μιας κατοικίας όπως της πόλης της Καλαμάτας, προτάσσεται μέσα από τον **απώτερο στόχο**, να

αναδειχθεί μια μέθοδος που θα μπορεί να εξετάσει ποια είναι η επίδραση της φύτευσης και των υλικών χαμηλής ανακλαστικότητας, στο περιβάλλον ενός κτηρίου και στην ενεργειακή του συμπεριφορά. Από αυτήν την μελέτη περίπτωσης και τον τρόπο διερεύνησης, θα εξαχθούν συμπεράσματα που δύναται να εφαρμοστούν και σε άλλες περιοχές της χώρας, με παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά.

Στο πρώτο στάδιο αυτής της εργασίας, πραγματοποιείται έρευνα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, με εντοπισμό και καταγραφή των μελετών που σχετίζονται με την τροποποίηση των ανοιχτών υπαίθριων χώρων, τόσο στο αστικό αλλά και σε περιαστικό περιβάλλον. Μέσα από την έρευνα αυτή εντοπίζονται οι κυρίαρχες στρατηγικές και αξιολογούνται μέσα από την αποτελεσματικότητά τους.

Από την έρευνα στις υφιστάμενες μελέτες, εξετάζονται οι μέθοδοι προσομοίωσης και τα διατιθέμενα εργαλεία λογισμικού, που δύναται να μας αναπαραστήσουν την πολύπλοκη σχέση και αλληλεπίδραση των διαφορετικών στοιχείων του δομημένου και φυσικού περιβάλλοντος. Η σημασία επιλογής των κατάλληλων υπολογιστικών εργαλείων είναι μεγάλης σημασίας, λόγω της περίπλοκης αστικής υφής, του πλήθους των κλιματικών χαρακτηριστικών της εκάστοτε περιοχής μελέτης, της γεωμετρίας και των διαφορετικών υλικών των κτηριακών όγκων. (Mauree, et al., 2019).

Ακολουθεί η μελέτη περίπτωσης μιας υφιστάμενης κατοικίας, όπου γίνεται προσομοίωση του περιβάλλοντος χώρου της με το πρόγραμμα **Envi-met** (<https://www.envi-met.com/>), αρχικά για την υφιστάμενη κατάσταση και στη συνέχεια για σενάρια υλοποιούμενων παρεμβάσεων. Οι εξαχθείσες τιμές θερμοκρασίας μας υποδεικνύουν τη διαφοροποίηση στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Για τον υπολογισμό των ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου μελέτης, ο υπολογισμός αρχικά θα προσεγγιστεί με χρήση υπολογιστικού προγράμματος BEPS (Building Energy Performance Simulation). Από τα διατιθέμενα σε education έκδοση προγράμματα, επιλέχθηκε το λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης **Green Building Studio**, του αρχιτεκτονικού προγράμματος **Revit**.

1.1 Βιβλιογραφική Επισκόπηση-Θεωρητικό πλαίσιο

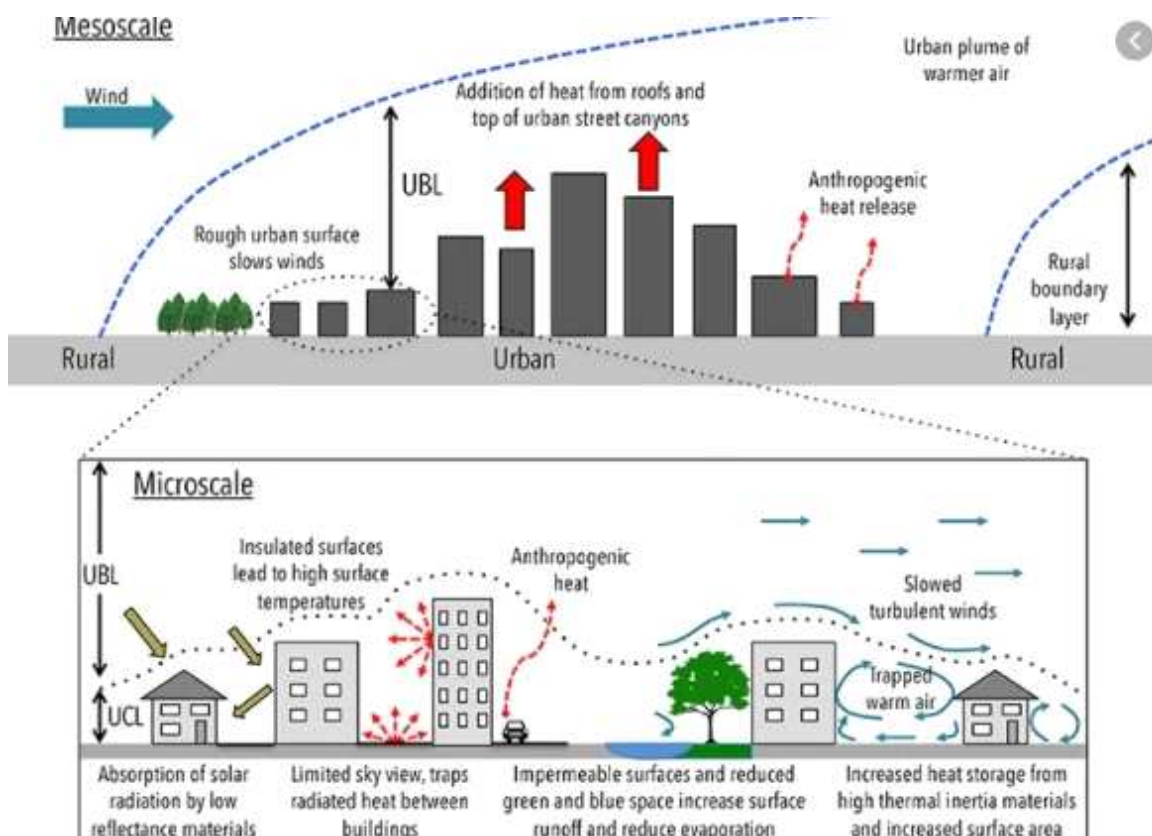
Η αστικοποίηση είναι ένα φαινόμενο που ξεκινά από τα χρόνια δημιουργίας των πρώτων οικισμών και παρουσιάζει συνεχή και ραγδαία εξέλιξη μέχρι τις μέρες μας. Σύμφωνα με έκθεση των Ηνωμένων Εθνών για τον παγκόσμιο πληθυσμό (U.N, 2018), ήδη από το έτος 2016, πάνω από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε πόλεις, ενώ το ποσοστό αυτό πρόκειται να φτάσει το 60% μέχρι το 2030. Η κατανομή του πληθυσμού διαφέρει από περιοχή σε περιοχή με το ποσοστό των ανθρώπων που ζουν σε πόλεις να φθάνει το 50% στις αναπτυσσόμενες, έναντι 79% στις ανεπτυγμένες χώρες. Με την τάση των ανθρώπων να συγκεντρώνονται στις αστικές περιοχές, εγκαταλείποντας την ύπαιθρο, υπολογίζεται ότι θα ζουν σε πόλεις, ένας στους τρεις ανθρώπους μέχρι το έτος 2050 (Buhaug&Urbal, 2013).

Καθίσταται κοινώς αντιληπτό, ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον των πόλεων, είναι συνέπεια των μεγάλης κλίμακας αλλαγών που συντελούνται στον φυσικό υποδοχέα, λόγω της υπερσυγκέντρωσης πληθυσμού και των ανθρώπινων κατασκευών και λειτουργιών. Το φαινόμενο αυτό, που καλείται σήμερα Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ)-εικόνα 1-, προκαλείται κυρίως από την κάλυψη του φυσικού εδάφους με τεχνητά υλικά και την απομείωση της ενδογενούς φυτοκάλυψης (Wong, etal., 2007).

Οι ίδιες ακόμα μορφολογικές ιδιαιτερότητες και χαρακτηριστικά του αστικού περιβάλλοντος, όπως οι μικροί ή ευρύτεροι κτηριακοί όγκοι, η ποικιλομορφία των οδών, η ύπαρξη πλατειών, ανοιχτών χώρων και γηπέδων και η σχετική τους θέση και ένταξη στο ευρύτερο τοπίο, συνθέτουν ένα ιστό που επιμερίζει το ίδιο το αστικό κλίμα σε διαφορετικά μικροκλίματα (Scudo, 2002).

Η παραπάνω διαπίστωση, αιτιολογεί την αναγκαιότητα, να αναζητούμε λεπτομερή στοιχεία των χαρακτηριστικών μια μικρής έκτασης περιοχής μελέτης γύρω από ένα κτήριο, προκειμένου να προσεγγίσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια, τα δεδομένα εκείνα που

καθορίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις διαφορετικών κτηρίων, μέσα στην ίδια πόλη ή την ίδια γειτονιά πόλης.



Εικόνα 1-1. Αστική Θερμική Νησίδα-διαφοροποίηση της θερμοκρασίας μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών. Μικροκλίμα αστικών περιοχών και κύριοι παράγοντες διαμόρφωσής του. Πηγή: «Climate Change Resilience in the Urban Environment» (Tristan Kershaw, 2017)

Βασιζόμενοι στην παραπάνω συλλογιστική, μπορούμε να περιμένουμε ότι ακόμα και διαφοροποιήσεις στον υπαίθριο χώρο μιας, περιορισμένης έκτασης περιοχής μελέτης, όπως π.χ. ο περιβάλλον χώρος μιας κατοικίας, είναι ικανές να μεταβάλλουν το μικροκλίμα της εγγύτερης περιοχής, οπότε και να επηρεάσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Μελέτες όπως αυτή των (Streiling&Matzarakis, 2003), υποδεικνύουν ότι ακόμα και η ύπαρξη ενός δέντρου, είναι ικανή να επιφέρει ελάττωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα κατά 1°C, με αυξανόμενη μείωση όσο αυξάνει ο αριθμός και η πυκνωση αυτών. Το ίδιο συμπέρασμα μπορεί να καταλήγει κάποιος, καθαρά εμπειρικά,

όταν αναζητά και τελικά απολαμβάνει την δροσιά που υπάρχει, κάτω από την σκιά ενός πλατύφυλλου δέντρου, μια ζεστή μέρα του ελληνικού καλοκαιριού.

Η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας στο αστικό περιβάλλον, εμφανίζεται εντονότερη στα μεγάλα αστικά κέντρα, αλλά επηρεάζει την ποιότητα του αέρα και τις συνθήκες θερμικής άνεσης και των μικρότερων οικιστικών συγκεντρώσεων, εκτός και εντός των κτηρίων. Σε περιοχές με θερμά καλοκαίρια, όπως της δυτικής και νότιας Ελλάδας, το φαινόμενο της ΑΘΝ, εξακολουθεί να υφίσταται και κατά την διάρκεια της νύχτας, με σοβαρή επίδραση στις ενεργειακές ανάγκες για δροσισμό (Vardoulakis, Karamanis, Fotiadi, & Mihalakakou, 2013).

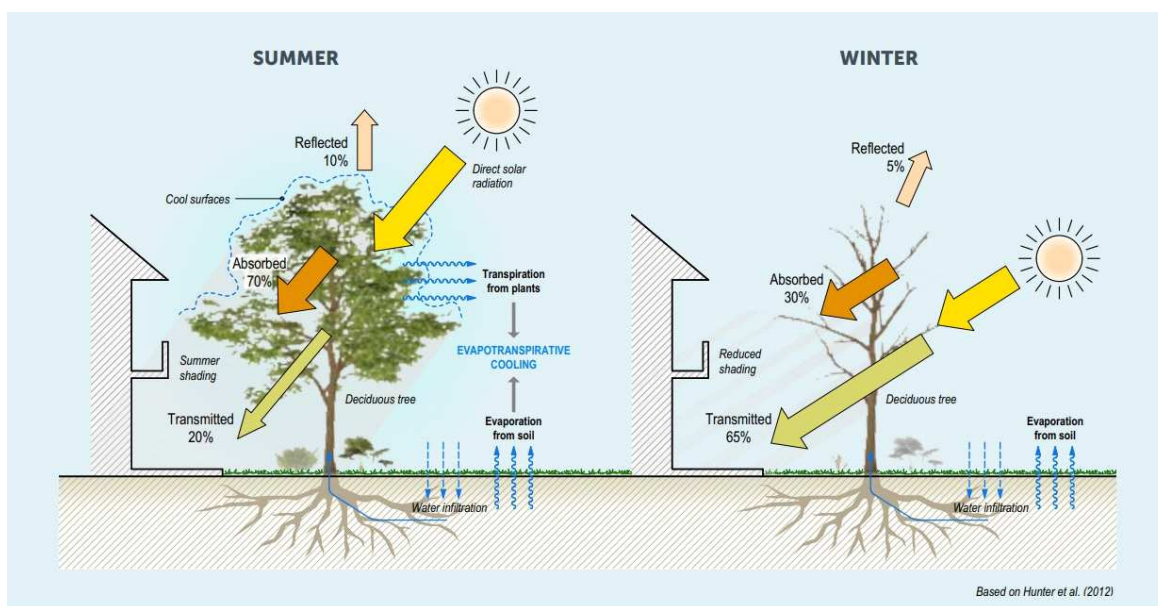
Στις περιοχές με εύκρατο κλίμα, το φαινόμενο της ΑΘΝ είναι περισσότερο αισθητό τους θερμούς μήνες. Η ένταση αυξάνεται στα υποτροπικά, ενώ στα τροπικά κλίματα εμφανίζεται καθ' όλη την διάρκεια του έτους, κυρίως λόγω της υψηλής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία και στον ελλιπή σκιασμό (Grimme & Laar, 2005). Η παράμετρος της υψηλής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντική διότι αναδεικνύει την καθοριστική επίδραση του φυλλώματος των δέντρων, ως εμπόδιο στην πρόσπτωση των ακτίνων στο έδαφος και στον δροσισμό που επιτυγχάνουν μέσω της εξατμισοδιαπνοής.

Η τακτική της φύτευσης δέντρων παράπλευρα των αστικών οδών είναι συνηθισμένη ενέργεια βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος. Βελτιώνει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, την αισθητική του τοπίου και το επίπεδο θερμικής άνεσης. Ελαττώνει την θερμοκρασία στη πλευρά που δέχεται τον σκιασμό, ενώ παράλληλα μειώνει την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας κατά 29% σε αυτήν που δεν σκιάζεται (Matzarakis, et al., 2018). Η ευεργετική λειτουργία των πράσινων επιφανειών στο περιβάλλον των πόλεων, έχει μεγαλύτερη επίδραση όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία τους σε σχέση με το υπόλοιπο δομημένο και καλυμμένο με σκληρές επιφάνειες τοπίο. Αρκεί να σκεφτούμε ότι ένα μεγάλο αστικό πάρκο μπορεί να επηρεάζει το μικροκλίμα της ευρύτερης περιοχής σε ακτίνα που αγγίζει τα 250μ (Narita, et al., 2005).

Ωστόσο, ενώ η αντικατάσταση μια τσιμεντένιας επιφάνειας με φύτευση προσδίδει σαφή βελτίωση στο θερμικό περιβάλλον, μεταξύ διαφορετικών στοιχείων φύτευσης (πόες, γρασίδι ή δέντρα) έχουμε και διαφορετικά πλεονεκτήματα. Έτσι το ίδιο το γρασίδι

παρέχει περισσότερη δροσιά τη νύχτα, ενώ ένα δέντρο πυκνού φυλλώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Εν συνεχεία, το πλήθος των δέντρων δεν σημαίνει απαραίτητα καλύτερα αποτελέσματα στο θερμικό περιβάλλον (Zölch, 2019), όσο ίδια η θέση και διάταξη των δέντρων στην περιοχή, ώστε να μην αλληλοκαλύπτονται οι κόμεις τους και να μην εκλωβίζουν αέρα.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι η χρήση των στοιχείων φύτευσης δεν είναι μονοσήμαντη, αλλά επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, που έχουν να κάνουν με το πλήθος, το μέγεθος, την διάταξη, την πυκνότητα του φυλλώματος και ακόμα πιο εξειδικευμένους, όπως η απορρόφηση CO₂ και η εκπομπή πτητικών ενώσεων, που θα εξετάσουμε εκτενέστερα στην συνέχεια. Η επιλογή φυλλοβόλων δέντρων είναι η πλέον ιδανική για το μεσογειακό κλίμα, ειδικά για τις νότιες προσόψεις, όπου το φύλλωμά τους αποτελεί εμπόδιο στην πρόσληψη θερμικών προσόδων το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα η απουσία του φυλλώματος το επιτρέπει. –εικόνα 2-



Εικόνα 1-2. Απεικόνιση της χρήσης των φυλλοβόλων δέντρων στην λειτουργία των ηλιακών προσόδων για χειμώνα και καλοκαίρι. Πηγή «Guide to Urban Cooling Strategies» (Osmond, P. & E. Sharifi, 2017)

Σημαντική εφαρμογή της λειτουργία της φύτευσης, που δεν έχει άμεση επίδραση στην θερμικό περιβάλλον ενός πεζού αλλά στην εξοικονόμηση ενέργειας των κτηρίων (Wong & Yu, 2009), είναι τα φυτεμένα δώματα. Παρόμοιες εφαρμογές σε κάθετους τοίχους και

εξώστες, αποτελούν «έξυπνη» λύση λόγω του ελλείμματος ελεύθερων αστικών επιφανειών για φύτευση.

Περαιτέρω, η χρήση υλικών με υψηλή λευκαυγεια έρχεται να συμπληρώσει την δροσιστική δράση των φυτεύσεων, αποτελώντας την πλέον δημοφιλή στρατηγική στην αντιμετώπιση της ΑΘΝ και την βελτίωσης του ενεργειακού αποτυπώματος των κτηρίων. Η χρήση υλικών με υψηλή λευκαυγεια (albedo) έχει μεγαλύτερη εφαρμογή σε οριζόντιες επιφάνειες από ότι σε κάθετες λόγω της γωνίας που το φως προσπίπτει σε αυτές. Για αυτόν τον λόγο έχει μεγαλύτερη επίδραση όταν εφαρμόζονται σε δάπεδα και οροφές από ότι σε κάθετους τοίχους. Στον κτηριακό τομέα, και ειδικά για τις περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια επιδιώκεται οι επιφάνειες του κελύφους να έχουν ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις, εξασφαλίζοντας καλύτερο θερμικό περιβάλλον εντός τους και κατ' επέκταση μικρότερες απαιτήσεις σε ενεργειακές καταναλώσεις για δροσισμό. Στις ηλιόλουστες περιοχές του Αιγαίου και σε όλη σχεδόν τη νησιωτική Ελλάδα, η χρήση του λευκού ως κυρίαρχου χρωματισμού, ενώ αρχικά προτάθηκε για λόγους υγιεινής και ευκολίας, έχει συνεισφέρει στην αποφυγή απορρόφησης θερμικών φορτίων από τα σπίτια και τις κατασκευές.

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την απορροφητικότητα των υλικών είναι η τραχύτητα της επιφάνειάς τους. Λείες επιφάνειες έχουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα από τις τραχιές, ενώ αξίζει να αναφερθεί ότι μια λίθινη πορώδης επιφάνεια, έχει θερμοκρασία ανάλογη με το ανοιχτόχρωμο μάρμαρο, το οποίο όμως έχει μεγαλύτερο albedo (Chatzidimitriou, Yannas, & Chrissomallidou, Ground surface materials and microclimates in urban open spaces, 2006).

Η συνδυασμένη εφαρμογή των επιστρώσεων με μεγάλη λευκαυγεια, με τα στοιχεία φύτευσης, έχει σαφές νόημα, λόγω της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας που προκαλούν τα υλικά υψηλής ανακλαστικότητας, επηρεάζοντας την αισθητή θερμοκρασία (Chatzidimitriou & Yannas, 2015).

Το εξωτερικό θερμικό περιβάλλον επηρεάζει τις ενεργειακές ανάγκες των κτηρίων, με την δράση αυτή να είναι εντονότερη στα θερμά κλίματα λόγω των αυξημένων αναγκών δροσισμού (Wong & Yu, 2009). Ειδικά για τα κτήρια κατοικίας, όπου η χρήση τους είναι

διευρυμένη όλο το 24ωρο, οι ενεργειακές ανάγκες είναι συνεχείς και διευρυμένες σε σχέση με αυτές των γραφείων ή καταστημάτων.

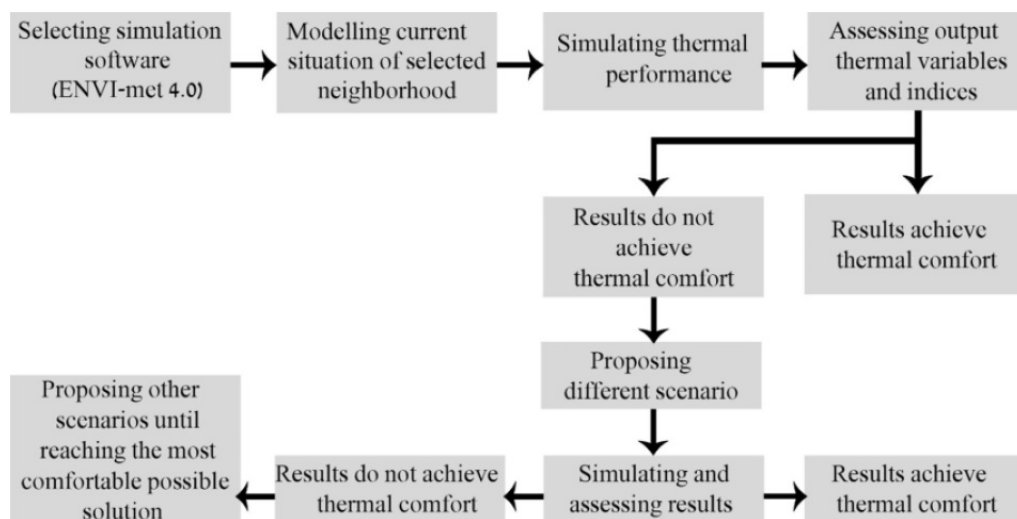
Ένα κοινό διαμέρισμα στην Ταιβάν, εμφανίζει αύξηση στις ενεργειακές ανάγκες για δροσισμό κατά 14,2% για μόλις 1°K αύξηση θερμοκρασίας (Liao, Cheng, & Hwang, 2015), ενώ στην πόλη των Σερρών, η βιοκλιματική αναβάθμιση μιας ευρείας αστικής περιοχής μείωσε τις ανάγκες για ψύξη στα ισόγεια των κτηρίων κατά 10% (Zoras, et al., 2017).

Συμπερασματικά, η αναδιαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρων των κτηρίων με βιοκλιματικά κριτήρια, βελτιώνει εν γένει το θερμικό περιβάλλον της περιοχής και εξοικονομεί ενέργεια για τα κτήρια. Στις περιοχές με κυρίαρχες τις υψηλές θερμοκρασίες και την ηλιοφάνεια, οι ανάγκες για ψύξη είναι μεγάλες και διαρκώς αυξανόμενες.

Η προσομοίωση των μικροκλιματικών χαρακτηριστικών στο πολύπλοκο αστικό περιβάλλον είναι μεγάλης σημασίας για την ακριβή προσέγγιση των διαφοροποιήσεων που προκαλείται από σενάρια επεμβάσεων. Με αυτόν τον τρόπο μας δίνεται η δυνατότητα να λάβουμε υπ' όψιν τις ιδιαίτερα σύνθετες διαδικασίες αλληλεπίδρασης που καθορίζουν το θερμικό περιβάλλον πέριξ μιας κατοικίας και το πλήθος των δεδομένων που το καθορίζουν. Τα στοιχεία αλληλεπίδρασης και οι παράμετροι που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς είναι συνεχώς μεταβαλλόμενα στην διάρκεια μιας ημέρας, μια εποχής, ενός έτους, καθιστώντας πολύτιμη, αν όχι καθοριστική την χρήση υπολογιστικών εργαλείων για την προσομοίωσή τους.

Μας δίνεται έτσι η δυνατότητα να διερευνήσουμε την ποσοτική σχέση αυτών των μεταβλητών και τον βαθμό που η κάθε μία επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, χωρίς να είμαστε υποχρεωμένοι να την εφαρμόσουμε *a priori*. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορούν να ελεγχθούν κατά βάση από μετρήσεις στην υφιστάμενη κατάσταση, σε σύγκριση με την προσομοίωση αυτής. Η πρακτική αυτή ακολουθείτε σε αντίστοιχες προσομοιώσεις, όπως των (Tsoka, et al., 2019) και έτσι μπορεί να υπολογιστεί το όποιο σφάλμα μπορεί να υπάρχει και να ληφθεί υπόψη στα σενάρια επεμβάσεων που θα ακολουθήσουν.

Παράδειγμα μια διαδικασίας προσομοίωσης εμφανίζεται στην παρακάτω σχηματική απεικόνιση (εικόνα 4), που αφορά στην μελέτη που εκπονήθηκε στην πόλη New Borg El-Arab της Αιγύπτου με το λογισμικό ENVI-met 4.0. Τα λογισμικά προσομοίωσης, μας δίνουν εμπειριστατωμένα αποτελέσματα, καθιστώντας την λήψη αποφάσεων σε σχέση με τις μικροκλιματικές επεμβάσεις, στοχευμένη και αποτελεσματική. Η χρήση των λογισμικών προσομοίωσης αποτελεί λοιπόν, πολύτιμο εργαλείο για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια και τον περιβάλλοντα χώρο τους και στην προσπάθεια μείωσης του οικολογικού τους αποτυπώματος.



Εικόνα 1-3. Τα βήματα για την εκπόνηση μελέτης στην πόλη New Borg El-Arab της Αιγύπτου πηγή: «Urban design in favor of human thermal comfort for hot arid climate using advanced simulation methods» (Barakat, Ayad, & El-Sayed, 2017)

1.2 Διατύπωση ερευνητικού ερωτήματος και προσδοκώμενα αποτελέσματα

Από την ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, προκύπτει ότι η επίδραση του μικροκλίματος είναι ουσιαστική στην εξωτερική θερμική άνεση, αλλά και στις

ενεργειακές καταναλώσεις των κτηρίων, προκειμένου να διατηρούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες στο εσωτερικό τους.

Οι υπάρχουσες μελέτες εστιάζουν στην επίδραση του μικροκλίματος μελετώντας τμήματα αστικών περιοχών που πλήττονται από το φαινόμενο της ΑΘΝ, ενώ ασχολούνται δευτερευόντως με την επίδραση αυτή στην ενεργειακή τους κατανάλωση. Το φαινόμενο της ανόδου της θερμοκρασίας στο δομημένο, ανθρωπογενές περιβάλλον είναι σχετικά εύκολα ανιχνεύσιμο με σειρά μετρήσεων ή και αισθητό από την απλή μετάβαση από ένα άλσος στο κέντρο μιας πλακοστρωμένης πλατείας. Από την άλλη, για το ίδιο φαινόμενο, απαιτείται περαιτέρω ανάλυση και εξειδίκευση για να βρούμε πώς επιδρά στην κατανάλωση ενέργειας ενός κτηρίου.

Σε ένα κτήριο που βρίσκεται σε περιοχή με υψηλές μέσες ετήσιες θερμοκρασίες, η μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών και ειδικότερα της θερμοκρασίας, μπορεί να επιφέρει σημαντικές διαφοροποιήσεις στην απαίτηση για ψυκτικά φορτία. Το γεγονός αυτό είναι περισσότερο αισθητό σε κτήρια με μικρή ή ανεπαρκή θερμομονωτική ικανότητα. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος του κτηριακού όγκου στην Ελληνική επικράτεια αποτελείται από τέτοια κτήρια, η ανάγκη διερεύνησης της αξιοποίησης του περιβάλλοντος χώρου των κτηρίων στην κατεύθυνση αυτή, καθίσταται ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα.

Στον ίδιο τον Ελληνικό κανονισμό για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων (Κ.Ε.Ν.Α.Κ) (ΦΕΚ236Β', 2017), οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν την ενεργειακή απόδοση και κατάταξη των κτηρίων, αφορούν μόνο στα ίδια τα χαρακτηριστικά του κτηριακού κελύφους. Οι όποιες επεμβάσεις βελτίωσης, καθορίζονται από την διόρθωση των χαρακτηριστικών του υλικών του κτηριακού περιβλήματος και των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, εξαιρώντας την δυναμική της τροποποίησης του περιβάλλοντος χώρου στην επίδραση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις μας οδηγούν στην ανάγκη να διερευνήσουμε αυτήν την αναξιοποίητη πτυχή της ενεργειακής αυτονομίας, ενώ ταυτόχρονα γεννάται το βασικό ερώτημα: **ποια είναι η σχέση της μεταβολής των εξωτερικών μικροκλιματικών συνθηκών στην κατανάλωση ενέργειας στο εσωτερικό του κτηρίου?** Ποιοι είναι οι

βασικοί παράγοντες και ποιες οι αποτελεσματικότερες στρατηγικές, για να μπορέσουμε να μεγιστοποιήσουμε την επίδραση αυτή?

Πολλές ερευνητικές προσεγγίσεις εστιάζουν στην επίδραση ενός μόνο παράγοντα στην διόρθωση των μικροκλιματικών χαρακτηριστικών, όπως η λευκαύγεια (albedo) των υλικών επίστρωσης του εδάφους, η φύτευση (δέντρα, πόες ή/και πράσινες οροφές), διατάξεις νερού, ενώ πιο δημοφιλείς προσεγγίσεις επιχειρούν συνδυαστικές επεμβάσεις αυτών (Tsoka, Tsikaloudaki, & Theodosiou, 2018).

Εκ των **προσδοκώμενων αποτελεσμάτων** της εργασίας αυτής είναι, μέσα από την εκπόνηση διαφορετικών σεναρίων επέμβασης στο περιβάλλοντα χώρο μιας κατοικίας, να εντοπιστεί μια σχέση που να συνδέει, όχι μόνο ποιοτικά, αλλά και ποσοτικά τις επεμβάσεις αυτές με την επιθυμητή ενεργειακή αυτονομία. Ακόμα παραπέρα, θα ήταν επιθυμητό, μέσα από ικανά αποτελέσματα της έρευνας, να δοθεί το έναυσμα, η βιοκλιματική μελέτη στο περιβάλλον των κτηρίων να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος της ενεργειακής του μελέτης. Να αποτελέσει δηλαδή παράγοντα, που συνδιαμορφώνει την κατά KENAK ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου, μαζί με τα στοιχεία του κελύφους και τα ηλεκτρομηχανολογικά του συστήματα.

Η επιλογή της πόλης της Καλαμάτας, έγινε διότι έχει κατά βάση κλίμα εύκρατο μεσογειακό, με παρατηρούμενες όμως υψηλές θερμοκρασίες την τελευταία 30ετία (www.meteoblue.com), που ταιριάζουν περισσότερο σε υποτροπικό κλίμα, φαινόμενο που συνδέεται με την παγκόσμια μεταβολή της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής. Στο περιβάλλον αυτό, όπου οι ενεργειακές ανάγκες για ψύξη είναι κυρίαρχες, η ψυκτική ικανότητα των φυτεύσεων και οι συνδυαστικές βιοκλιματικές επεμβάσεις στον εγγύτερο περιβάλλον, μπορούν να διαδραματίσουν ουσιαστικό ρόλο στις καταναλώσεις για δροσισμό (Shashua-Bar & Hoffman, 2000).

1.3 Μεθοδολογία διερεύνησης

Η μελέτη περίπτωσης που αφορά προσομοίωση των μικροκλιματικών συνθηκών του περιβάλλοντος χώρου υφιστάμενης κατοικίας στην Καλαμάτα. Γίνεται χρήση του

προγράμματος Envi-met (<https://www.envi-met.com/>), εισάγοντας δεδομένα που αφορούν στην θερμοκρασία αέρα, ποσοστό υγρασίας, ένταση και διεύθυνση ανέμου, ακτινοβολία κτλ, για την υφιστάμενη κατάσταση και θα εκπονηθούν σενάρια τροποποίησης του περιβάλλοντος χώρου με φύτευση και ψυχρά υλικά εδαφοκάλυψης.

Αρχικά θα εξεταστεί η υπάρχουσα κατάσταση, θα γίνει δηλαδή προσομοίωση του κτηριακού όγκου με τις γεωμετρικές του αναλογίες και θέση, καθώς και των υλικών που απαρτίζουν κτήριο και έδαφος και θα καταγραφούν οι ιδιότητές τους. Τα δεδομένα που θα μεταβληθούν σε κάθε σενάριο που ακολουθεί, είναι οι τιμές albedo των υλικών επιστρώσεων, στην επιφάνεια που κάθε φορά πραγματοποιούνται και του ποσοστού των φυτεύσεων. Τα χαρακτηριστικά της φύτευσης, όπως ο τύπος του φυλλώματος (Leaf Type), CO₂ Fixation Type, ύψος φυτού, διαπερατότητα, ζώνη βάθους ριζών (Root Zone Depth) και οι πολύ σημαντικοί δείκτες Leaf Area Index (LAI) και Root Area Profile (RAP), εξειδικεύονται περισσότερο. Τα κλιματικά δεδομένα που χαρακτηρίζουν το μεσοκλίμα, εισάγονται ως μεμονωμένες τιμές οριακών συνθηκών για μια καθορισμένη μέρα και παραμένουν τα ίδια για κάθε εκπονούμενο σενάριο, ώστε η μεταβολή στο μικροκλίμα να προκύπτει από τις πραγματοποιούμενες επεμβάσεις στην φύτευση και τα υλικά επίστρωσης.

Από την διαδικασία προσομοίωσης (μοντελοποίηση) με το πρόγραμμα Envi-met, θα εξαχθούν τιμές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου σε ένα πλέγμα θέσεων, για τα διαφορετικά σενάρια διαμόρφωσής του, για έξι (6) αντιπροσωπευτικές ημέρες του χρόνου (μία ημέρα για κάθε μήνα). Εν συνεχεία για αυτές τις τιμές θερμοκρασιών περιβάλλοντος χώρου, θα γίνει υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου κατοικίας για τα διαφορετικά σενάρια μικροκλιματικών συνθηκών. Η μέθοδος υπολογισμού θα γίνει με χρήση υπολογιστικού προγράμματος BEPS (Building Energy Performance Simulation).

1.4 Δομή Εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε 6 κεφάλαια, **το πρώτο** εκ των οποίων είναι η εισαγωγή στο αντικείμενο της μελέτης. Καθορίζεται το υπάρχον θεωρητικό πλαίσιο με το οποίο θα

ασχοληθεί η ΔΕ. Εδώ γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση, όπου αναπτύσσεται το πρόβλημα της αστικοποίησης και των συνεπειών της που σχετίζονται κυρίως με την άνοδο της θερμοκρασίας στον αστικό χώρο και τις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων για δροσισμό. Εξετάζονται οι κυρίαρχες τάσεις στον περιορισμό εκδήλωσης του φαινομένου και των στρατηγικών επέμβασης. Διατυπώνεται το ερευνητικό ερώτημα, τα προσδοκώμενα αποτελέσματα της έρευνας και προσεγγίζεται η μεθοδολογία διερεύνησης της μελέτης περίπτωσης.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται εστίαση στο μικροκλίμα και στον ρόλο του στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια. Αναλύονται οι βασικές παράμετροι επηρεασμού του μικροκλίματος, με επιπλέον ανάλυση στον ρόλο της φύτευσης, τα υλικά επιστρώσεων και επικαλύψεων και των στοιχείων νερού, που αποτελούν τα κυρίαρχα εργαλεία τροποποίησης του μικροκλίματος διεθνώς. Εξετάζονται οι βασικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά των παραγόντων αυτών σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια, ώστε να εξειδικευτεί ο ρόλος τους και να αιτιολογηθούν οι επιλογές μας στην ενσωμάτωσή τους στα σενάρια τροποποίησης, που θα επιχειρήσουμε στην μελέτη περίπτωσης.

Στο ακόλουθο **τρίτο κεφάλαιο**, εξετάζονται συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης και οι στρατηγικές που ακολουθούν για την βελτίωση της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια, δια μέσω των επεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο τους.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αφορά στην μελέτη περίπτωσης, όπου περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του κτηρίου κατοικίας, η ευρύτερη και εγγύτερη περιοχή που εντάσσεται, τα κλιματικά δεδομένα και τα στοιχεία του μικροκλίματός του. Αναλύεται η μεθοδολογία αξιολόγησης, επιλέγονται τα εργαλεία λογισμικού και τα εκπονούμενα σενάρια βελτίωσης του μικροκλίματος. Γίνεται προσομοίωση των μικροκλιματικών συνθηκών και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεταβολών του μικροκλίματος, με έμφαση στις θερμοκρασία.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και υπολογίζεται η μεταβολή στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου υπό την επιρροή των επεμβάσεων. Γίνεται συγκριτική αξιολόγηση και σχολιασμός.

Στο έκτο και **τελευταίο κεφάλαιο** γίνεται σύνοψη των αποτελεσμάτων και εξάγονται συμπεράσματα για τις προοπτικές και τις πιθανές θεωρητικές ή πρακτικές εφαρμογές της εργασίας. Επίσης, επισημαίνονται οι αδυναμίες, τα αναπάντητα ερωτήματα και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2 Αστικό μικροκλίμα και παράγοντες διαμόρφωσης

2.1 Εστίαση στο μικροκλίμα για την εξοικονόμηση ενέργειας των κτηρίων

Οι αυξανόμενοι ρυθμοί αστικοποίησης και βιομηχανοποίησης του 20^{ου} και 21^{ου} αιώνα έχουν αλλάξει δραματικά τον τρόπο τη χρήση γης και την κάλυψη των σύγχρονων πόλεων, επηρεάζοντας την ποιότητα ζωής των πολιτών και τον τρόπο ζωής τόσο με θετικό όσο και με αρνητικό τρόπο (Rizwan, Dennis, & Chunho, 2008).

Παρά τις πολλές διευκολύνσεις που προσφέρονται στους πολίτες των μεγάλων πόλεων σχετικά με την υγεία, την εκπαίδευση, τις τεχνικές γνώσεις και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, έχουν προκύψει σημαντικά θέματα λόγω της τροποποίησης των εκτάσεων και του μετασχηματισμού της γης. Ένα από τα πιο σημαντικά αρνητικά αποτελέσματα της αστικοποίησης συνεπάγονται την υπερθέρμανση του αστικού χώρου και την υψηλότερη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές στις γειτονικές αγροτικές περιοχές (Tsoka, Tsikaloudaki, & Theodosiou, 2019).

Αυτή η πολυπλοκότητα στις αστικές μορφολογίες έχει δημιουργήσει πολλές προκλήσεις στο σχεδιασμό βιοκλιματικών κτηρίων οι οποίες υποστηρίζουν την προώθηση προς περισσότερο φιλικές προς στο κλίμα κατασκευές. (Javanroodi & Vahid, 2019). Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας στις αστικές περιοχές υπερβαίνει το 70% (Edenhofer, et al., 2014), ως αποτέλεσμα των περίπλοκων συνθηκών του μικροκλίματος στις πόλεις, με τις περισσότερες από αυτές απαιτήσεις να αντιστοιχούν στον κτηριακό τομέα. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι αστικές συνθήκες μικροκλίματος έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα αστικά κλίματα, στην θερμική άνεση και την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων.

Σε επίπεδο της αστικής κλίμακας, η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλότερη, με πιο περίπλοκα μοτίβα ροής σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, λόγω του φαινομένου της ΑΘΝ, η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη. Οι διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία του αέρα, επηρεάζουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών μηχανικής σε αστικές περιοχές και κτήρια. (Javanroodi & Vahid, 2019).

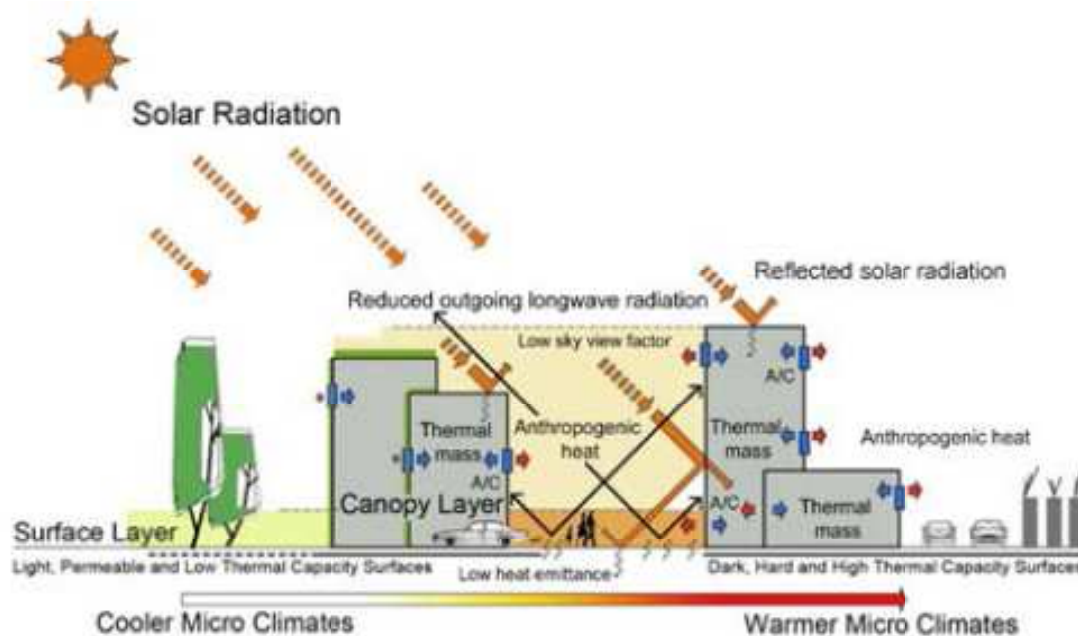
Το αστικό μικροκλίμα επιδρά άμεσα στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων και την θερμική άνεση. Το φαινόμενο της ΑΘΝ είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων, γεγονός που φαίνεται από την περίπτωση της Βρετανίας όπου η ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για τις κτηριακές εγκαταστάσεις των γραφείων σε αστικές περιοχές είναι 84% παραπάνω απ' ότι στις επαρχιακές (Kolokotroni, Giannitsaris, & Watkins, 2006).

Κατά την προσομοίωση των διαφορών στην ενεργειακή κατανάλωση σε κτίρια γραφείων στις Η.Π.Α, που επηρεάζονται από το φαινόμενο της ΑΘΝ, παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία σε αστικές περιοχές ήταν 2 °C παραπάνω από τις υπαίθριες, με την ενεργειακή κατανάλωση για την ψύξη των κτιρίων να είναι 17.25% παραπάνω, ενώ για τη θέρμανση 17.04% μειωμένη. (Jusuf, Wong, Hagen, Anggoro, & Hong, 2007). Σε μια παρόμοια μελέτη των Sun & Augenbroe, (2014), φαίνεται ότι οι βαθμοημέρες ψύξης σε 15 μεγάλες πόλεις των Η.Π.Α ήταν κατά μέσο όρο 15% μεγαλύτερες από τις υπαίθριες περιοχές.

Από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αστική περιοχή της Σινγκαπούρης, υποδεικνύεται ότι λόγω της αστικής μορφοποίησης η θερμοκρασία είναι υψηλότερη κατά 0.9-1.2 °C, γεγονός που αυξάνει την ενεργειακή κατανάλωση για ανάγκες ψύξης. Σε σχετικό σενάριο προσομοίωσης βιοκλιματικών επεμβάσεων στην περιοχή, παρατηρήθηκε ότι η κατανάλωση αυτή θα μπορούσε να μειωθεί από 5-10%. (Wong, Jusuf, & Syafri, 2011). Επίσης οι Wong, et al., 2007 υπέδειξαν πως οι μικροκλιματικές αλλαγές σε μια πανεπιστημιούπολη μπορούν να αλλάξουν την ενεργειακή κατανάλωση από 2.3-14.3%.

2.1.1 Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) και Αστικά Φαράγγια (ΑΦ)

Οι ΑΘΝ αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στα αστικά περιβάλλοντα σε παγκόσμια κλίμακα, με δυσμενέστερες επιδράσεις πλησιέστερα στον ισημερινό. Το φαινόμενο συμβαίνει όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας και οι επιφανειακές θερμοκρασίες των υλικών εντός των αστικών περιοχών υπερβαίνουν σημαντικά τις περιβάλλουσες αγροτικές.



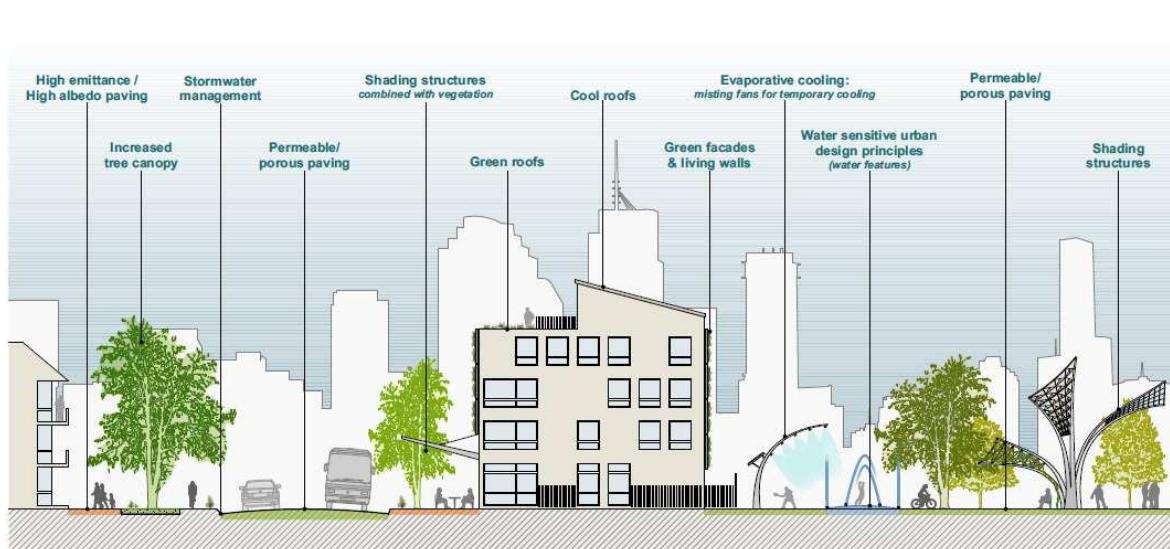
Εικόνα 2-1. Τρόπος λειτουργίας τους φαινομένου της ΑΘΝ. Πηγή «Guide to Urban Cooling Strategies» (Osmond, P. & E. Sharifi, 2017)

Υπάρχουν δύο κύριες αιτίες δημιουργίας του φαινομένου της ΑΘΝ. Η πρώτη είναι η χρήση δομικών υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα και χαμηλή λευκαύγεια, στα κτήρια και τις υποδομές, που απορροφούν την θερμότητα και την εκπέμπουν μέσω ακτινοβολίας πίσω στο άμεσο περιβάλλον. Αυτά τα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των κοινώς χρησιμοποιημένων στις κατασκευές, όπως το σκυρόδεμα, το χάλυβα, της ασφάλτου και της πέτρας, είναι συνήθως ελάχιστα διαπερατά από την υγρασία, η οποία θα μπορούσε να απορροφήσει και να απομακρύνει μέρος της θερμότητας. Η δεύτερη αιτία σχετίζεται με τους πυκνούς αστικούς σχηματισμούς, όπου δημιουργούνται διαμορφώσεις τύπου φαράγγιων, μεταξύ ψηλών κτηρίων και μικρού πλάτους δρόμων (Αστικά Φαράγγια), παγιδεύοντας θερμότητα και ρύπους που είναι δύσκολο να απομακρυνθούν. Και στις δύο περιπτώσεις, η απουσία ικανού χώρου για την διέλευση των ανέμων και ανοιχτών επιφανειών με χαμηλές φυτεύσεις και δέντρα, επιδεινώνει το πρόβλημα και οδηγεί στην συγκράτηση των θερμικών φορτίων, εντός των αστικών περιοχών.

Η παρουσία και η ένταση του φαινομένου των ΑΘΝ, καθώς οι αστικές περιοχές διογκώνονται σε μέγεθος και καλύπτουν περισσότερη έκταση, καθιστούν το φαινόμενο ανεπιθύμητη παρενέργεια της παγκόσμιας τάσης προς την αστικοποίηση. Επιπλέον, οι ΑΘΝ δημιουργούν σοβαρά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ενεργειακής ζήτησης για δροσισμό, κακής ποιότητας αέρα και θερμικής έντασης (heat stress), σε ανθρώπους και ζώα. Σε πολύ σοβαρές περιπτώσεις, οι ΑΘΝ μπορούν να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις των αστικών θερμοκρασιών, οδηγώντας σε αύξηση της ανθρώπινης θνησιμότητας (Matthews, 2012).

2.2 Παράγοντες διαμόρφωσης του μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο των κτηρίων

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα, οφείλονται στην αστική μορφολογία και έχουν να κάνουν κυρίως με την πυκνότητα του αστικού περιβάλλοντος, στα στοιχεία φύτευσης, στα υλικά κατασκευής κτηρίων και οδοστρωμάτων και την ύπαρξη ή μη στοιχείων νερού.



Εικόνα 2-2. Στρατηγικές για την μείωση της θερμοκρασίας στο αστικό περιβάλλον κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Πηγή «Guide to Urban Cooling Strategies» (Osmond, P. & E. Sharifi, 2017)

Υπάρχουν δύο βασικές στρατηγικές που έχουν προταθεί για τη βελτίωση του μικροκλίματος στα αστικά περιβάλλοντα για να μετριαστεί ο αντίκτυπος των ΑΘΝ και της αύξησης των ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων· περισσότερη βλάστηση και υλικά υψηλότερης λευκαύγειας (albedo) (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012).

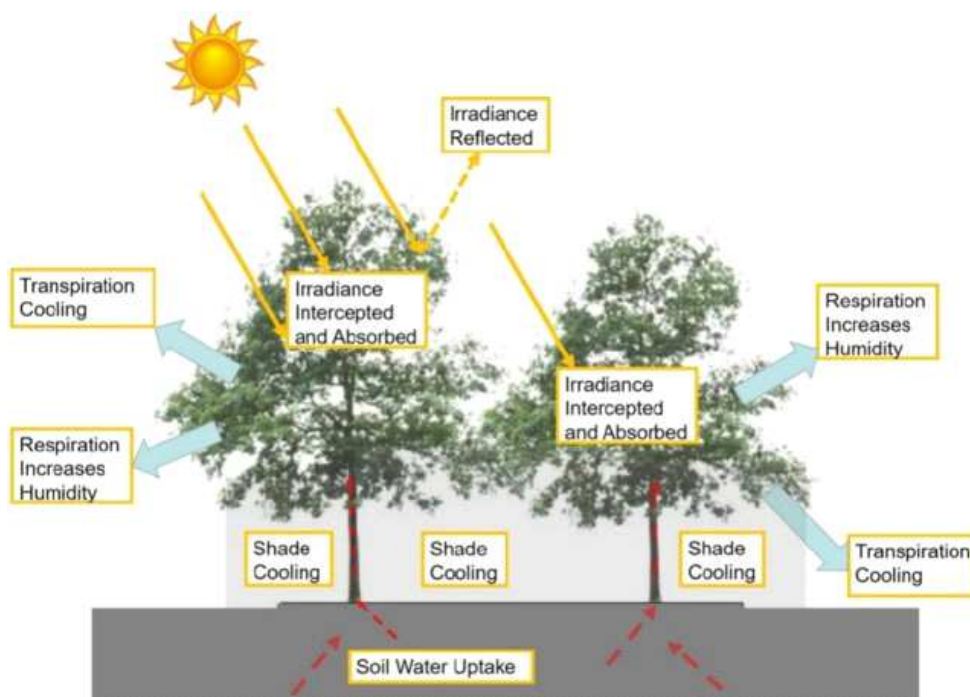
2.2.1 Ο ρόλος της φύτευσης και οι ιδιότητές της

Σύμφωνα με τους Akbari et al. (2001), οι περισσότερες ΑΘΝ δημιουργούνται από την έλλειψη βλάστησης και τις υψηλές απορροφήσεις ηλιακής ακτινοβολίας σε αστικές επιφάνειες. Από την άλλη υποστηρίζεται, ότι τα αστικά δέντρα και οι επιφάνειες high-albedo μπορούν να αντισταθμίσουν ή και να αντιστρέψουν το φαινόμενο των νησίδων θερμότητας. Ωστόσο, σε συνθήκες θερμότερων κλιμάτων, η ψυκτική επίδραση των αστικών δέντρων κατέχει πιο εξέχουσα θέση (Shashua-Bar & Hoffman, 2000).

Η σκίαση από τα δέντρα και η διαδικασία εξατμισοδιαπνοής είναι πρωταρχικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην επίδραση ψύξης. Εκτός από τον μετριασμό του εξωτερικού μικροκλίματος και της ανθρώπινης θερμικής άνεσης, ο Givoni (1989) ισχυρίστηκε ότι ο τύπος και τα χαρακτηριστικά των φυτών γύρω από το κτήριο μπορεί να επηρεάσουν την ψύξη παρά την έκθεσή τους στον ήλιο και τον άνεμο. Ωστόσο, αυτές οι επιδράσεις διαφέρουν μεταξύ των ειδών των δέντρων, καθώς και από δέντρο σε δέντρο του ίδιου είδους (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012).

Η θερμική επίδραση ενός δέντρου, η αποτελεσματικότητα σκίασης και η εξατμισοδιαπνοή, βασίζονται στην πυκνότητα της κόμης του (tree canopy). Η θερμική επίδραση και η αποτελεσματικότητα της σκίασης εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του φυλλώματος, καθώς και το ώριμο σχήμα ενός δέντρου, στοιχεία που σχετίζονται με το συνολικό ύψος και την γεωμετρία της κόμης (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012). Τα δέντρα μπορούν να έχουν κάποια επίδραση στις μικροκλιματικές τροποποιήσεις, ωστόσο, το πιο σημαντικό τους αποτέλεσμα είναι η τροποποίηση της ηλιακής

ακτινοβολίας και της επίγειας ακτινοβολίας από το έδαφος μέσω της δημιουργίας σκιάς (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012). Η ποσότητα της ακτινοβολίας που παρεμποδίζεται εξαρτάται από την πυκνότητα των φυλλωμάτων τους (κόμης ή tree canopy στην διεθνή βιβλιογραφία), και μπορεί να διαφέρει ανάμεσα στα είδη (Brown&Gillepsie, 1995). Ως εκ τούτου, αυτό το στοιχείο θα συμβάλει στο φιλτράρισμα της ποσότητας φωτός και της ακτινοβολίας. Έχει αποδειχθεί από τον Kotzen (2003) ότι το φως μειώνεται έως και 95% σε περιοχές σκίασης, λόγω της υψηλότερης πυκνότητας των φυλλωμάτων, ειδικά σε σκιασμένες περιοχές ή κοντά σε κορμούς δέντρων. Έτσι, μπορεί να προσδιοριστεί η ποιότητα της σκίασης των δέντρων μέσω της σταθερότητας της σκιάς και του πραγματικού φωτός που εκπέμπεται κάτω από την κόμη (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012).



Εικόνα 2-3. Η ψυκτική δράση των δέντρων. Πηγή «Effects of internal and external planning factors on park cooling intensity: field measurement of urban parks in Gold Coast, Australia» (Jian, Z. & Zhongua, G. 2019)

Επιπρόσθετα, υποδεικνύεται από παλιότερες μελέτες, ότι η υψηλή πυκνότητα φυλλώματος και η διάταξη πολλαπλών στρώσεων κλαδιών και κλωναριών, είναι σημαντικά για την παροχή καλύτερου φιλτραρίσματος της ακτινοβολίας σε μια δενδρώδη

διάταξη, που τυπικά μπορεί να παρέχει, έως και 93% παρεμπόδιση ακτινοβολίας (Shahidan, Shariff, Jones, Salleh, & Abdullah, 2010). Στην πραγματικότητα, οι τύποι, τα μεγέθη και οι διευθετήσεις των φύλλων παίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας στην απορρόφηση και ανάκλαση της ακτινοβολίας. Αυτό συνήθως σχετίζεται με τον δείκτη επιφάνειας φυλλώματος (Leaf Area Index-LAI), ο οποίος ορίζεται ως μια αδιάστατη τιμή της επιφάνειας των φύλλων ανά μονάδα έκτασης. Είναι το βασικό μέτρο που χρησιμοποιείται για την κατανόηση και τη σύγκριση των φυτών. Με τον υπολογισμό αυτής της τιμής, η φύτευση σε όλα τα είδη δέντρων, και σε διαφορετικά δέντρα μέσα σε ένα είδος, μπορούν να γίνει σύγκριση και αξιολόγηση. Επιπλέον, το φιλτράρισμα εισερχόμενης ακτινοβολίας συσχετίζεται καλά με τιμές LAI και αυτές οι μέθοδοι αξιολόγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό της πυκνότητας του φυλλώματος ενός δέντρου. (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012)

Όσον αφορά τις τιμές LAI, η παραπάνω μελέτη, διαπίστωσε ότι οι επιπτώσεις των δέντρων, ειδικά εκείνα με μεγαλύτερα LAI, ήταν αξιοσημείωτα. Δέντρα με υψηλή πυκνότητα ($LAI = 6.1$) παρήγαγαν μόνο 7% ακτινοβολία θερμότητας κάτω από την κόμη τους, ενώ δέντρα με χαμηλή πυκνότητα (μέση τιμή $LAI = 1.5$) παρήγαγαν 21% ακτινοβολίας θερμότητας. Έτσι, η κόμη ενός δέντρου υψηλότερης πυκνότητας που παράγει χαμηλή ποσότητα ακτινοβολίας θερμότητας θα έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη ποσότητα γήινης ακτινοβολίας κάτω από την κόμη του (Kotzen, 2003). Αυτή η κατάσταση θα προωθήσει την εξατμισοδιαπνοή και την παραγωγή περισσότερης λανθάνουσας θερμότητας, συμβάλλοντας στη μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα και την αύξηση της σχετικής υγρασίας (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012). Οπότε, η μικρότερη θέρμανση του αέρα και τα οφέλη δροσισμού μπορούν να αποκτηθούν μέσω της υψηλής ποιότητας σκίασης που προκαλεί εμπόδιο στην εισερχόμενη ακτινοβολία. Με άλλα λόγια, δέντρα με υψηλή πυκνότητα φυλλώματος (LAI) και πολλαπλά στρώματα διακλάδωσης, συνιστώνται για τη μεγιστοποίηση της αναχαίτισης της ακτινοβολίας και τον μετριασμό της θερμοκρασίας κάτω από την κόμη και τη γύρω περιοχή. Η εν λόγω ανάλυση, υποδεικνύει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το LAI ενός δέντρου και η ποσότητα τέτοιων δέντρων, τόσο μεγαλύτερη μπορεί να είναι η βελτίωση στο μικροκλίμα. (Shahidan, Shariff, Jones, Salleh, & Abdullah, 2010).

2.2.2 Φυτεμένα δώματα

Οι πράσινες οροφές μπορούν να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου, μειώνοντας τη θερμοκρασία της οροφής το καλοκαίρι και διατηρώντας τη θερμότητα το χειμώνα μέσω της αύξησης της ολικής αντίστασης στη μεταφορά θερμότητας της επικάλυψης. Επιπλέον, μειώνουν τον όγκο και την ένταση της απορροής λόγω του κορεσμού υγρασίας του υποστρώματος και των διαδικασιών ολικής εξάτμισης, βελτιώνουν το μικροκλίμα της αστικής περιοχής: αυξάνουν την υγρασία του αέρα, εξομαλύνουν την επίδραση της ΑΘΝ, μειώνοντας σημαντικά τον όγκο και την πυκνότητα των μαζών σκόνης σε πυκνές συσσωρευμένες περιοχές των μεγαλουπόλεων (Sysoeva, Benuzh, Gelmanova, & Bogachev, 2020).

Η χρήση της τεχνολογίας των πράσινων οροφών μπορεί να βοηθήσει τη μείωση της θερμοκρασίας οροφής από τους 70 °C στους 40 °C (Roche&Berardi, 2014) και να μειώσει τη θερμοκρασία του αστικού περιβάλλοντος από 2- 4 °C (Sysoeva, Benuzh, Gelmanova, & Bogachev, 2020). Όσον αφορά τις μεγαλουπόλεις, ένας από τους στόχους είναι η προστασία των οροφών από την ακτινοβολία UV και την υπερθέρμανση, αυξάνοντας της διάρκεια ζωής των επιφανειών επικάλυψης. Τα πράσινα αυτά κτίρια μετριάζουν το φαινόμενο της ΑΘΝ εξομαλύνοντας τη θερμοκρασία των επιφανειών των κτιρίων στο αστικό περιβάλλον (Sysoeva, Benuzh, Gelmanova, & Bogachev, 2020).

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των πράσινων οροφών είναι όμως και η εξοικονόμηση ενέργειας. Οι έρευνες που διενεργήθηκαν από κινέζους ερευνητές σε ήδη υπάρχουσες πράσινες οροφές κτιρίων που στεγάζονται γραφεία ανέδειξαν ότι η ενεργειακή κατανάλωση μειώθηκε από 15 -30%, σε διάφορες περιοχές και αναλόγως με τις κλιματικές συνθήκες (Sysoeva, Benuzh, Gelmanova, & Bogachev, 2020).

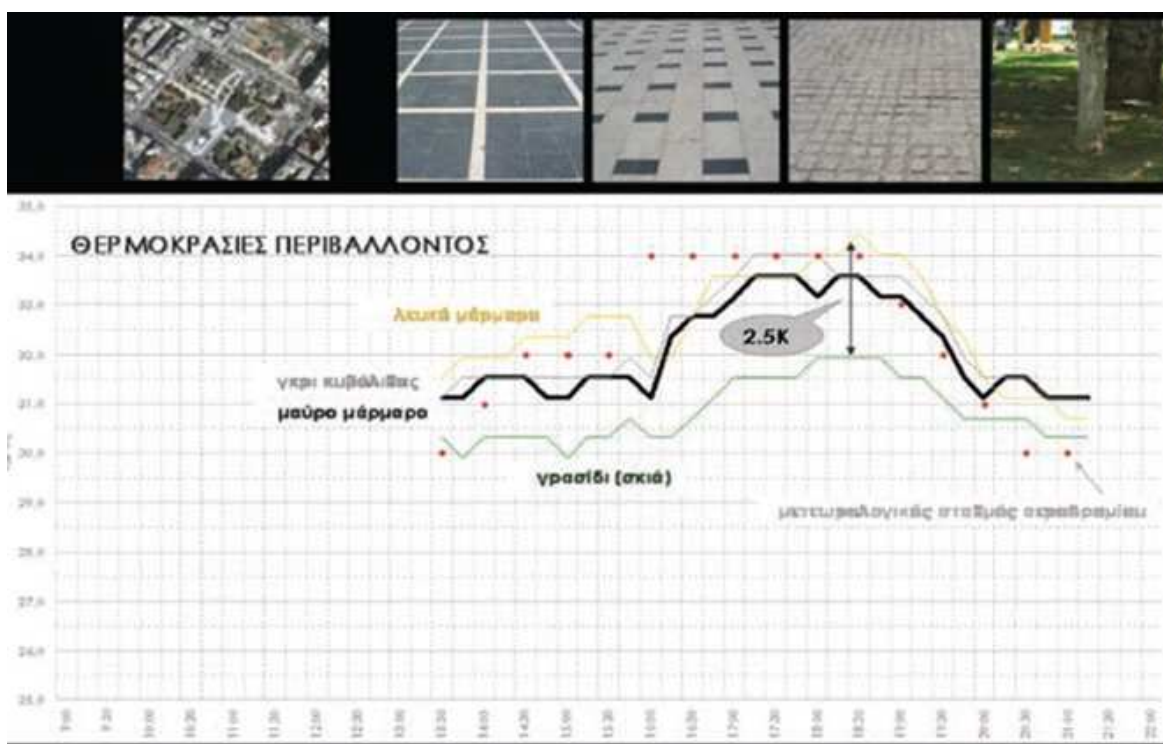
2.2.3 Στοιχεία υλικών εδαφοκάλυψης-επιστρώσεων

Η διακύμανση στην επίδραση δροσισμού από διαφορετικούς τύπους δέντρων με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, είναι αναγκαίο να καθοριστούν για να γίνει κατανοητή η

απόλυτη ψυκτική επίδραση τους στο αστικό περιβάλλον. Προκειμένου να υποστηριχθεί η ψυκτική ικανότητα των δέντρων, είναι ουσιαστική η χρήση high-albedo (υψηλής λευκαύγειας) υλικών που μπορούν να μειώσουν περαιτέρω την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των επιφανειών εδάφους και κτηρίων, για να διατηρήσουν τις επιφάνειές τους πιο ψυχρές. Ουσιαστικά, επιτυγχάνεται αφενός η μείωση του ποσοστού της ακτινοβολίας που προσπίπτει στις επιφάνειες μέσω του φυλλώματος των δέντρων και αφετέρου εκ του ποσοστού αυτού, ακόμα μικρότερο απορροφάται ως θερμότητα λόγω της υψηλής λευκαύγειας των επιφανειών. Έτσι το τελικό κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται ως θερμότητα από τις επιφάνειες είναι πολύ μικρό. Ακόμα, στη σκιαζόμενη περιοχή, υπό το φύλλωμα των δέντρων, απελευθερώνεται λανθάνουσα θερμότητα προκαλώντας αποθέρμανση του αέρα με εξάτμιση (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003). Αυτή η κατάσταση πιστεύεται ότι προσφέρει καλύτερη ατμόσφαιρα και στους εξωτερικούς χώρους και στο εσωτερικό περιβάλλον, επιτυγχάνοντας την βέλτιστη επίδραση δροσισμού (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012).

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης υπόκειται σε ανάκλαση, απορρόφηση και μετάδοση, ανάλογα με τη φύση της επιφάνειας πρόσπτωσης (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012). Γενικά, υπάρχουν δύο σημαντικοί παράγοντες ίσης σημασίας: **η λευκαύγεια (albedo)**, που είναι το μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας και ορίζεται ως η αναλογία της ποσότητας του φωτός που αντανακλάται προς την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει σε αυτή, και η **υπέρυθρη εκπομπή**, που ορίζεται ως η αναλογία της θερμότητας που ακτινοβολείται από ένα υλικό προς τη θερμότητα που ακτινοβολείται από ένα μαύρο σώμα στη ίδια θερμοκρασία (Wong&Yu, 2009). Ο πρώτος παράγοντας καθορίζει την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και ο τελευταίος ελέγχει την απελευθέρωση της με την μορφή θερμότητας στο περιβάλλον. Σημειώνεται ότι ένα αντικείμενο με υψηλό albedo (κοντά στο 1), είναι πολύ ανοιχτόχρωμο, ενώ ένα αντικείμενο που έχει χαμηλό albedo (κοντά στο 0) είναι σκουρόχρωμο. Τα επονομαζόμενα αυτά **ψυχρά υλικά**, χαρακτηρίζονται από υψηλή ανακλαστικότητα και υψηλές τιμές υπέρυθρης εκπομπής και μπορούν να βελτιστοποιήσουν αισθητά την επίδραση ψύξης στο αστικό περιβάλλον. Πρώτον, το ψυχρό υλικό μπορεί να μειώσει τις θερμοκρασίες των σκληρών επιφανειών της πόλης

απορροφώντας λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Στην πραγματικότητα, θα απελευθερωθεί λιγότερη θερμότητα πίσω στο περιβάλλον και μπορούν να επιτευχθούν χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Δεύτερον, η παραγωγή νέφους μπορεί να μειωθεί λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας που προκαλείται από «ψυχρά» υλικά και, τέλος, τα κτίρια μπορεί να έχουν παρατεταμένη διάρκεια ζωής επειδή δεν θα δέχονται φθορά από την υπερβολική θερμότητα (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012).



Εικόνα 2-4. Διαφοροποίηση Θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση κοινών υλικών επίστρωσης. Πηγή: Χατζηδημητρίου, (2017). Υλικά επίστρωσης εξωτερικών δαπέδων & μικροκλίμα αστικών χώρων. www.ktirio.gr

Το διάγραμμα στην εικόνα 2-4, απεικονίζει την διαφοροποίηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ανάλογα με την χρήση κοινώς χρησιμοποιούμενων υλικών και χαμηλής βλάστησης, ως υλικά επιστρώσεων δαπέδων.

Σύμφωνα με τον (Qin, 2015), τα υλικά που χαρακτηρίζονται ως ψυχρά, μπορούν να απορροφούν και να αποθηκεύουν χαμηλότερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, σε

σύγκριση με τα συμβατικά υλικά, ώστε να διατηρούν μειωμένες επιφανειακές θερμοκρασίες. Ως αποτέλεσμα, η εφαρμογή υλικών υψηλού albedo στις αστικές επιφάνειες του εδάφους, οδηγούν σε αποθήκευση χαμηλότερης ποσότητας θερμότητας και χαμηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας και κατά συνέπεια, στη μειωμένη απελευθέρωση αισθητής θερμότητας προς το περιβάλλον, σε σύγκριση με τα συμβατικά προϊόντα κάλυψης επιφανειών εδάφους (Tsoka, et al., 2019). Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι:

- Η αύξηση της ηλιακής ανάκλασης μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφόρων τεχνικών όπως:

(α) προσθήκη μιγμάτων ανοιχτού χρώματος,

(β) χρήση ελαφρών χρωμάτων που είναι ιδιαίτερα ανακλαστικά στα ορατά μήκη κύματος,

(γ) χρήση ανοιχτόχρωμων χρωστικών σε επιστρώσεις έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση της ηλιακής ανάκλασης κοντά στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας και

(δ) δημιουργία θερμοχρωμικών επιχρισμάτων, που ανταποκρίνονται θερμικά στις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, αλλάζοντας αναστρέψιμα το χρώμα τους καθώς η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος ανεβαίνει.

- Τα ψυχρά υλικά, που παρουσιάζουν υψηλές τιμές albedo, μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στα υλικά του κελύφους των κτηρίων, δηλαδή στις κάθετες προσόψεις τους και στις στέγες/δώματα. (Tsoka, et al., 2019).

Στον πίνακα 2-1, που εξήχθη από την ενδιαφέρουσα έρευνα των (Tsoka, et al., 2019), παρουσιάζονται οι τιμές albedo κοινών συμβατικών υλικών επίστρωσης, όπως η άσφαλτος και τα γκρι τσιμεντένια πεζοδρόμια, καθώς και η διαφοροποίηση στις τιμές των ίδιων αυτών υλικών, ύστερα από την έκθεσή τους στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και στην παρατεταμένη χρήση.

Material	Solar reflectance/albedo values
New, black conventional asphalt	0.04–0.06
Aged conventional asphalt (after the first months of use: oxidization of the binder and the corresponding exposure of the aggregates)	0.10–0.15
New cast, conventional grey concrete pavements	0.25–0.50
Aged conventional grey pavements (after the first months of exposure: weathering and abrasion)	0.19–0.40
Cool white topping on asphalt	0.30–0.45
Cool yellow thin layer asphalt	0.35–0.44
Cool colored concrete pavements	0.45–0.70

Πίνακας 2-1. Τιμές υλικών albedo για κοινά υλικά με διαφοροποίηση λόγω έκθεσης ή χρωματισμού. Πηγή: (Tsoka, Tsikaloudaki, & Theodosiou, 2019).

Η παλαιά ασφάλτος (δηλαδή, λίγους μήνες μετά την πρώτη έκθεση) τείνει να έχει υψηλότερο albedo από το αρχικό μείγμα υλικού, λόγω της συνολικής έκθεσης και την οξειδωση του συνδετικού μίγματος της ασφάλτου. Από την άλλη πλευρά, η αντίθετη τάση παρατηρείται για τα συμβατικά υλικά επίστρωσης σκυροδέματος, για τα οποία η τιμή albedo μετά από μερικούς μήνες συνεχούς χρήσης είναι μειωμένη σε σύγκριση με τα υλικά που προστέθηκαν αρχικά, λόγω των καιρικών συνθηκών και την τριβή (Tsoka, et al., 2019).

Εκτός από τα ψυχρά υλικά που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, αλλά και τη μείωση του φαινομένου της ΑΘΝ, τα τελευταία χρόνια μελετάται η εφαρμογή των **υλικών αλλαγής φάσης** (PCMs-Phase Change Materials).

Τα πιθανά οφέλη από τη χρήση PCMs και την εφαρμογή υλικών φινιρίσματος με υψηλή ανακλαστικότητα έχουν μελετηθεί ευρέως, αλλά ο συνδυασμός τους χρειάζεται περαιτέρω έρευνες στον τομέα της ανακαίνισης κτιρίων σε σχέση με την στρατηγική για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Στην πραγματικότητα, το περίβλημα των κτιρίων και η απόδοσή του επηρεάζουν όχι μόνο την ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου αλλά και το περιβάλλον που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Επιπλέον, τα κτίρια πρέπει να είναι καλά μονωμένα σύμφωνα με την Οδηγία 2010/31 / ΕΚ της ΕΕ, η οποία στοχεύει να οδηγήσει τον κτιριακό τομέα σε φιλόδοξα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης, αλλά αυτό

μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση το καλοκαίρι και να αυξήσει τη χρήση του συστήματος ψύξης. Αυτό αυξάνεται εκθετικά λόγω της κλιματικής αλλαγής και της επέκτασης της μεσαίας τάξης, η οποία απαιτεί καλύτερες συνθήκες άνεσης παγκοσμίως (Lassandro&Turi, 2017). Προσομοιώσεις μοντέλων, που πραγματοποιήθηκαν στο έργο Climate Cost, υπολόγισαν ότι η ζήτηση ενέργειας ψύξης κατοικιών θα αυξηθεί κατά 16 Mtoe/έτος έως το 2050 και 53 Mtoe/έτος έως το 2100 στην Ευρώπη (Mima&Criquei, 2015).

2.2.4 Στοιχεία νερού

Ταυτόχρονα με τη σοβαρή επιδείνωση του κλιματικού περιβάλλοντος και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων, σταδιακά δίνεται όλο και περισσότερη προσοχή στην ποιότητα και το επίπεδο άνεσης του αστικού περιβάλλοντος, ειδικά για τις κατοικημένες περιοχές που συνδέονται στενά με τη καθημερινότητα των ανθρώπων. Το στοιχείο του νερού ως ένα από τα συστατικά στοιχεία της υποκείμενης επιφάνειας, είναι ένα σημαντικό μέρος του αστικού οικιστικού περιβάλλοντος και επέχει σημαντικό ρόλο στη ρυθμιστική επίδραση στο μικροκλίματος περιβάλλον μιας κατοικημένης περιοχής, ειδικά το καλοκαίρι. Οι υπάρχουσες μελέτες σχετικά με την επίδραση του νερού στο μικροκλίμα έχουν διεξαχθεί κυρίως χρησιμοποιώντας δοκιμές πεδίου και υπολογιστική προσομοίωση. (Hong, Teng, &Renlong, 2017).

Ωστόσο, η μέχρι πρότινος χρήση των στοιχείων νερού στον αστικό υπαίθριο εξοπλισμό, όπως τα σιντριβάνια, μικρές λίμνες κτλ, σχετιζόταν περισσότερο με την αισθητική τους λειτουργία και λιγότερο με την δροσιστική τους επίδραση.

Στα πλαίσια των αστικών περιοχών, τα στοιχεία νερού μπορούν να έχουν θετική επίδραση στο μικροκλίμα καθώς η φυσική ψύξη που συμβαίνει μέσω της εξάτμισης, είναι αναγκαία τις ζεστές καλοκαιρινές μέρες. Η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα υδάτινων στοιχείων βελτιώνει την εξάτμιση, τη σχετική άνοδο της λανθάνουσας θερμότητας και την επίδραση

του δροσισμού κατά τη διάρκεια της μέρας. Η θερμοκρασία του αέρα πάνω και κοντά στα στοιχεία νερού είναι χαμηλότερη από αυτή πάνω από το έδαφος λόγω του διαφορετικού μηχανισμού ψύξης και θέρμανσης. Τα στοιχεία νερού θεωρούνται ως τα καλύτερα μέσα απορρόφησης ακτινοβολίας, όμως παρέχουν μικρή θερμική απόκριση, λόγω της μεγάλης τους θερμοχωρητικότητας. ((Wong, Tan, Nindyani, Jusuf, & Tan, 2012); (Oke, 1992)).

Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει πως η ψύξη μέσω εξάτμισης από τα στοιχεία νερού είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους παθητικής ψύξης στις αστικές περιοχές και κτήρια ((Wong, Tan, Nindyani, Jusuf, & Tan, 2012) ;(Kruger&Pearlmutter, 2008)).

Η εμπλουτισμένη εξάτμιση έχει τη δυνατότητα να μειώσει τη θερμοκρασία του αέρα και επομένως να μετριάσει την εξέλιξη της ΑΘΝ, βελτιώνοντας τη θερμική άνεση των κατοίκων (Manteghi, BinLimit, & Remaz, 2015).

Στις περισσότερες μελέτες διατυπώνεται πως οι θερμοκρασίες κοντά σε στοιχεία νερού ελαττώνονται κατά 1-2 °C, σε σύγκριση με τις περιβάλλουσες περιοχές, με τη μέγιστη μείωση της θερμοκρασίας να παρατηρείται κατά τη διάρκεια της ημέρας (Manteghi, Bin Limit, & Remaz, 2015).

Σε πολλές πόλεις, το νερό είναι ένα αδιάσπαστο κομμάτι της ζωής και του φυσικού περιβάλλοντος, πόλεις δηλαδή που είναι κτισμένες κοντά σε λίμνες ή ποτάμια. Οι Xu et al. 2010, παρατήρησαν την επίδραση των υδάτινων στοιχείων στη θερμική άνεση, για όλες τις θερμές ημέρες με θερμοκρασία άνω των 35°C . Τα αποτελέσματα τους έδειξαν πως η θερμοκρασία μειώθηκε σημαντικά στις περιοχές ενδιαφέροντός τους. Επιπλέον, η μελέτη μοντελοποίησης που πραγματοποιήθηκε από τους Robitue et al. 2006 έδειξε ότι οι μικρές λίμνες έχουν επίδραση στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου τους. Μια άλλη μελέτη επικεντρώθηκε στην ψυκτική επίδραση των πεζοδρομίων που συγκρατούν νερό, αυτή η μελέτη εμφάνισε μια μείωση της θερμοκρασίας σε σημαντικό βαθμό (Theeuwes, Solcerova, & Steeneveld, 2013).

Επιπρόσθετα από την επίδραση της εξάτμισης, τα στοιχεία νερού έχουν επίσης υψηλή θερμοχωρητικότητα. Η θερμοχωρητικότητα του νερού είναι αρκετά μεγάλη αν ληφθεί υπόψη ότι χρειάζεται περίπου η τριπλάσια ποσότητα θερμότητας για να αυξηθεί κατά μία

μονάδα η θερμοκρασία του συγκρινόμενο με το χώμα (Wong, Tan, Nindyani, Jusuf, & Tan, 2012).

Παράγοντες που επηρεάζουν την ψυκτική δράση του νερού

Τα γεωμετρικά μεγέθη των θέσεων με νερό περιλαμβάνουν το εμβαδόν, το βάθος και το σχήμα. Η επέκταση του εμβαδού του νερού μπορεί να αυξήσει την περιοχή εξάτμισης της επιφάνειας του και εν συνεχεία να αυξήσει την εναλλαγή λανθάνουσας θερμότητας μεταξύ νερού και ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Zeng, Zhou, & Li, 2017). Σύμφωνα με την έρευνα των (Shuyanetal. 2008), η μελέτη προσομοίωσης που πραγματοποίησαν έδειξε ότι 2km^2 ελεύθερης επιφάνειας νερού μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε ακτίνα 1km κατά $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πως η έκταση με νερό κάτω από 0.25km^2 δεν έχει κάποια επίδραση. Όσο μεγαλύτερη η έκταση του νερού, τόσο μεγαλύτερη η επίδραση στο τοπικό περιβάλλον, με την αύξηση της να μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του αέρα $0.1\text{-}0.2\text{ m/s}$.

Το βάθος των στοιχείου νερού επηρεάζει την υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα. Από την έρευνα του (Pengetal. 2013), εξάγεται ότι η αύξηση του βάθους του νερού μπορεί να ενισχύσει την συγκράτηση της θερμοκρασίας στο νερό έχοντας ως αποτέλεσμα να μπορεί να έχει ψυκτική επίδραση το καλοκαίρι αλλά και να θερμαίνει το περιβάλλον το χειμώνα. Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η κατανομή των υδάτινων στοιχείων. Η μεγάλη επιφάνεια του νερού δείχνει να έχει σχετικά μεγαλύτερη ψυκτική επίδραση στον περιβάλλοντα χώρο, ενώ μια ευρεία κατανομή με πολλά σημεία με στοιχεία νερού μικρότερης επιφάνειας μπορεί να μεγιστοποιήσει την επίδραση αυτή όπου υπάρχουν περιορισμοί χώρου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης μιας τυπικής κατανομής των στοιχείων νερού σε μια ιδανική πόλη που έγινε από τον Xuan 2013, η επίδραση της αποκεντρωμένης κατανομής του νερού σε αστική περιοχή είναι πολύ πιο σημαντική από την συγκεντρωτική κατανομή, για το ίδιο εμβαδό νερού.

Η τάση αυτή προς ρηχές διατάξεις νερού, συνάδει με την ευαισθησία διαχείρισης του πολύτιμου αυτού πόρου, ενώ η διαρκής κίνηση και ανακυκλωσή του σε τέτοιες διατάξεις (όπως τεχνητά κανάλια, ρυάκια, και ψεκαστήρες), ταιριάζει με την αποφυγή συγκέντρωσης ανεπιθύμητων εντόμων και φαινομένων ευτροφισμού.

3 Μελέτες περιπτώσης στρατηγικών μετριασμού της αστικής θέρμανσης και βελτίωση της εξοικονόμησης ενέργειας κτιρίων

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, οι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν το αστικό μικροκλίμα, συντελέσουν και στην εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων. Μεμονωμένες αλλά και συνδυαστικές παρεμβάσεις που έχουν μελετηθεί εκτενώς βιβλιογραφικά αφορούν σε:

- η προσθήκη φυτεύσεων, όπως χαμηλής φύτευσης και δέντρων στο επίπεδο του δρόμου, δημιουργία πράσινων όψεων και πράσινες οροφές με συνδυασμό φυτεύσεων.
- η εφαρμογή ψυχρών υλικών στο έδαφος και στις επιφάνειες των κτιρίων
- η προσθήκη στοιχείων νερού, όπως λίμνες, σιντριβάνια και
- συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων

Οι βιβλιογραφικές αυτές μελέτες συγκρίνουν τις παραμέτρους του αστικού μικροκλίματος πριν και μετά την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών, μέσω τεχνικών αριθμητικών προσομοιώσεων κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα υπολογιστικά εργαλεία και μοντέλα.

3.1 Δυναμικές αναλύσεις με κυρίαρχη στρατηγική την φύτευση δέντρων στο επίπεδο του δρόμου

Οι Wang&Akbari, 2016 προσδιόρισαν με αριθμητική ανάλυση το δυναμικό ψύξης διάφορων μοτίβων φύτευσης δέντρων και φρακτών σε μια τυπική αστική περιοχή στο Μόντρεαλ του Καναδά. Τα αποτελέσματα που έλαβαν αποκάλυψαν μία μέγιστη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ 2.1 °C και 5 °C, αναλόγως το σενάριο φύτευσης, ενώ σημαντική μείωση σημειώθηκε στη μέση ακτινοβολία θερμοκρασία, έως και 35 %, λόγω του ελέγχου της ακτινοβολίας από το φύλλωμα των δέντρων.

Σε παρόμοιο πλαίσιο, οι Wu&Chen, 2017 διερεύνησαν την πιθανή επίδραση της αύξησης της αναλογίας κάλυψης πρασίνου (Green Coverage Ratio- GCR) κατά 10% σε περιοχές με διαφορετική πυκνότητα επιφάνειας στο Πεκίνο της Κίνας, όσον αφορά τις τοπικές μικροκλιματικές συνθήκες. Παρατηρήθηκε μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας αέρα της τάξεως 0.2 °C και 0.5 °C, σε συνθήκες καλοκαιρινού καιρού, ενώ η μείωση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας δεν ξεπέρασε τους 0.1 °C, για κάθε σενάριο.

Σε μια αντίστοιχη μελέτη των Salataetal. 2017 συστήθηκε πως μια αύξηση του GCR της τάξεως του 10% σε μια κεντρική αστική περιοχή της Ρώμης, μπορεί να μειώσει την ημερήσια μέση θερμοκρασία αέρα, κατά το μήνα Ιούλιο, 1.34 °C και 0.32 °C.

Οι Shashua-Baretal,2010 εφάρμοσαν το μοντέλο συμπλέγματος θερμικής χρονικής σταθεράς, για την εκτίμηση των αλλαγών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που θα οφείλεται στη προσθήκη αστικού πρασίνου, συμπεριλαμβάνοντας τρία διαφορετικά είδη δένδρων, στο Τελ-Αβίβ του Ισραήλ. Η ανάλυση τους αποκάλυψε ένα πολύ σημαντικό δυναμικό ψύξης το καλοκαίρι, με τις μέγιστες τιμές να αγγίζουν μείωση της τάξεως των 4.0 °C. Παρόλ' αυτά, η επίδραση των δέντρων στο αστικό μικροκλίμα επηρεάζεται έντονα από τη γεωμετρία των αστικών δρόμων.

3.2 Η προσθήκη γρασιδιού στην μείωση της θερμοκρασίας και ακτινοβολίας

Μετά την αντικατάσταση του 30% της επιφάνειας αστικού δρόμου με γρασίδι 50cm ύψους, σε περιοχές με κτήρια μεσαίου και μεγάλου ύψους, τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν μια σχετικά μικρή μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας αέρα στις περιοχές με κτήρια μέσου ύψους, να φθάνει τους 0.24 °C, ενώ η θερμοκρασία της επιφάνειας και η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μειώθηκαν και στις δύο περιοχές 5.3 °C - 8.8 °C και 4.6-10.0 °C, αντίστοιχα (Lobaccaro&Acero, 2015).

3.3 Αναλύσεις σχετικές με την ψυκτική δράση των φυτεμένων δωματίων

Οι πράσινες οροφές έχουν επίσης μελετηθεί εκτενώς ως μια στρατηγική για τη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος κατά τους θερινούς μήνες. Παρά την συνεισφορά τους στην

μείωση της θερμοκρασίας των επιφανειών των οροφών και την αντίστοιχη μείωση εκπομπής θερμότητας στο περιβάλλον, είναι πιο αποτελεσματική στρατηγική σε κοντινή απόσταση από την οροφή, παρά στο επίπεδο των πεζών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την αντίστοιχη επίδραση ψύξης να είναι πιο σημαντική σε χαμηλού ύψους κτηρίων περιοχές, ενώ σε περιοχές ψηλών κτηρίων, παρατηρούνται αμελητέες αλλαγές στην θερμοκρασία του αέρα. (TsokaS. , Tsikaloudaki, Theodosiou, &Bikas, 2020)

Πιο συγκεκριμένα, οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της ψύξης των πράσινων οροφών σε αστικές περιοχές του Τόκυο, υποδεικνύουν ότι σε ενδιάμεσα και ψηλά κτίρια οδηγεί σε ανεπαίσθητη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο επίπεδο του δρόμου (Chen, Ooka, Huang, &Tsuchiya, 2009).

Σε παρόμοια προσομοίωση, όπου μελετήθηκε η δυναμική ψύξης οροφών φυτεμένων με γρασίδι σε ψηλά κτίρια στο Hong-Kong, σημειώθηκε μικρή μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο επίπεδο του δρόμου η οποία δεν ξεπέρασε τους 0.12 °C (Ng, Chen, Wang, &Yuan, 2012).

Σε μια άλλη προσέγγιση όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και προσομοίωση, όσον αφορά την επίδραση των πράσινων οροφών σε περιοχές με κτήρια μεικτού ύψους, στη Chongqing της Κίνας, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν δείχνουν ότι η έντονη και εκτεταμένη προθήκη πρασίνου στις οροφές μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας αέρα 0.4 °C και 0.3 °C, αντίστοιχα, στις mid-rise περιοχές, ενώ ανεπαίσθητη ήταν η μείωση στις high-rise περιοχές και για τους δύο τύπους οροφών (Jin, Bai, Luo, &Zou , 2017).

3.4 Μελέτες συνδυασμένων στρατηγικών αστικού πρασίνου

Στη μελέτη τους οι Pastore et al. 2017, διερεύνησαν τα οφέλη των συνδυασμένων τεχνικών φύτευσης, στην περίπτωση μια γειτονιάς στο Παλέρμο, Ιταλία, και μέσω της προσομοίωσης που έκαναν προέκυψε ότι ο συνδυασμός πυκνού γρασιδιού και δέντρων 15m ύψους γύρω από όλα τα κτήρια στις κεντρικές περιοχές μπορούν να μειώσουν τη μέγιστη θερμοκρασία αέρα κατά 2.5 °C, τους θερινούς μήνες. Αντιθέτως, η αντίστοιχη

μέγιστη θερμοκρασία για επιπλέον πυκνό γρασίδι και φράχτες ύψους 2m δεν μειώθηκε πάνω από 0.5 °C.

Σε παρόμοιες μελέτες όπου εφαρμόστηκαν αριθμητικές μικροκλιματικές προσομοιώσεις για σενάρια συνδυασμού προσθήκης πράσινων οροφών και επιπλέον δέντρων το αποτέλεσμα ήταν μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 2.3 °C στην Σάγκα της Ιαπωνίας (Srivanit&Hokao, 2013) και αντίστοιχη μείωση στην Τεχεράνη, Ιράν (Soudoudi, Shahmohamadi, Vollack, Cubasch, & Che-Ani, 2014).

3.5 Εφαρμογές ψυχρών υλικών σε οροφές

Η χρήση των ψυχρών υλικών λόγω των ιδιοτήτων τους, της υψηλής λευκαύγειας (albedo) και ανακλαστικότητας, μπορούν να μειώσουν αισθητά την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και να βελτιώσουν τη θερμική άνεση.

Η αύξηση του albedo κατά 0.40 των οροφών των κτιρίων σε mid-rise και high-rise, αποκομμένες περιοχές του Τορόντο, έδειξε σημαντική μείωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας σε όλες τις περιπτώσεις, κοντά στους 9 °C και 11 °C στις high-rise και αποκομμένες περιοχές, αντίστοιχα. Όμως, στο επίπεδο των πεζών αυτή η αλλαγή στο albedo είχε ουσιαστικό αποτέλεσμα μόνο στις αποκομμένες περιοχές, με μείωση της τάξεως του 0.5 °C, γεγονός που οφείλεται στο ότι υπάρχουν χαμηλότερα κτίρια στις αποκομμένες περιοχές και μειώνεται η απόσταση με το επίπεδο του δρόμου (Wang, Berardi, & Akbari, Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada., 2016).

Κατά την προσομοίωση με το ENVI-met, η αύξηση του albedo κατά 0.31 σε αστική περιοχή της Ρώμης, Ιταλία, παρατηρήθηκε μια ελάχιστη μείωση στη μέγιστη θερμοκρασία των πεζών της τάξεως του 0.1 °C, τους θερινούς μήνες (Salata, Golasi, Petitti, Vollaro, & Coppi, 2017)

Σε αυτό το πλαίσιο, σε προσομοίωση που μελετήθηκε η επίδραση μέτριων και υψηλών albedo, για όλες τις οροφές κτιρίων της Αθήνας, αυξάνοντας αντίστοιχα κατά 0.48 και 0.6 τις αρχικές τιμές albedo, τα αποτελέσματα έδειξαν μια μέγιστη μείωση θερμοκρασίας

αέρα, στα 2m από το έδαφος, της τάξεως του 1.5 °C και 2 °C, αντίστοιχα (Synnefa, Dandou, Santamouris, Tombrou, & Soulakellis, 2008).

Παρομοίως, η έρευνα των Georgescu et al. 2014 χρησιμοποίησε μοντέλο για την αξιολόγηση των ψυχρών οροφών σε διάφορες πόλεις των Η.Π.Α. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυξάνοντας την ηλιακή ανακλαστικότητα κατά 0.25 μπορεί να υπάρξει μια μέση μείωση της θερμοκρασίας του αέρα, το καλοκαίρι, από 0.45 °C έως και 1.8 °C, ανάλογα με την υπό έρευνα πόλη.

3.6 Αναλύσεις με εφαρμογή ψυχρών υλικών σε οριζόντιες επιφάνειες

Οι εφαρμογές ψυχρών υλικών στα οδοστρώματα στις επιφάνειες του εδάφους περιλαμβάνουν την αντικατάσταση των συμβατικών υλικών, δηλαδή της ασφάλτου και του σκυροδέματος με τα αντίστοιχα ψυχρά. Μέχρι στιγμής, οι περισσότερες από τις υπάρχουσες μελέτες προσομοίωσης μικροκλίματος ασχολούνται με την απόδοση των ψυχρών οδοστρωμάτων με υψηλή ανακλαστικότητα, ενώ η αξιολόγηση των διαπερατών και ενσωματωμένων PCM οδοστρωμάτων γίνεται γενικά μέσω πειραματικών ερευνών (Tsoka S. , Tsikaloudaki, Theodosiou, & Bikas, 2020).

Τα οδοστρώματα με υψηλό albedo μελετήθηκαν με το μοντέλο ENVI-met για την αποδοτικότητα της αύξησης του albedo, σε οδοστρώματα με ασφαλτο και σκυρόδεμα, κατά 0.3 σε μια αστική περιοχή του Los Angeles. Τα αποτελέσματα δείχνουν μια σημαντική μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος, υπό θερμές καλοκαιρινές συνθήκες, έως και 2 °C (Taleghani, Sailor, & Ban-Weiss, 2016).

Σε παρόμοιο πλαίσιο, με τη χρήση διαφορετικού μοντέλου, πραγματοποιήθηκε μελέτη για μια αστική περιοχή της Φλώρινας, για την επίδραση οδοστρωμάτων με υψηλό albedo. Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν δείχνουν ότι η αύξηση του albedo κατά 0.27 και 0.45 για την ασφαλτο και το σκυρόδεμα, αντίστοιχα, μπορεί να μειώσει τη μέγιστη θερμοκρασία επιφάνειας κατά 3.5 °C και ατμόσφαιρας κατά 1.39 °C. Δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές στην ταχύτητα του αέρα. (Zoras, Tsermentselis, Kosmopoulos, & Dimoudi, 2014)

Επιπλέον, ερευνήθηκε η επίδραση της αντικατάστασης όλων των ασφαλτοστρωμένων δρόμων με υλικά σκυροδέματος, που έχουν υψηλότερο albedo, κατά 0.2 και μικρότερη

θερμοχωρητικότητα κατά 7%, για αστικές περιοχές του Τορόντο με τη χρήση του ENVI-met. Συμπεραίνεται ότι υπάρχει σημαντική μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας επιφάνειας, κατά τις απογευματινές ώρες, που κυμαίνονται από 7.9 °C στις αποκεντρωμένες περιοχές έως 7.6 °C στις mid-rise περιοχές, ενώ η θερμοκρασία αέρα μειώνεται σε όλες τις περιοχές 0.4 °C (Tsoka S. , Tsikaloudaki, Theodosiou, & Bikas, 2020).

Εφαρμόζοντας τεχνικές αντικατάστασης των συμβατικών υλικών με υλικά υψηλού albedo, σε τοίχους, οροφές και επιφάνειες του εδάφους, οι Alpacharetal.2016 αύξησαν το albedo των επιφανειών σε πυκνοκατοικημένη περιοχή της Μεντόζα στην Αργεντινή. Στις οροφές το albedo αυξήθηκε κατά 0.5, στους τοίχους 0.6 και σε οδούς οχημάτων κατά 0.4. Τα αποτελέσματα ήταν η μέση μείωση της θερμοκρασίας αέρα κατά 0.9 °C και κατά 3.5 °C για το κάθε σενάριο. Η μέγιστη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αυξήθηκε κατά 31 °C και 15 °C, γεγονός που δείχνει ότι η ταυτόχρονη αύξηση albedo, αυξάνει σημαντικά την ακτινοβολία.

3.7 Μελέτες συνδυασμού ψυχρών υλικών και αστικού πρασίνου

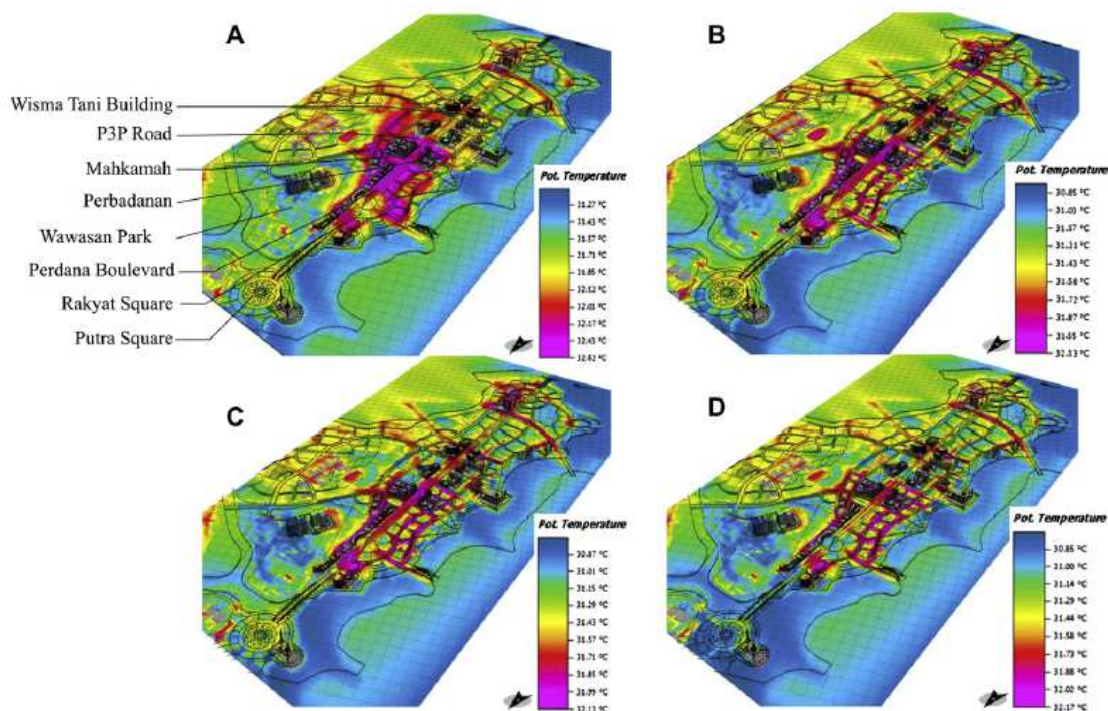
Τα ψυχρά υλικά, όπως είδαμε παραπάνω, ενδέχεται να δημιουργήσουν αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά, λόγω της ακτινοβολίας που μπορεί να αυξηθεί και επομένως να αυξηθεί και η θερμότητα. Ο συνδυασμός των ψυχρών υλικών με το αστικό πράσινο μπορεί να είναι η πιο αποτελεσματική λύση, λαμβάνοντας υπόψη την απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας μέσω της εξατμισοδιαπνοής, το φύλλωμα το δέντρων που λειτουργεί ως ασπίδα για την ακτινοβολία, ελέγχοντας ταυτόχρονα τις άμεσες και ανακλώμενες ροές ακτινοβολίας (Tsoka S. , Tsikaloudaki, Theodosiou, & Bikas, 2020).

Η επίδραση του συνδυασμού ψυχρών οροφών, των ψυχρών οδοστρωμάτων και της προσθήκης δέντρων σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές του Τορόντο, ερευνήθηκε μέσω προσομοίωσης, όπου έδειξε ότι η αύξηση albedo κατά 0.4 και 0.2 των οροφών και οδοστρωμάτων, αντίστοιχα, με ταυτόχρονη αύξηση 10% του GCR, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1

°C και 5 °C αντίστοιχα σε σύγκριση με τις υπάρχουσες συνθήκες κατά τους θερινούς μήνες (Wang, Berardi, & Akbari, 2016).

Παρόμοια, προτάθηκε ότι η αυξάνοντας το albedo της ασφάλτου κατά 0.2 και του GCR κατά 9% μπορεί να επιφέρει μέγιστη μείωση στη θερμοκρασία αέρα 2.5 °C και στη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας 38.41 °C, σε αστική περιοχή της Ρώμης.

Η έρευνα των (Shahidan, et al., 2012) μελέτησε την επίδραση του συνδυασμού των ψυχρών υλικών και της προσθήκης πρασίνου, στην πόλη Persian Perdana. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε μέσω μετρήσεων στο πεδίο και προσομοιώσεων με το ENVI-met. Δημιουργήθηκαν τέσσερις διαφορετικές συνθήκες, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 3-1.



Εικόνα 3-1. Θερμοκρασίες αέρα για τις τέσσερις διαφορετικές συνθήκες (Shahidan, Jones, Gwilliam, & Salleh, 2012).

Συμπεραίνεται ότι η υψηλή πυκνότητα φύτευσης δέντρων και ο υψηλός δείκτης albedo ήταν αποτελεσματικότερη τεχνική, οδηγώντας σε μέση μείωσης της θερμοκρασίας αέρα κατά 2.7 °C, ενώ οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη των κτιρίων μειώθηκαν κατά 29%.

3.8 Μελέτες εφαρμογών με στοιχεία νερού

Η χρήση εφαρμογών με βάση το νερό για τη μείωση των θερμοκρασιών του αστικού αέρα βασίζεται από τη μία, στην λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία εξάτμισης και, από την άλλη πλευρά, στη χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας νερού σε σύγκριση με τις συμβατικές αστικές επιφάνειες, οδηγώντας σε χαμηλότερη μεταφορά οδοστρωμάτων θερμότητας προς τον αέρα. Εκτός από τα φυσικά υδάτινα σώματα εντός των αστικών περιοχών (δηλαδή, ποτάμια, λίμνες, κ.λ.π), οι αστικές μέθοδοι εξάτμισης περιλαμβάνουν διάφορα συστήματα, όπως πισίνες, λίμνες, ψεκαστήρες και βρύσες, ενώ το επίπεδο του ψυκτικού δυναμικού τους εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, που περιλαμβάνουν το σχήμα του υδατικού συστήματος και τα χαρακτηριστικά της γύρω περιοχής και επίσης τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, όπως σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία αέρα και ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. (Tsoka S. , Tsikaloudaki, Theodosiou, & Bikas, 2020)

Συγκριτικά με τις παρεμβάσεις που αφορούν τα ψυχρά υλικά και το αστικό πράσινο, οι σχετικές μελέτες για τη δυναμική των μεθόδων με στοιχεία νερού είναι λιγότερο διευρυμένη.

Η αντικατάσταση των περιοχών που είναι καλυμμένες με σκυρόδεμα με επιφάνειες νερού και ψηλά σιντριβάνια σε μια αραιοκατοικημένη περιοχή της Τουλούζης στη Γαλλία, προσομοιώθηκε με το ENVI-met και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν ήταν μία μείωση της τάξεως των 2 °C στο επίπεδο των πεζών. Αυτό παρατηρήθηκε σε περιοχές γύρω από υδάτινα σώματα και την ημέρα και τη νύχτα, λόγω των αυξημένων ρυθμών εξάτμισης και την μικρότερη απελευθέρωση αισθητής θερμότητας (Martins, et al., 2016).

Σε παρόμοιο πλαίσιο, οι Taleghani et al. 2014 διαπίστωσαν πως η προσθήκη πισινών και λιμνών σε αυλές μεταξύ των κτιρίων της πανεπιστημιούπολης στο Πόρτλαντ, Η.Π.Α, επιφέρει μείωση της θερμοκρασίας αέρα σε ανθρώπινο επίπεδο κατά 1.1 °C κοντά στις πισίνες, ενώ η επίδραση αυτή εξασθενεί όσο αυξάνεται η απόσταση από αυτές.

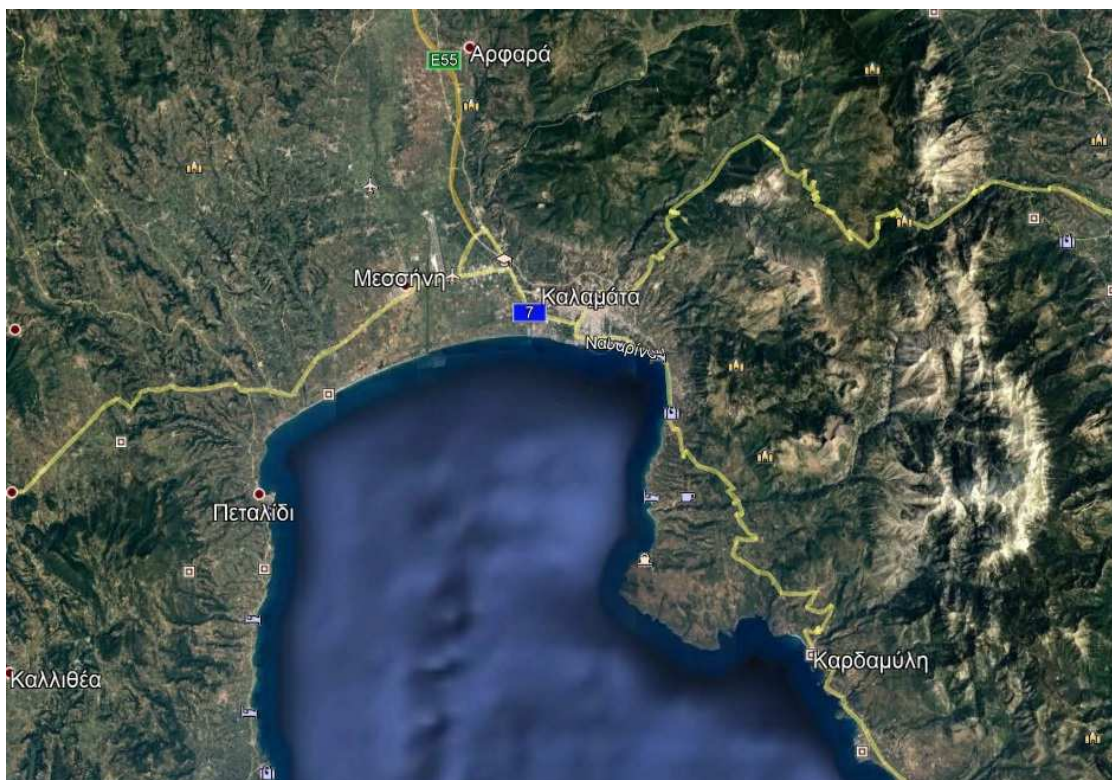
Σε αντίστοιχη μελέτη, μέσω προσομοίωσης με το ENVI-met, η προσθήκη πισινών και λιμνών σε αραιοκατοικημένη αστική περιοχή του Λονδίνου, οδήγησε σε ελάττωση της θερμοκρασίας αέρα κατά 0.5 °C τους θερινούς μήνες και κατά τις απογευματινές ώρες, ενώ το βράδυ αυτή η μείωση δεν ξεπερνάει τους 0.2 °C (O' Malley, Piroozfar, Farr, & Pomponi, 2015).

4 Μελέτη Περίπτωσης

Προκειμένου να διερευνηθεί διεξοδικότερα η επίδραση του μικροκλίματος, στην ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων θα ακολουθήσει μελέτη των στοιχείων του μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο υφιστάμενης κατοικίας, που βρίσκεται σε μια αραιοκατοικημένη περιοχή της πόλης της Καλαμάτας.

4.1 Γεωγραφική θέση περιοχής Μελέτης

Η Καλαμάτα εντοπίζεται γεωγραφικά στο νοτιοδυτικό άκρο της ηπειρωτικής Ελλάδας. Η πόλη αναπτύσσεται από τις νοτιοδυτικές παρυφές του Ταυγέτου και του Καλάθιου όρους στα βόρεια, μέχρι το νότιο παραθαλάσσιο όριο στον Μεσσηνιακό κόλπο. Η περιοχή είναι πεδινή, ελαφρά επικλινή προς το νότο, ενώ διασχίζεται στον άξονα βορρά-νότου από τον ποταμό Νέδοντα.



Εικόνα 4-1. Ευρύτερη περιοχής ένταξης, πηγή: google maps

Το οικοπέδο μελέτης εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά της πόλης, στο όριο του ρυμοτομικού σχεδίου, σε μια περιοχή που η δόμηση παρουσιάζει αραιώση, ενώ έχει κομβική θέση σχεδόν σε επαφή με βασικούς συλλεκτήριους οδικούς άξονες. (εικόνες 4-2,4-3)



Εικόνα 4-2. Θέση περιοχής μελέτης στην πόλη, πηγή: google maps

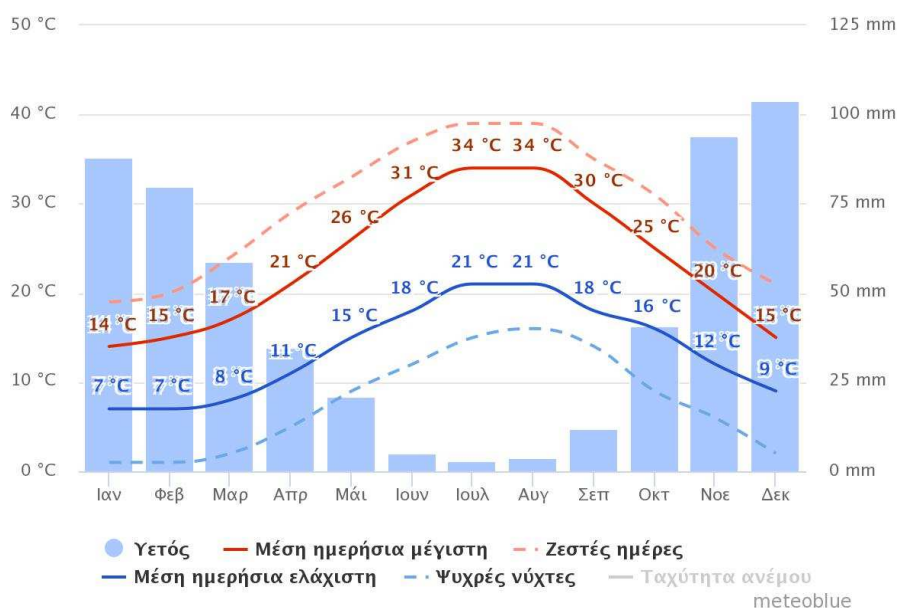


Εικόνα 4-3. Οικόπεδο μελέτης, πηγή: google maps

Η επιλογή του οικοπέδου έγινε με βάση το χαρακτηριστικό, ότι παρόλο που βρίσκεται εντός του αστικού ιστού, έχει επαρκές μέγεθος (2.200τ.μ) και ακάλυπτο χώρο, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά σενάρια διαμόρφωσής του. Εντός του βρίσκεται τριώροφο κτήριο κατοικίας, με επιφάνεια κάλυψης 120τ.μ. και συνολικό ύψος 10μ.

4.2 Στοιχεία Περιοχής Ένταξης

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται κύρια μεσογειακό, με ήπιους βροχερούς χειμώνες και ξηρά καλοκαίρια. Κατά την κατάταξη κατά Köppen -Geiger ανήκει στην κατηγορία Csa και χαρακτηρίζεται ως «hot-summer Mediterranean» (Γιαλαμάς, 2010). Κατά τον Κ.Εν.Α.Κ η περιοχή βρίσκεται στην θερμότερη, Α΄ κλιματική ζώνη (βλ. Παράρτημα Α (1)-(2)). Χαρακτηριστικά υποτροπικού κλίματος εμφανίζονται πλέον λόγω της κλιματικής αλλαγής, με αποτέλεσμα να καταγράφονται χρόνο με το χρόνο υψηλότερες τιμές στις μέγιστες θερμοκρασίες. Στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 4-4) παρατηρούμε ότι για μια περίοδο 30 ετών, ακόμα και τις κρύες νύχτες του χειμώνα, η θερμοκρασία δεν πέφτει κάτω από τους μηδέν °C, χαρακτηριστικό των περιοχών με υποτροπικό κλίμα.

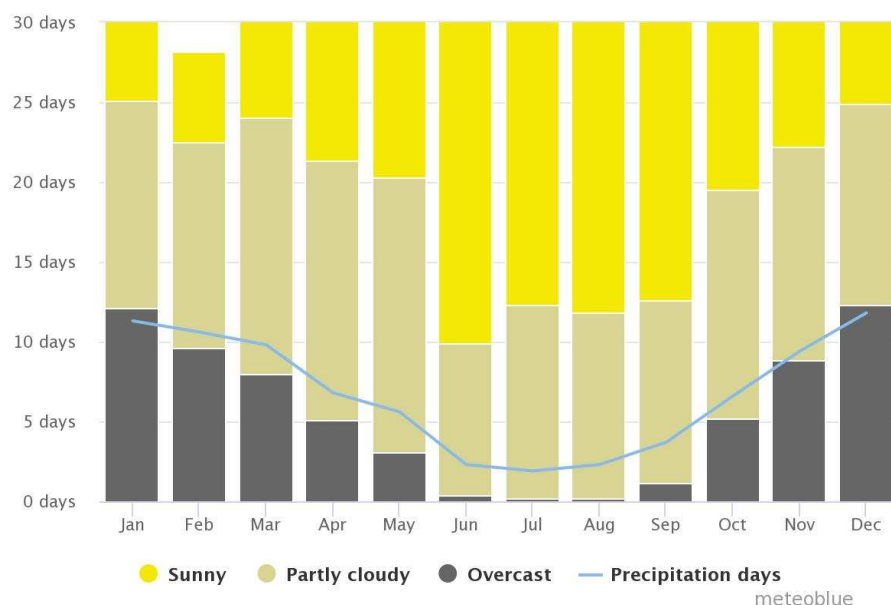


Εικόνα 4-4. Μέσες τιμές θερμοκρασιών και υετού για την περιοχή της Καλαμάτας τα τελευταία 30 έτη. (πηγή: <https://www.meteoblue.com/>)

Τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, όπως η γειτνίαση με αγροτικές και δασώδεις περιοχές και το στοιχείο της θάλασσας σε όλο το νότιο μέτωπο, διαμορφώνουν το μέσο κλίμα της περιοχής. Στα βόρεια, ο ορεινός όγκος του Ταυγέτου αποτελεί ένα φυσικό φράγμα στους κρύους βορεινούς ανέμους, ενώ η επαφή με το υδάτινο στοιχείο στα νότια, δημιουργεί το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας, η οποία ειδικά κατά την θερινή περίοδο,

δροσίζει την πόλη, διατηρώντας σε χαμηλά επίπεδα την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας.

Η ηλιοφάνεια είναι έντονη τους περισσότερους μήνες του έτους (εικόνα 4-5), όμως η καλή ρυμοτομία της πόλης και η άμεση επαφή με περιαστικές και αγροτικές περιοχές περιορίζει σε ένα βαθμό το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Παρόλα αυτά, τα περισσότερα υλικά εδαφοκαλύψεων είναι η ασφάλτος, το τσιμέντο και γενικότερα υλικά χαμηλού albedo και υψηλής θερμοχωρητικότητας. Ο συνδυασμός των παρατηρούμενων υψηλών θερμοκρασιών με την έντονη ηλιοφάνεια και τα υλικά χαμηλής ανακλαστικότητας, δημιουργεί πρόσθετες απαιτήσεις για περιορισμό των θερμικών φορτίων που προσλαμβάνονται από τις αστικές επιφάνειες και κτήρια, τα οποία ως γνωστόν, αποτελούν το δέρμα της πόλης.



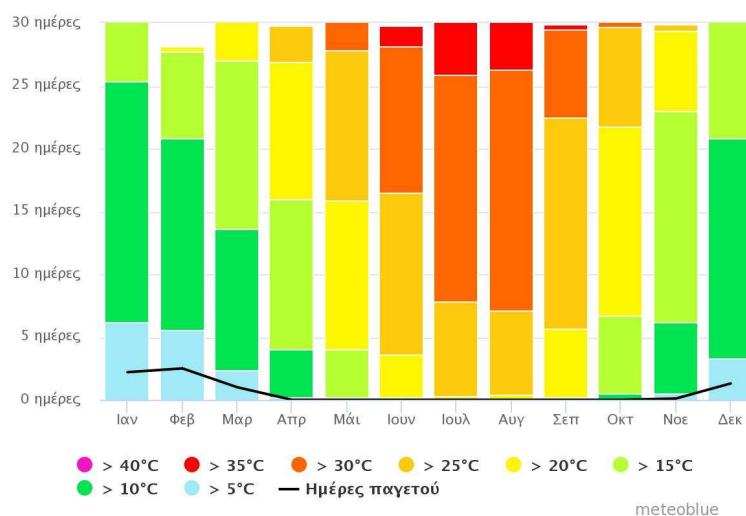
Εικόνα 4-5. Αριθμός ημερών με πλήρη ηλιοφάνεια, περιορισμένη νέφωση και νεφοσκεπή ανά μήνα για την περιοχή της Καλαμάτας τα τελευταία 30 έτη. (πηγή: <https://www.meteoblue.com/>)

Ο πληθυσμός της Καλαμάτας είναι 54.100 κάτοικοι, ενώ ο ευρύτερος Δήμος κοντά στις 70.000 (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Το τμήμα της πόλης όπου εντάσσεται το οικόπεδο μελέτης εμφανίζει καλή ρυμοτομία, βασισμένη στο υποδάμειο σύστημα. Η περιοχή είναι πυκνοδομημένη με βάση το συνεχές σύστημα δόμησης, με μέγιστη επιτρεπόμενη κάλυψη

στο 70%, με κατά κανόνα τυπικά κτήρια πολυκατοικιών, μέχρι 5 ορόφων και μέγιστα ύψη στα 15μ.

Εντούτοις, από το ρυμοτομικό σχέδιο του 1986, έχει προβλεφθεί μια κλιμακωτή απομείωση στο συντελεστή δόμησης και στα ύψη των κτηρίων, όσο αυτά πλησιάζουν το θαλάσσιο μέτωπο. Αυτό το στοιχείο, σε συνδυασμό με το ικανό πλάτος των οδών, που δημιουργούν ένα λόγο ύψους κτηρίων προς πλάτος οδών κοντά στο 1, δημιουργεί ένα συνδυασμό από οφέλη για το περιβάλλον της πόλης. Τα γεωμετρικά αυτά στοιχεία του δομημένου περιβάλλοντος, ευνοούν τον ηλιασμό των χώρων και επιτρέπουν την δροσιστική και απορρυπαντική δράση των ανέμων και κυρίως της θαλάσσιας αύρας που πνέει με αυξανόμενη ένταση του θερινούς μήνες, την εποχή δηλαδή που το φορτισμένο θερμικά περιβάλλον της πόλης την χρειάζεται περισσότερο.

Όπως παρατηρούμε στο παρακάτω διάγραμμα, οι τιμές των θερμοκρασιών που είναι χαμηλότερες από τους 10 °C, περιορίζονται κυρίως κατά τους μήνες από Δεκέμβριο μέχρι Μάρτιο, ενώ Νοέμβριο και Απρίλιο, εμφανίζονται μόνο για 4 και 6 ημέρες αντίστοιχα. Αυτό υποδηλώνει ότι η ψυχρή περίοδος του έτους είναι μικρή για την περιοχή και οι ανάγκες για θέρμανση των κτηρίων περιορισμένες. Σε αντιδιαστολή, οι ανάγκες για δροσισμό είναι οι μεγαλύτερες και αυτό θα είναι το αντικείμενο στο οποίο θα εξειδικευτεί η μελέτη περίπτωσης που ακολουθεί.



Εικόνα 4-6. Διαγραμματική απεικόνιση αριθμού ημερών με τιμές θερμοκρασιών ανά μήνα, για την περιοχή της Καλαμάτας τα τελευταία 30 έτη. πηγή: <https://www.meteoblue.com/>

4.3 Χαρακτηριστικά Οικοπέδου Μελέτης και Εγγύτερης Περιοχής

Το οικοδομικό τετράγωνο που εντάσσεται το κτήριο περιβάλλεται από ασφαλτοστρωμένους οδούς, με μικρά τσιμεντένια πεζοδρόμια, τα οποία έχουν κάποια σποραδική φύτευση με μικρά εσπεριδοειδή. Τσιμεντένιος δρόμος διασχίζει το Ο.Τ, αποτελώντας παράλληλα το ανατολικό όριο του οικοπέδου (Εικόνες 4-7 έως 9).



Εικόνα 4-7. Ύψη κτηρίων και είδη επιφανειών στην περιοχή μελέτης (πηγή υποβάθρου google earth)

Η περιβάλλουσα δόμηση ενώ παρουσιάζει κτηριακούς όγκους ικανού μεγέθους και ύψους (Εικόνα 4-7), ώστε να αποτελούν θέσεις απορρόφησης και συγκράτησης θερμότητας, έχουν ικανή απόσταση, στο βαθμό που να μην παρουσιάζεται εγκλωβισμός του θερμού αέρα (αστικά φαράγγια) ή να δημιουργούνται σημαντικοί σκιασμοί στο οικόπεδο και το κτήριο που εστιάζουμε την ανάλυση.



Εικόνα 4-8. Ασφαλτος, τσιμέντο και χαμηλή βλάστηση περιβάλλουν το οικοπέδο μελέτης



Εικόνα 4-9. Άποψη οικοπέδου από νοτιοανατολικά. Τσιμεντένιος δρόμος και ακάλυπτες επιφάνειες διακρίνονται.



Εικόνα 4-10. Άποψη οικοπέδου από νοτιοδυτικά. Ακάλυπτο χώμα και χαμηλή βλάστηση.



Εικόνα 4-11. Χαρακτηριστική εικόνα της εδαφοκάλυψης στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου.

Το κτήριο βρίσκεται εφαπτόμενο στο βορειοανατολικό όριο της ιδιοκτησίας και περιβάλλεται από ελεύθερες ακάλυπτες επιφάνειες από χώμα ή εποχική χαμηλή βλάστηση (Εικόνες 4-7, 4-9, 4-11). Έχει ανεγερθεί περί τα έτη 1992-1994 και έχει δομικό σκελετό και πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα, συνήθεις τοιχοποιίες από οπτοπλινθοδομές και σοβά. Διατάσσεται σε τρία επίπεδα και καταλήγει σε κλειστή κεραμοσκεπή επιστέγαση με ανοιχτόχρωμα κεραμίδια. Όπως τα περισσότερα κτήρια της περιόδου που ανεγέρθηκε, φέρει ελάχιστη θερμομονωτική προστασία επί του κελύφους του. Μερικές πορτοκαλιές και τρεις μεγάλοι φοίνικες, ένας στην ανατολική γωνία και δύο στη δυτική πλαισιώνουν το κτήριο, ενώ μικρός τσιμεντένιος διάδρομος εξασφαλίζει την πρόσβαση οχημάτων εντός του οικοπέδου (Εικόνες 4-7, 4-12).



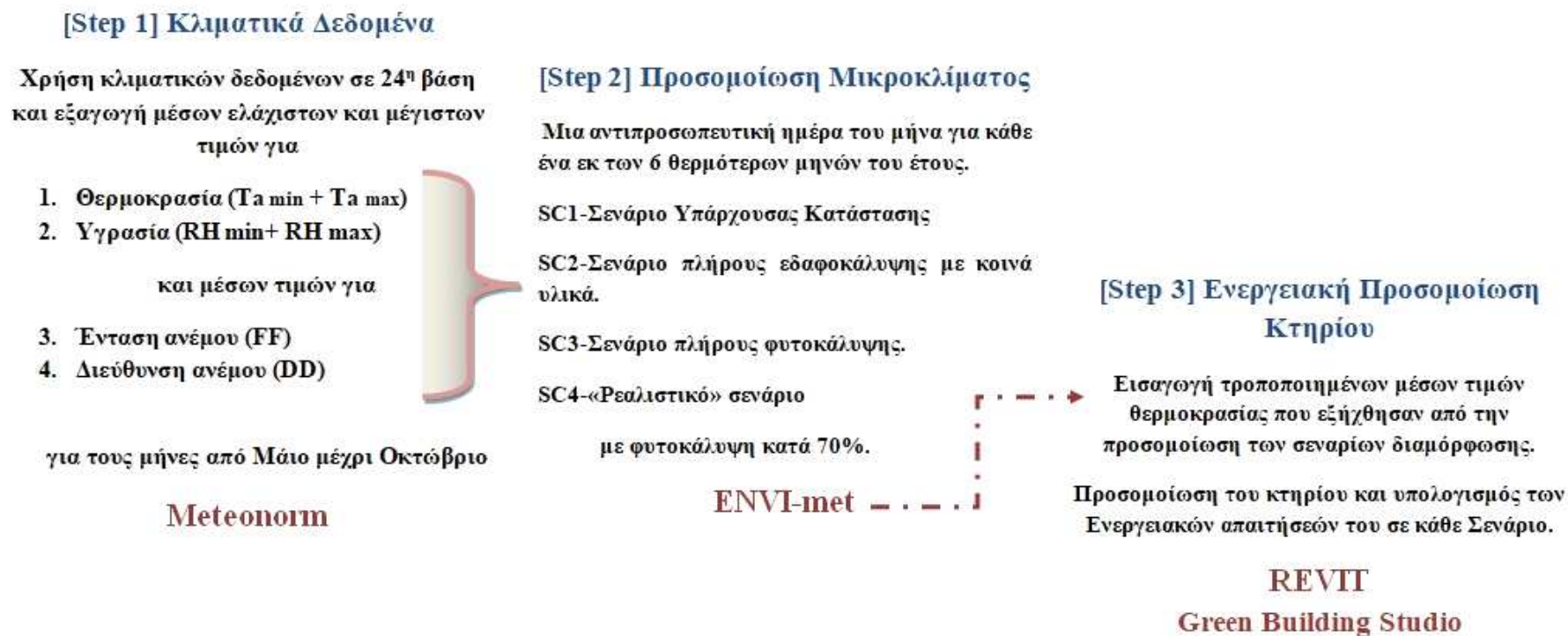
Εικόνα 4-12. Νότια όψη του κτηρίου με την περιμετρική του φύτευση.

4.4 Μεθοδολογία Ανάλυσης και Εργαλεία Λογισμικού

Η μεθοδολογία ανάλυσης του μικροκλίματος και υπολογισμού των μεταβολών των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου θα πραγματοποιηθεί μέσω της διασύνδεσης α) της βάσης κλιματικών δεδομένων **Meteonorm**, β) του λογισμικού προσομοίωσης μικροκλίματος **ENVI-met** v.04 και γ) του αρχιτεκτονικού προγράμματος **REVIT** σε συνεργασία με την μηχανή ενεργειακής προσομοίωσης **Green Building Studio**. Η διαδικασία περιγράφεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4-13).

Οι βασικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία προσομοίωσης, είναι τα ωριαία κλιματικά δεδομένα, για την θερμοκρασία αέρα (T_a), το ποσοστό σχετικής υγρασίας (RH), η ένταση (FF) και η κατεύθυνση του ανέμου (DD), τα οποία και αντικατοπτρίζουν τα κλιματικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης περιοχής (Πίνακας 4-1).

Σχηματική απεικόνιση μεθοδολογίας και χρήσης υπολογιστικών εργαλείων



Εικόνα 4-13. Σχηματική απεικόνιση μεθοδολογίας και χρήσης υπολογιστικών εργαλείων

Name of site = Kalamata

Latitude [°] = 37.067, Longitude [°] = 22.017, Altitude [m] = 8

Climatic zone = IV ,1

Radiation model = Default (hour); Temperature model = Default (hour)

Diffuse radiation model = Default (hour) (Perez)

Tilt generation model = Default (hour) (Perez)

Radiation: 1991-2010

Temperature: 2000-2009

Month	Ta	G_Gh	Td	RH	G_Dh	FF	DD	G_Lin	PP
	[°C]	[W/m2]	[°C]	[%]	[W/m2]	[m/sec]	μοίρες	[W/m2]	[h/Pa]
Jan	9.6	92.7	5.2	74	38.2	2.3	0	308	1012
Feb	9.7	119	4.9	72.2	58	2.3	23	310	1012
Mar	12.2	178.7	7.3	71.7	79.2	2.2	0	320	1012
Apr	14.9	236.2	9.6	70.4	92.7	2	180	329	1012
May	19.3	281.2	12.9	66.4	99.8	2.2	0	350	1012
Jun	23.7	311.8	15.4	59.6	100.3	2.6	0	368	1012
Jul	26.2	318.8	16.9	56.4	87.9	2.8	0	378	1012
Aug	26	284.1	17.6	59.8	88.1	2.6	0	376	1012
Sep	22.4	212.8	15.8	66.4	84.4	2.4	0	372	1012
Oct	18.7	154.7	13.4	71.2	68.3	2	23	355	1012
Nov	14.2	113.7	10.4	77.6	47.3	1.9	0	335	1012
Dec	11	87.8	7.1	76.6	37.2	2.4	0	314	1012
Year	17.3	199.3	11.4	68.5	73.5	2.3	4	343	1012

Ta: Air temperature

RH: Relative humidity

FF: Wind speed

DD: Wind direction

Πίνακας 4-1. Πίνακας τιμών παραμέτρων που εξήχθησαν από την βάση κλιματικών δεδομένων του Meteonorm-Demo mode v.8.0.2.

Περισσότερα στοιχεία για τα κλιματικά δεδομένα που ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του Meteonorm στο Παράρτημα Α.

Αρχικά να αναφερθεί ότι η ανάλυση είναι εστιασμένη στις **ενεργειακές μεταβολές κατά την θερμή περίοδο** του έτους και στον περιορισμό των ενεργειακών αναγκών σε ψύξη, οι οποίες όπως αναφέρθηκε, είναι και οι κυρίαρχες στο μεσογειακό με χαρακτηριστικά υποτροπικού κλίματος της περιοχής της Καλαμάτας. Η θερμή αυτή περίοδος εντοπίζεται από το μήνα Μάιο μέχρι και τον μήνα Οκτώβριο, με βάση τα δεδομένα που εξήχθησαν από την γεννήτρια δεδομένων του Meteonorm (Εικόνα 23).

Από τον πίνακα 4-1 παρατηρούμε ότι ο Οκτώβριος παρουσιάζει υψηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία (18.7°C) έναντι του Απριλίου (14.9°C), στοιχείο που καθόρισε την επιλογή του για την ομάδα των μηνών με τις υψηλότερες θερμοκρασίες που θα συμπεριληφθούν στην ανάλυση. Από τον ίδιο πίνακα παρατηρούμε ότι η μέση τιμή της θερμοκρασίας για τους επιλεγμένους μήνες, είναι μεγαλύτερη από 18°C , υποδεικνύοντας την έναρξη των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό, προκειμένου να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτηρίων.

Αξίζει επίσης να σχολιαστεί, ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό ανακύπτουν, εφόσον δεν έχει προβλεφθεί μέριμνα, ώστε η περιβάλλουσα και η εντός του κτηρίου θερμοκρασία, να παραμείνει σε επίπεδα άνεσης. Στοιχείο που στην εν λόγω έρευνα, γίνεται προσπάθεια να επιτευχθεί, πρωτευόντως με την προσθήκη φύτευσης και δευτερευόντως με την επιλογή και χρήση υλικών υψηλής λευκαύγειας (albedo).

Αρχικά γίνεται **προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης** με το πρόγραμμα **ENVI-met** με τα δεδομένα που αφορούν μια περιοχή επιφάνειας 6400τ.μ - $80\times 80\text{μ}$ -. Στη συνέχεια εκπονούνται **3 διαφορετικά σενάρια**, με βάση τις δυνατές επιλογές διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου μόνο ενός τμήματος της περιοχής, που αφορούν σε ένα οικόπεδο-ιδιοκτησία επιφάνειας 2200τ.μ .

Στη συνέχεια οι εξαγόμενες μέσες τιμές των θερμοκρασιών που προκύπτουν για κάθε ένα μήνα, για τα 2 σενάρια που εμφανίζουν τις ακρότατες τιμές (υφιστάμενο-μέγιστης φυτοκάλυψης), εισέρχονται ως μεταβλητές στο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης **Green Building Studio**, αφού πρωτίτερα έχει περιγραφεί το κτηριακό κέλυφος στο αρχιτεκτονικό πρόγραμμα **Revit**, και έτσι υπολογίζονται εν τέλει οι ενεργειακές διαφοροποιήσεις στις καταναλώσεις του κτηρίου.

4.5 Πρόγραμμα Προσομοίωσης Μικροκλίματος ENVI-met

Το πρόγραμμα προσομοίωσης μικροκλίματος **ENVI-met** δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο, ικανό να αναπαραστήσει τα διαφορετικά στοιχεία που συνθέτουν το αστικό περιβάλλον και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Το λογισμικό βασίζεται στους θεμελιώδεις νόμους της δυναμικής των υγρών και της θερμοδυναμικής, ώστε να μπορεί να προσομοιώσει τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις των επιφανειών, της βλάστησης και της ατμόσφαιρας σε μια αστική περιοχή (Tsoka, et al., 2019). Λαμβάνοντας υπ' όψη την υπάρχουσα επιστημονική βιβλιογραφία, είναι ένα από τα περισσότερα χρησιμοποιούμενα εργαλεία στην προσομοίωση της αστικής κλίμακας (Boeri, et al., 2017).

Τα λεπτομερή χαρακτηριστικά του μοντέλου μαζί με τη δομή του και τις μαθηματικές εξισώσεις που διέπουν τα διάφορα υπομοντέλα, όπως το ατμοσφαιρικό, το υπόστρωμα του εδάφους και της βλάστησης, αναλύονται σχετικά από τον (Huttner, 2012).

Το μοντέλο μελέτης εντάσσεται σε ένα κάναβο (grid cells), με συνήθη κελιά από 1 έως 10μ., ενώ το ύψος του καθορίζεται ως το διπλάσιο του ψηλότερου αντικειμένου, π.χ κτηρίου ή δέντρου, που περιγράφεται εντός του. Το μέγεθος των κελιών του πλέγματος καθορίζεται, ως επιλογή του χρήστη, με βάση την περιοχή που προτίθεται να περιγράψει (π.χ ένα Ο.Τ ή μια ολόκληρη συνοικία), αλλά και από την λεπτομέρεια των υπολογισμών που θέλει να πραγματοποιήσει.

Στην περίπτωσή μας, με βάση τους περιορισμούς που καθορίζει η χρήση της ελεύθερης έκδοσης του λογισμικού (ENVI-met v.04), των δυνατοτήτων επεξεργασίας ενός υπολογιστή γραφείου, αλλά και του μεγέθους της περιοχής επεμβάσεων (2200τ.μ) επιλέγεται κάναβος 40x40x40 με διάσταση κελιού τα 2μ. Δηλαδή το συνολικό μοντέλο προσομοίωσης είναι μεγέθους 80x80 μέτρων (6400τ.μ), κεντρικά του οποίου τοποθετείται το οικόπεδο μελέτης (Εικόνα 4-14).

Εντός του κανάβου αυτού, περιγράφονται οι επιφάνειες που καλύπτουν τα κτήρια με τα αντίστοιχα ύψη τους, τα υλικά εδαφοκάλυψης, όπως το χώμα, το τσιμέντο και η ασφαλτος, καθώς και τα στοιχεία των φυτεύσεων. Η εισαγωγή και επισκόπηση των διαφορετικών παραμέτρων των αντικειμένων που έχουν διάσταση σε ύψος (κτήρια,

δέντρα, φυτά) γίνεται σε διαφορετική καρτέλα (Εικόνα 4-14), από αυτήν των υλικών των επιφανειών (Εικόνα 4-15).

Προκειμένου να γίνει η εισαγωγή των μέσων μηναίων τιμών, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας ($T_{a \min}$ - $T_{a \max}$) και αντίστοιχα της σχετικής υγρασίας ($RH \min$ - $RH \max$) στο πρόγραμμα προσομοίωσης ENVI-met, που αντιστοιχούν στην αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα, απαιτήθηκε αυτές να αντληθούν από επεξεργασία των πινάκων των ωριαίων τιμών 24ώρου, της βάσης δεδομένων του Meteororm, για κάθε έναν εκ των 6 μηνών που θα γίνουν οι προσομοιώσεις (πίνακας 4-2).

Θερμοκρασία T_a ($^{\circ}C$)		
Month	$T_{a \min}$	$T_{a \max}$
Jan		
Feb		
Mar		
Apr		
May	14.14	24.44
Jun	18.01	28.55
Jul	20.93	31.59
Aug	20.69	31.39
Sep	17.23	27.22
Oct	14.10	23.87
Nov		
Dec		

Υγρασία RH (%)		
Month	$RH \min$	$RH \max$
Jan		
Feb		
Mar		
Apr		
May	47.06	93.21
Jun	43.23	85.52
Jul	38.81	81.84
Aug	41.16	85.50
Sep	50.38	89.08
Oct	52.25	92.17
Nov		
Dec		

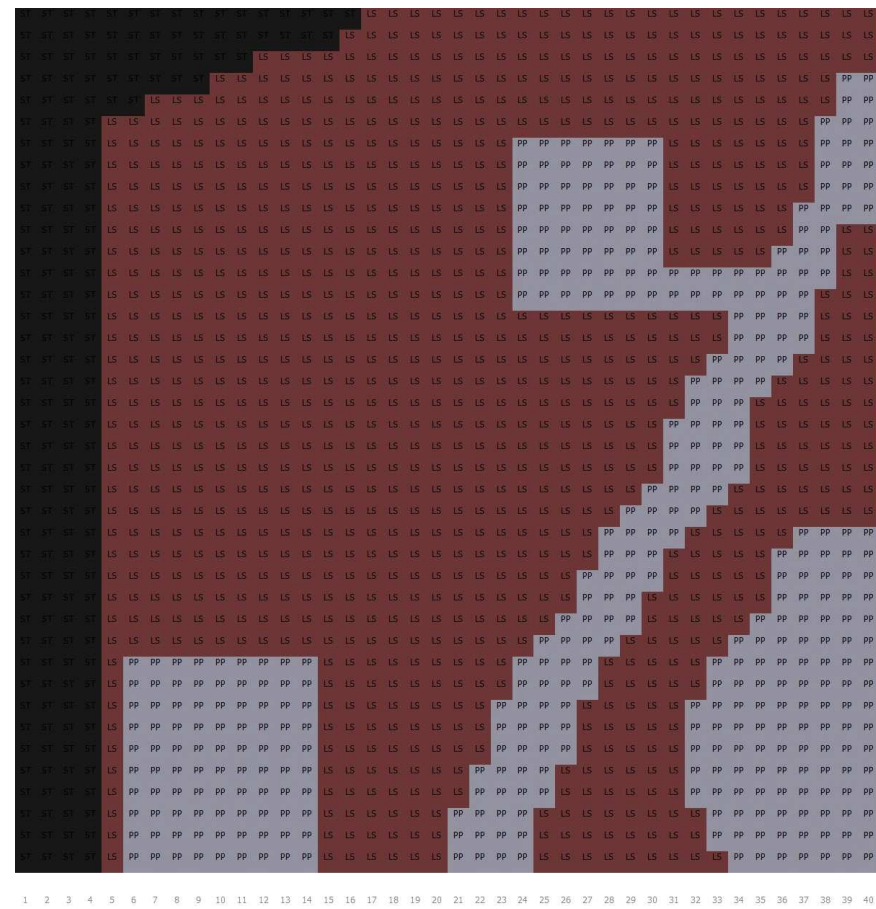
Πίνακας 4-2. Πίνακας τιμών μέγιστων και ελάχιστων τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας για κάθε μήνα. Οι τιμές προκύπτουν από επεξεργασία των ωριαίων τιμών της βάσης δεδομένων του Meteororm.

Εμμανουήλ Δ. Κουμερτάς, «Η επίδραση του μικροκλίματος στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Διερεύνηση της εξοικονόμησης ενέργειας υφιστάμενης κατοικίας στην Καλαμάτα, μέσα από την βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στο άμεσο περιβάλλον της»



Εικόνα 4-14. Μοντέλο προσομοίωσης με το λογισμικό ENVI-met v.04-υπόβαθρο google earth

Διπλωματική Εργασία



Εικόνα 4-15. Μοντέλο προσομοίωσης εδάφους με την διαφοροποίηση των επιφανειών (λογισμικό ENVI-met v.04).

4.6 Σενάρια Διαμόρφωσης-Προσομοίωσης

4.6.1 SC1-Υφιστάμενη κατάσταση

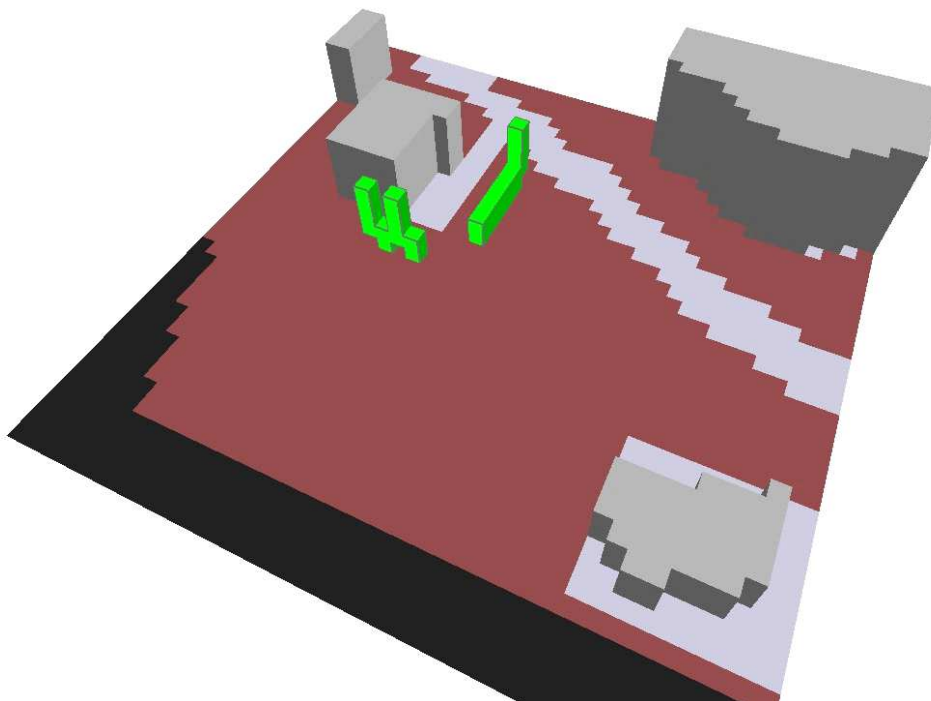
Το αρχικό σενάριο περιγράφει την υφιστάμενη κατάσταση, η οποία θα αποτελέσει την βάση σύγκρισης σε σχέση με τα σενάρια που ακολουθούν. Όπως αναφέρθηκε ο περιβάλλον χώρος του οικοπέδου μελέτης είναι κατά κανόνα αδιαμόρφωτος. Το μεγαλύτερο μέρος της ιδιοκτησίας είναι χωμάτινο με εποχική κάλυψη από αγριόχορτα οπότε και θα ληφθεί ως μη καλυμμένο με φύτευση κατά το σενάριο της υφιστάμενης κατάστασης (SC1).

Αντίστοιχα περιγράφονται τα υλικά του εδάφους του περιβάλλοντος χώρου του οικοπέδου, τα οποία και αποτελούν τα δεδομένα που παραμένουν αμετάβλητα στα σενάρια που ακολουθούν. Οι κωδικοί που περιγράφουν τα υλικά και τις φυτεύσεις, με τις αντίστοιχες ιδιότητες περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα 4-3.

Υλικά Επιφανειών στο πρόγραμμα ENVI-MET-SC1			
Είδος	sympol	τιμή Albedo	Emissivity
Αργιλώδες έδαφος (Loamy Soil)	LS	0.2	0.98
Τσιμεντοειδή Δάπεδα (Pavement concrete used/dirty)	PP	0.3	0.9
Άσφαλτος (Asphalt Road)	ST	0.2	0.9

Στοιχεία φύτευσης στο πρόγραμμα ENVI-met- SC1						
Είδος/ιδιότητες	sympol	Plant height	τιμή Albedo	Transmittance	Leaf Area (LAD) Density	Leaf Type
Grass 50 cm aver, dense	XX	0.63m	0.2	0.3	0.3	Grass
Hedge dense 4m	H4	2m	0.2	0.3	2.5	Deciduous
Tree 10m, very dense, leafless base	T1	10m	0.2	0.3	0.00-2.18-1.72	Deciduous

Πίνακας 4-3. Στοιχεία υλικών και φύτευσης –SC1



Εικόνα 4-16. Τρισδιάστατη απεικόνιση υφιστάμενης κατάστασης-SC1 και απεικόνιση κτηριακών όγκων και φυτεύσεων-απεικονίσεις από λογισμικό προσομείωσης ENVI-met.

Στην παραπάνω τρισδιάστατη απεικόνιση (εικόνα 4-16) αλλά και στις εικόνες 4-14, 4-15, διακρίνεται το αργιλώδες έδαφος (LS) με albedo 0.2 που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της κάλυψης. Αποτυπώνονται οι τέσσερις κτηριακοί όγκοι με τα αντίστοιχα ύψη τους, ο τσιμεντένιος δρόμος και μικρές περιοχές περιμετρικά του κτηρίου μελέτης και εκείνου στα νότια με τσιμεντοειδή υλικά (PP) με albedo 0.3 και ο δρόμος στα δυτικά καλυμμένος με άσφαλτο (ST) με albedo 0.2. Ακόμα διακρίνονται τα λιγοστά δέντρα νότια και δυτικά του κτηρίου με χαρακτηριστικά όπως φαίνονται στον πίνακα 4-3.

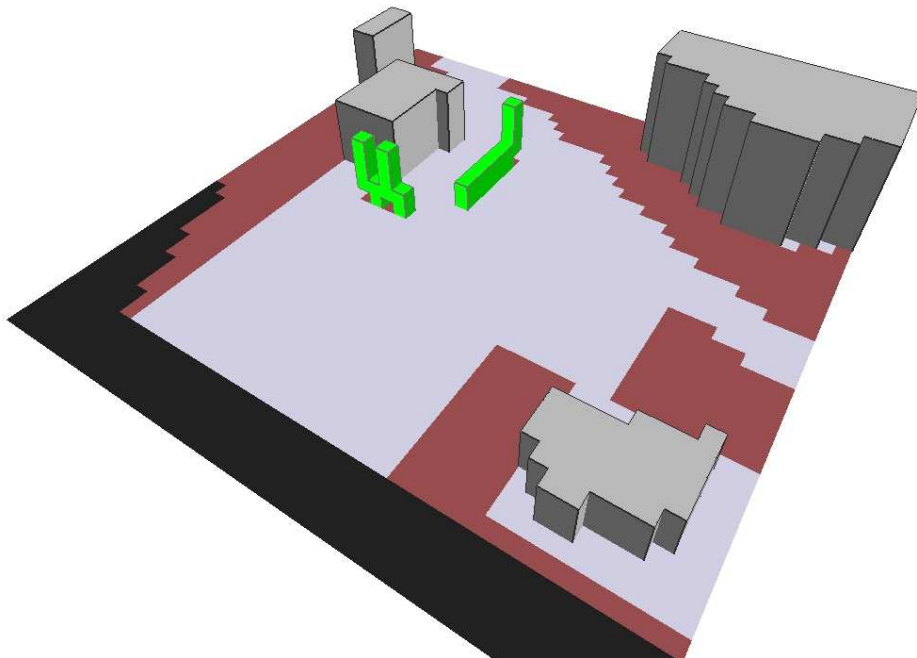
4.6.2 SC2-Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά υλικά (τσιμέντο)

Στο 2^ο σενάριο η κάλυψη του οικοπέδου θα γίνει σε όλο το τμήμα με σκληρά υλικά, τσιμέντο και τσιμεντόπλακες, ώστε να έχουμε μια εικόνα στην περίπτωση που ακολουθηθεί μια λογική τελείως αντίθετη της βιοκλιματικής προσέγγισης, αλλά που

συνηθίζεται λανθασμένα, να εφαρμόζεται πολλές φορές στο περιβάλλοντα χώρο των κτηρίων.

Ενώ ακόμα και για την συμμόρφωση με τον οικοδομικό κανονισμό, προβλέπεται ύπαρξη υποχρεωτικής φύτευσης, ίσης με τα 2/3 του υπολοίπου, της μέγιστης δυνατής κάλυψης με κτήρια έκτασης, εντούτοις η υπερκάλυψη με μπετό, αποτελεί την πιο συνηθισμένη πολεοδομική παράβαση και συγχρόνως την συνηθέστερη κακή πρακτική στην διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων. Από άποψη Ελληνικού κανονισμού, ενώ στον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (ΝΟΚ-ν.767/2012-ΦΕΚ Α-79/9-4-2012), προβλέπεται κατά 10% (από 70% σε 60%) μείωση στη μέγιστη κτηριακή κάλυψη, είναι πολύ μικρή για να εξασφαλίσει ικανό ελεύθερο χώρο για φύτευση, ώστε αυτή να επηρεάσει δραστικά το μικροκλίμα στον αστικό χώρο.

Όπου κατά το SC1 έχουμε επιφάνεια με έδαφος στο οικόπεδο μελέτης, τοποθετούνται τσιμεντοειδή μη διαπερατά υλικά (PP) με albedo 0.3.



Εικόνα 4-17. Τρισδιάστατη απεικόνιση σεναρίου 2-SC2 και απεικόνιση κτηριακών όγκων και φυτεύσεων-απεικονίσεις από λογισμικό προσομείωσης ENVI-met.

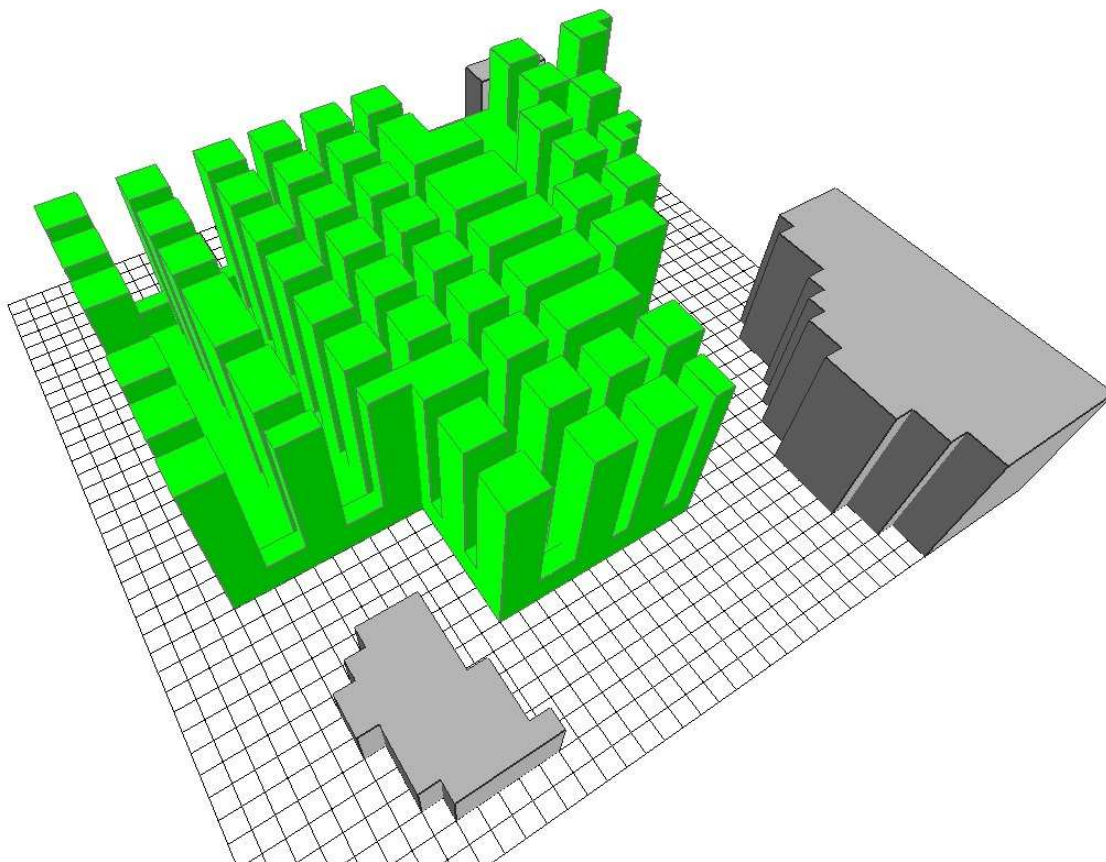
4.6.3 SC3-Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης

Στο 3^ο σενάριο θα γίνει πλήρης κάλυψη με φύτευση, με ένα συνδυασμό ψηλών δέντρων, θάμνων και γρασιδιού σε όλο τον ελεύθερο χώρο του οικοπέδου, καθώς και κάλυψη του δώματος με χαμηλή βλάστηση-φυτεμένο δώμα (εικόνες 4-18,4-19)

Επιλέγονται ψηλά δέντρα (20μ) με πυκνές κόμες (Leaf Area Density LAD=2.18), καθώς οι πρωταρχικοί παράγοντες που συμβάλουν στην ψυκτική δράση των φυτών προκύπτουν από τον σκιασμό και την διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής (Shashua-Bar & Hoffman, 2000).



Εικόνα 4-18. Μοντέλο προσομοίωσης με το λογισμικό ENVI-met v.04-υπόβαθρο google earth. Διακρίνονται οι κωδικοί SM, XX, H4 των διαφορετικών ειδών φύτευσης.



Εικόνα 4-19. Τρισδιάστατη απεικόνιση κτηριακών όγκων και φυτεύσεων SC3-απεικονίσεις από λογισμικό προσομείωσης ENVI-met.

Το πυκνό φύλλωμα και η διάμετρος του κορμού παράγουν αποτελεσματικές σκιάσεις, μπλοκάροντας την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, διατηρώντας τα επίπεδα υγρασίας κάτω από τις κόμες (Shahidan, Shariff, Jones, Salleh, & Abdullah, 2010). Στην περίμετρο του οικοπέδου τοποθετούνται πυκνοί θάμνοι (H4) ύψους 4μ, ενώ στο δώμα επιλέγεται χαμηλή φύτευση (XX), που έχει μικρό ρίζωμα και χαμηλές απαιτήσεις σε νερό. Οι κωδικοί που περιγράφουν τα υλικά και τις φυτεύσεις, με τις αντίστοιχες ιδιότητές τους περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα 4-4.

Υλικά Επιφανειών στο πρόγραμμα ENVI-MET-SC3			
Είδος	sympol	τιμή Albedo	Emissivity
Αργιλώδες έδαφος (Loamy Soil)	LS	0.2	0.98
Τσιμεντοειδή Δάπεδα (Pavement concrete used/dirty)	PP	0.3	0.9
Άσφαλτος (Asphalt Road)	ST	0.2	0.9

Στοιχεία φύτευσης στο πρόγραμμα ENVI-met- SC3						
Είδος/ιδιότητες	sympol	Plant height	τιμή Albedo	Trans-mit-tance	Leaf Area (LAD) Density	Leaf Type
Grass 50 cm aver, dense	XX	0.63m	0.2	0.3	0.3	Grass
Hedge dense 4m	H4	2m	0.2	0.3	2.5	Deci-duous
Tree 20m, very dence, distrinct crown layer	SM	20m	0.2	0.3	0.15-0.65-2.18	Deci-duous

Πίνακας 4-4. Στοιχεία υλικών και φύτευσης –SC3

4.6.4 SC4-Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% του συνόλου

Στο 4^ο σενάριο ακολουθείται μια περισσότερο ρεαλιστική προσέγγιση, όπου αφήνεται ένας διάδρομος πλάτους 4μ, που προσεγγίζει το κτήριο από τα ανατολικά και φτάνει μέχρι την δυτική πλευρά του οικοπέδου, σε ένα διαμορφωμένο ξέφωτο, περιμετρικά του οποίου κυριαρχεί η δενδρώδης φύτευση (SM) και στο κέντρο του οποίου τοποθετείται ένα μεγάλο δέντρο ύψους 15μ (SK) (Εικόνα 4-20). Ο χώρος αυτός έχει δάπεδο από ανοιχτόχρωμους κυβόλιθους (KG) με albedo 0.5 και είναι προσπελάσιμος από αυτοκίνητο, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπαίθριο καθιστικό ή χώρος αθλοπαιδιών.

Εγγύτερα του κτηρίου διατηρείται η φύτευση ώστε να παρέχει τον επιθυμητό σκιασμό και λίγο νοτιότερα τοποθετείται στοιχείο νερού-πισίνα (WW), με περιμετρικό διάδρομο από κυβόλιθους (Εικόνα 4-21).

Εμμανουήλ Δ. Κουμερτάς, «Η επίδραση του μικροκλίματος στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Διερεύνηση της εξοικονόμησης ενέργειας υφιστάμενης κατοικίας στην Καλαμάτα, μέσα από την βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στο άμεσο περιβάλλον της»



Εικόνα 4-20. Στοιχεία κτηρίων και φύτευσης –SC4



Εικόνα 4-21. Υλικά εδαφοκάλυψης–SC4.

Η συνολική φυτοκάλυψη προσεγγίζει το 70% της συνολικής επιφάνειας της ιδιοκτησίας. Οι κωδικοί που περιγράφουν τα υλικά και τις φυτεύσεις, με τις αντίστοιχες ιδιότητές τους περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Υλικά Επιφανειών στο πρόγραμμα ENVI-MET-SC4			
Είδος	sympol	τιμή Albedo	Emissivity
Αργιλώδες έδαφος (Loamy Soil)	LS	0.2	0.98
Κυβόλιθοι ανοιχτόχρωμοι (Brick Road)	KG	0.5	0.98
Στοιχεία Νερου (Deep Water)	WW	0	0.96
Τσιμεντοειδή Δάπεδα (Pavement concrete used/dirty)	PP	0.3	0.9
Άσφαλτος (Asphalt Road)	ST	0.2	0.9

Στοιχεία φύτευσης στο πρόγραμμα ENVI-met- SC4						
Είδος/ιδιότητες	sympol	Plant height	τιμή Albedo	Trans-mittance	Leaf Area (LAD) Density	Leaf Type
Grass 50 cm aver, dense	XX	0.63m	0.2	0.3	0.3	Grass
Hedge dense 4m	H4	2m	0.2	0.3	2.5	Deci- duous
Tree 10m, very dense, leafless base	T1	10m	0.2	0.3	0.00-2.18- 1.72	Deci- duous
Tree 15m, very dense, distinct crown layer	SK	15m	0.2	0.3	0.15-0.65- 2.18	Deci- duous
Tree 20m, very dense, distinct crown layer	SM	20m	0.2	0.3	0.15-0.65- 2.18	Deci- duous

Πίνακας 4-5. Στοιχεία υλικών και φύτευσης –SC4

4.7 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Μικροκλίματος

Γενικά

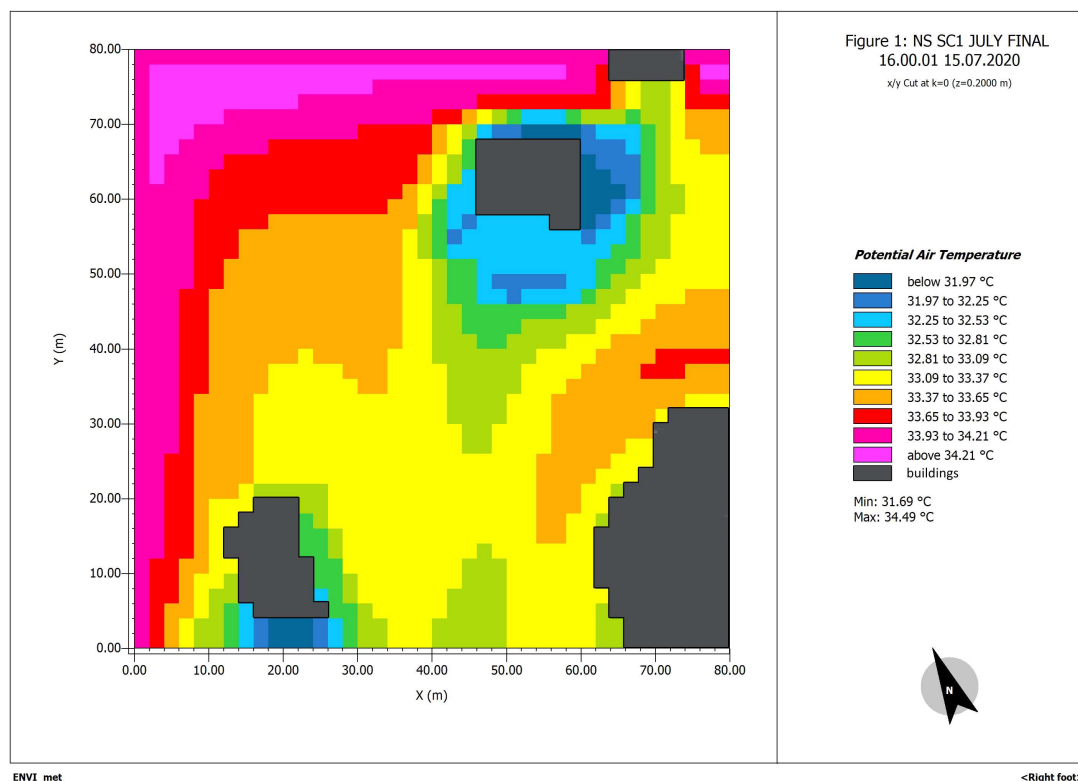
Με βάση το γεγονός ότι εστιάζουμε την έρευνά μας στην επίδραση των μικροκλιματικών συνθηκών κατά τις περισσότερες θερμές περιόδους, επιλέγεται να εξεταστούν αρχικά και να σχολιαστούν τα διαγράμματα για τον **θερμότερο μήνα** του έτους (**Ιούλιο**), κατά της 4μ.μ (**16:00**), όπου ο ήλιος έχει μεσουρανήσει και η θερμοκρασία αέρα εμφανίζει υψηλές τιμές. Για την συγκεκριμένη ώρα και μήνα έχουμε τις μέγιστες καταγεγραμμένες θερμοκρασίες σύμφωνα με τη βάση κλιματικών δεδομένων meteonorm.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν διαγράμματα και σχολιασμοί που θα περιλαμβάνουν όλους τους μήνες.

4.7.1 SC1-Υφιστάμενη κατάσταση

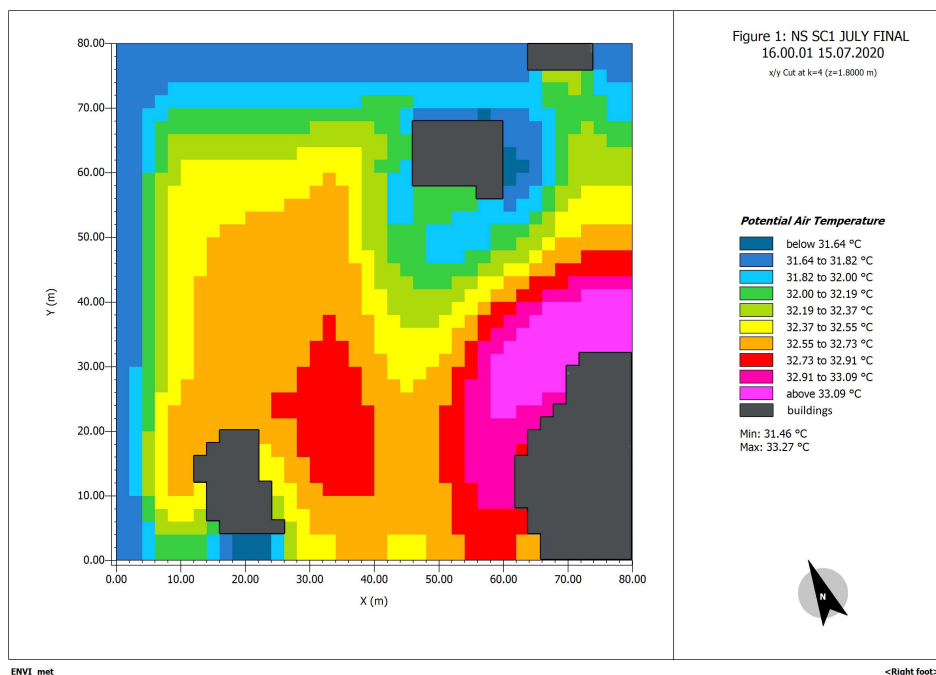
Από τα ακόλουθα διαγράμματα των τιμών της θερμοκρασίας μια **τυπική μέρα του Ιουλίου στις 16:00**, παρατηρείται διακύμανση της θερμοκρασίας, στον ακάλυπτο χώρο της περιοχής μελέτης μέχρι και 2.8 °C (31.69-34.49 °C). Η διαφοροποίηση αυτή, σχετίζεται με την παρουσία των κτηριακών όγκων, των διαφορετικών υλικών επίστρωσης, αλλά και της λιγοστής ακόμα φύτευσης.

Από το διάγραμμα (εικόνα 4-22), **σε ύψος 0.2m** από το έδαφος, βλέπουμε ότι η θερμοκρασία στο δυτικό και βόρειο όριο της περιοχής, έχει τις μεγαλύτερες τιμές (>33.65 °C), αναμενόμενο στοιχείο λόγω της παρουσίας της ασφάλτου. Πλησιέστερα στα κτήρια του νότιου τμήματος εμφανίζονται μέσες τιμές, ενώ στο κτήριο μελέτης στα βορειοανατολικά, λόγω της υπάρχουσας φύτευσης και των χωμάτινων επιφανειών, εμφανίζονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η ύπαρξη των δέντρων, διατηρεί τις χαμηλότερες εμφανιζόμενες θερμοκρασίες στο διάγραμμα, από ένα μέρος στα δυτικά του κτηρίου, μέχρι στα νότια και ανατολικά, όπου και κατευθύνεται ο σκιασμός τους λόγω της θέσης του ηλίου στα νοτιοδυτικά, αυτήν την ώρα της ημέρας (16:00).

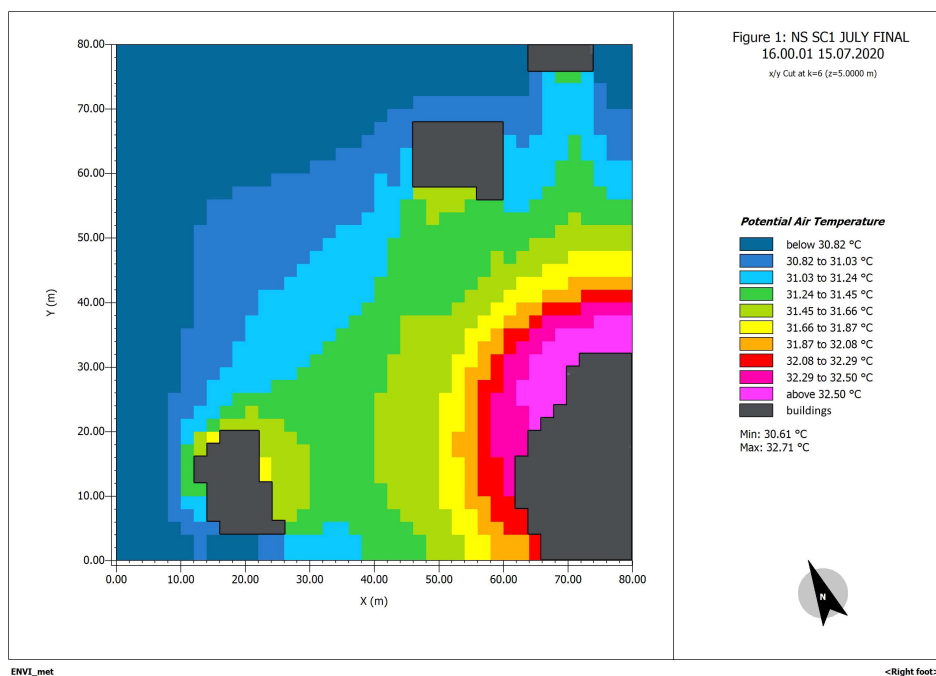


Εικόνα 4-22. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met

Στη συνέχεια, από το διάγραμμα της θερμοκρασίας σε ύψος **1.8m** από το έδαφος (εικόνα 4-23), παρατηρούμε ότι στην περιοχή της ασφάλτου η θερμοκρασία έχει πέσει χαρακτηριστικά, πιθανά λόγω των μεγάλων διατομών των οδών και της απουσίας κτηριακών όγκων. Ένα συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί εδώ, είναι ότι η ανεμπόδιστη δράση των ανέμων στην εν λόγω περιοχή, επιφέρει ταχεία εξομάλυνση της θερμοκρασίας στο επίπεδο του διαβάτη (1.8m). Ακόμα ψηλότερα σε ύψος **5m** (εικόνα 4-24), οι υψηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται πλέον, πλησίον του κτηρίου στη νοτιανατολική γωνία, όπου και αποτελεί τον ψηλότερο και ευρύτερο κτηριακό όγκο της περιοχής. Οπότε και εδώ συμπεραίνουμε ότι η παρουσία μεγάλων και ψηλών κτηριακών όγκων, υψηλής θερμοχωρητικότητας, επηρεάζουν και διατηρούν την θερμοκρασία του αέρα στην περιοχή που τα περιβάλλει, όχι μόνο περιμετρικά αυτών, αλλά και στο ύψος που εκτείνονται.

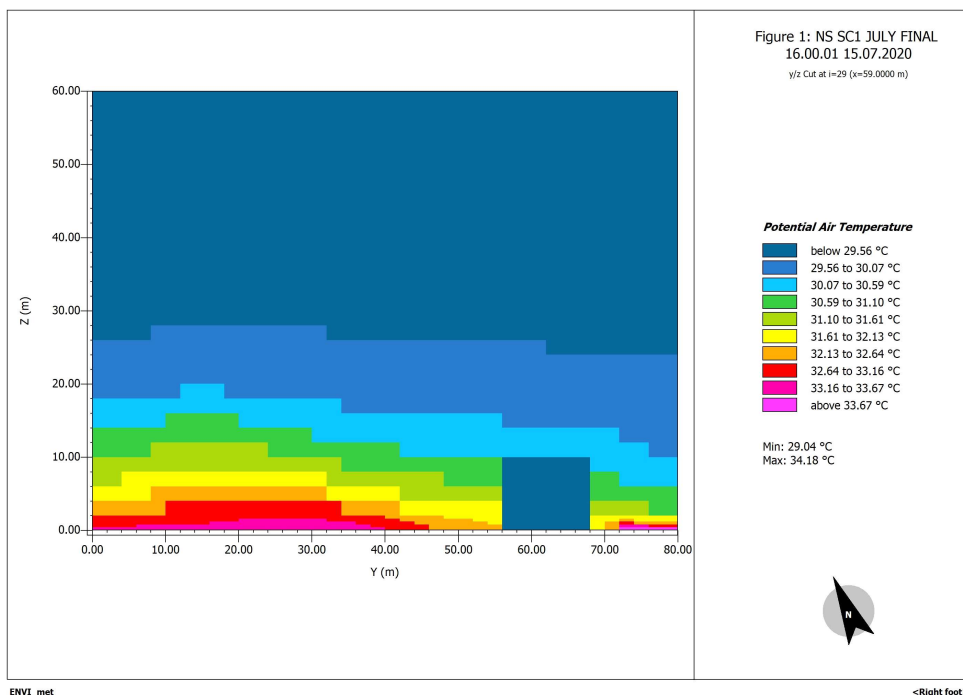


Εικόνα 4-23. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 1.8m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI - met



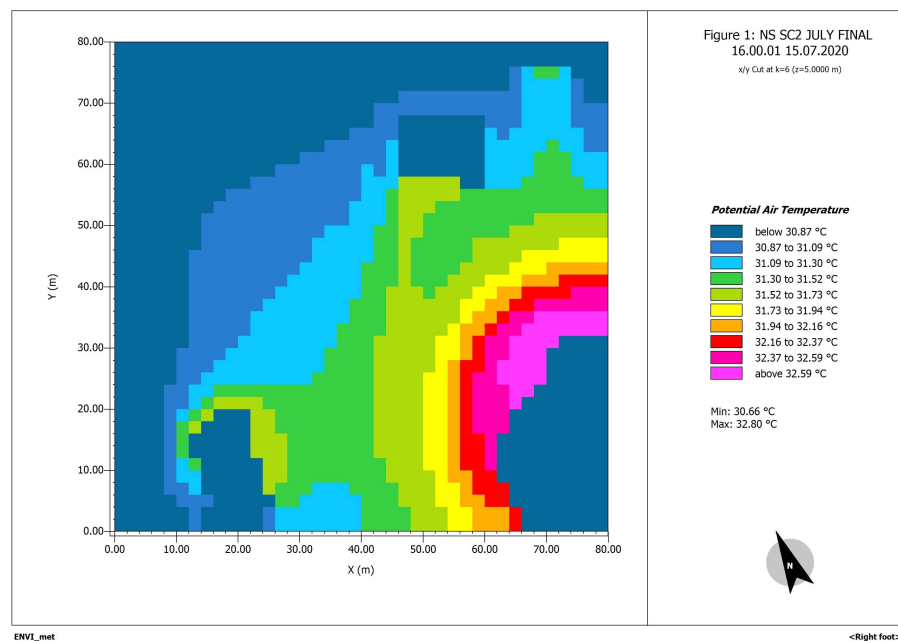
Εικόνα 4-24. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.

Από το διάγραμμα που παρουσιάζει την διακύμανση της θερμοκρασίας καθ' ύψος (εικόνα 4-25) βλέπουμε ότι μετά τα 20μ ύψος, η θερμοκρασία πλέον εξομαλύνεται και δεν παρουσιάζει τις διαφοροποιήσεις που παρατηρήσαμε χαμηλότερα και η οποία προκαλείται λόγω της αστικής μορφολογίας.

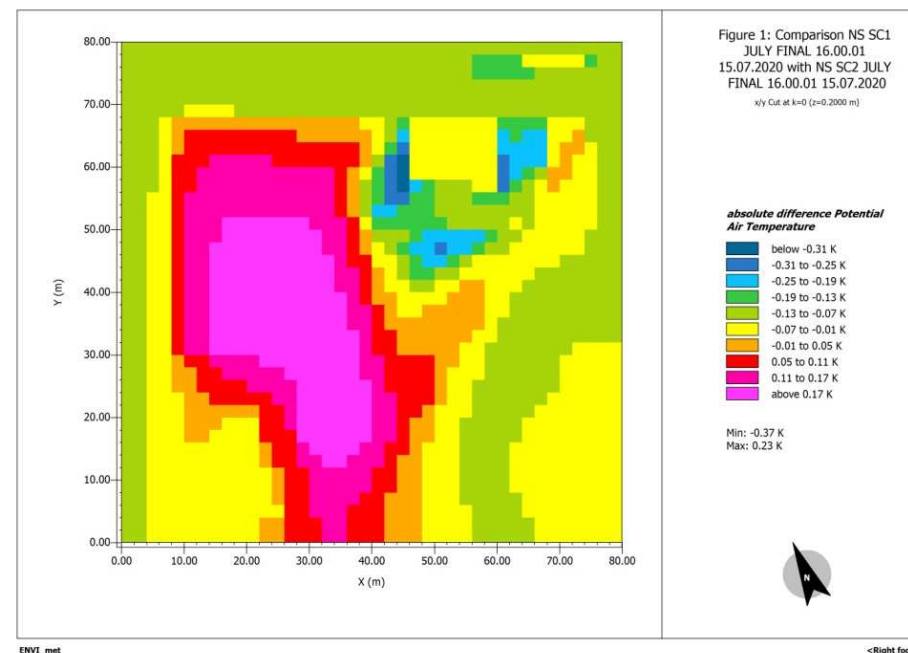


Εικόνα 4-25. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα Ιούλιο. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI - met

4.7.2 SC2- Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά τσιμεντοειδή υλικά.



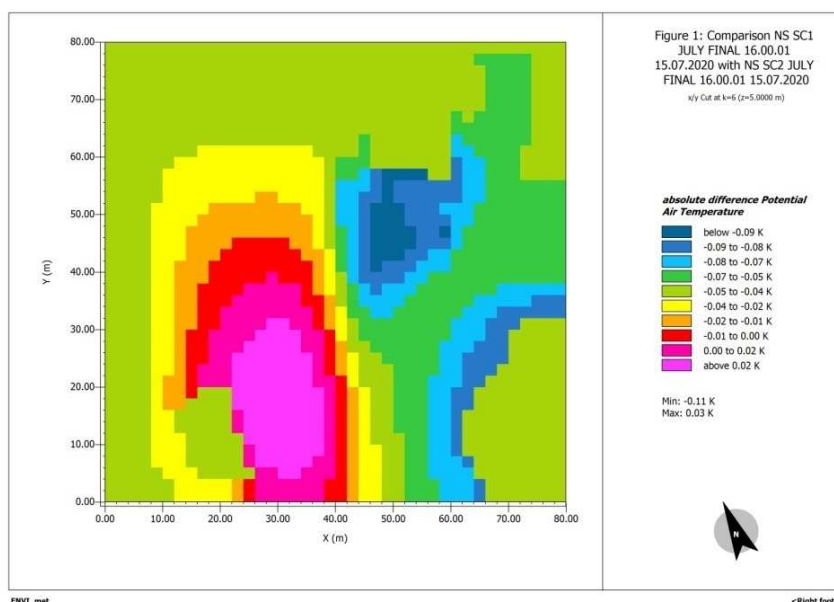
Εικόνα 4-26. Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά υλικά (SC2) Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met



Εικόνα 4-27. Σενάριο πλήρους εδαφοκάλυψης με κοινά τσιμεντοειδή υλικά (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.20m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met

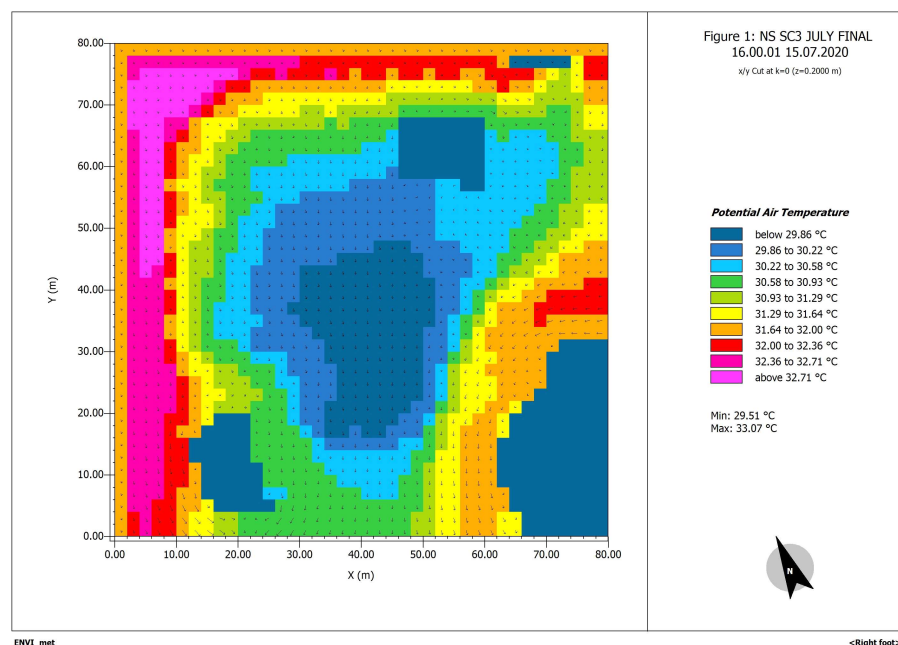
Η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας είναι μικρή μεταξύ των SC1-SC2 (διαγράμματα στις εικόνες 4-26, 4-27, 4-28), της τάξης από 1/10 °C. Η θερμοκρασία εμφανίζεται οριακά μεγαλύτερη στο SC2-αρνητικές τιμές- σε σχέση με το σενάριο υφιστάμενης κατάστασης. Χαμηλότερα στο έδαφος (εικόνα 41), η θερμοκρασιακή διαφοροποίηση είναι λίγο μεγαλύτερη (0.23 °C), αλλά στην περίπτωση μας, που εστιάζουμε στην επίδραση του μικροκλίματος σε ένα κτήριο ύψους 10m, θα εξετάζουμε τις θερμοκρασιακές μεταβολές που επιφέρουν οι επεμβάσεις στο μέσο ύψος του κτηρίου, δηλαδή **στα 5m από το έδαφος**. Ωστόσο, για την αποκόμιση χρήσιμων συμπερασμάτων και ευρύτερης εποπτικής εικόνας των συντελούμενων μικροκλιματικών μεταβολών σε κάθε σενάριο, θα εξεταστούν διαγράμματα σε ύψη 0.2 και 5m από το έδαφος για κάθε σενάριο.

Ένα πρώτο συμπέρασμα, όσον αφορά την χρήση των **υλικών χαμηλού albedo**, είναι ότι δεν επηρεάζουν την θερμοκρασία στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου παρά σε μικρό βαθμό και μόνο σε πολύ χαμηλό ύψος. Οπότε, κατ'έπекταση, η επέμβαση αυτή θα έχει αμελητέα επίδραση και στην ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου, ειδικά όσο το κτήριο ξεπερνάει το ύψος του ισογείου.

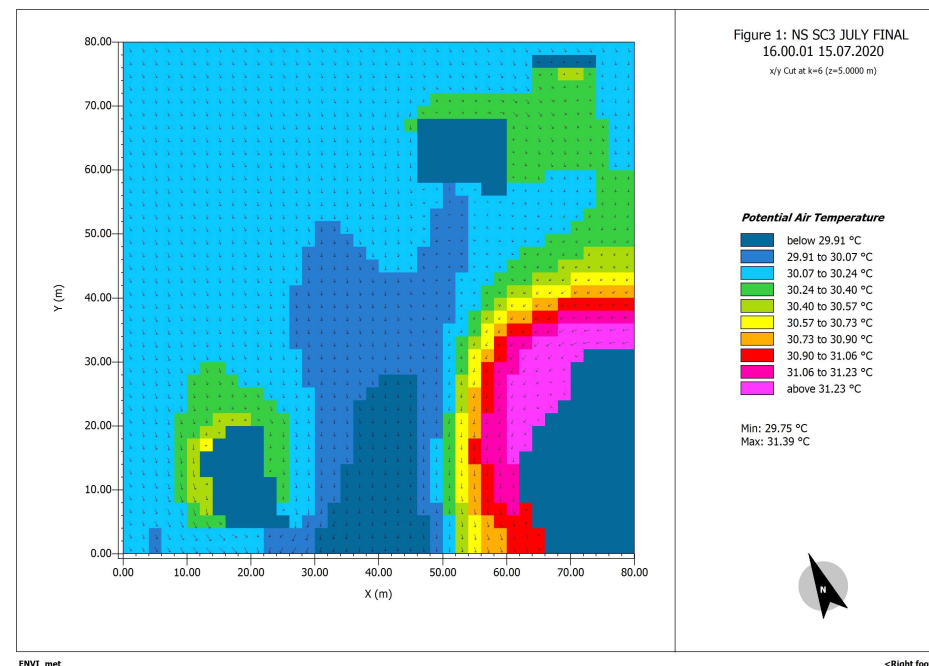


Εικόνα 4-28 Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.

4.7.3 SC3-Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης



Εικόνα 4-29. Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης (SC3). Θερμοκρασία αέρα και διεύθυνση ανέμου για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met



Εικόνα 4-30. Σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης (SC3). Θερμοκρασία αέρα και διεύθυνση ανέμου για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met

Παρατηρώντας τα διαγράμματα στις εικόνες 4-29 & 4-40, που δείχνουν την **διακύμανση της θερμοκρασίας** σε ύψος 0,2 και 5μ αντίστοιχα από το έδαφος (τυπική μέρα Ιουλίου στις 16:00), για το σενάριο πλήρους φυτοκάλυψης SC3, βλέπουμε αρχικά ένα εύρος θερμοκρασιών από 29.51-33.07°C, (διακύμανση 3.56 °C), η οποία σε ύψος 5μ από το έδαφος γίνεται 29.75-31.39 °C (διακύμανση 1.64 °C).

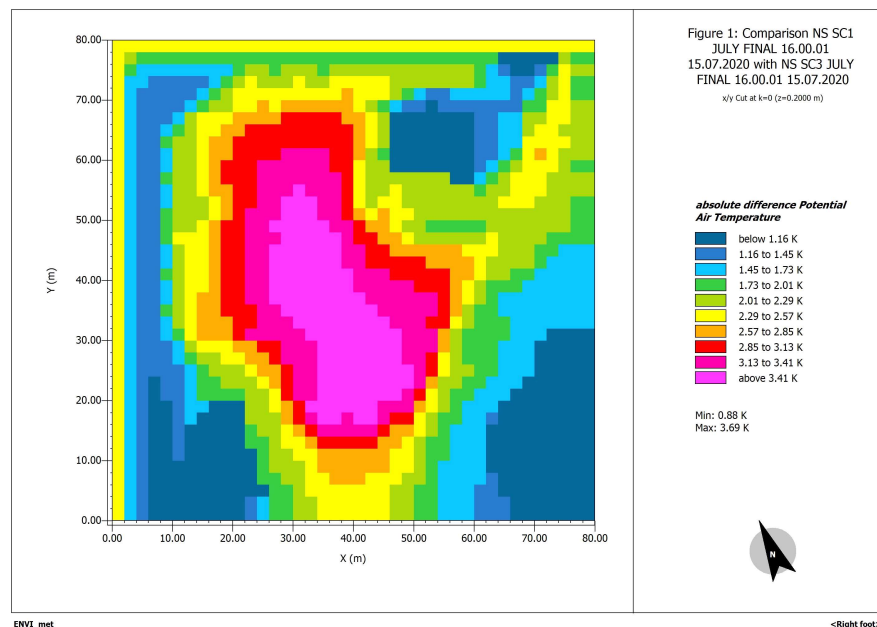
Εντοπίζουμε πάλι την μείωση της θερμοκρασιακής μείωσης όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος, κυρίως όμως αυτό αφορά στην δυτική και βόρεια ζώνη που είναι ανοιχτή από εμπόδια, ενώ η νοτιοανατολική περιοχή γύρω από το υπάρχον ψηλό κτήριο, διατηρεί τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας.

Προσθέτοντας στις ίδιες απεικονίσεις (4-29 & 4-40) τα βελάκια που δείχνουν την **διεύθυνση του ανέμου**, παρατηρούμε ότι, οι κτηριακοί όγκοι (υπό μελέτη κτήριο ύψους 10μ, νοτιοανατολικό ύψους 16μ και νοτιοδυτικό ύψους 6μ), αποτελούν εμπόδια στη ροή του ανέμου, τροποποιώντας τη ροή του. Αντίθετα, τα ίδια τα δέντρα, παρόλο που έχουν παρόμοια και μεγαλύτερα ύψη, επιτρέπουν την διέλευση του ανέμου. Εδώ εντοπίζεται ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό των

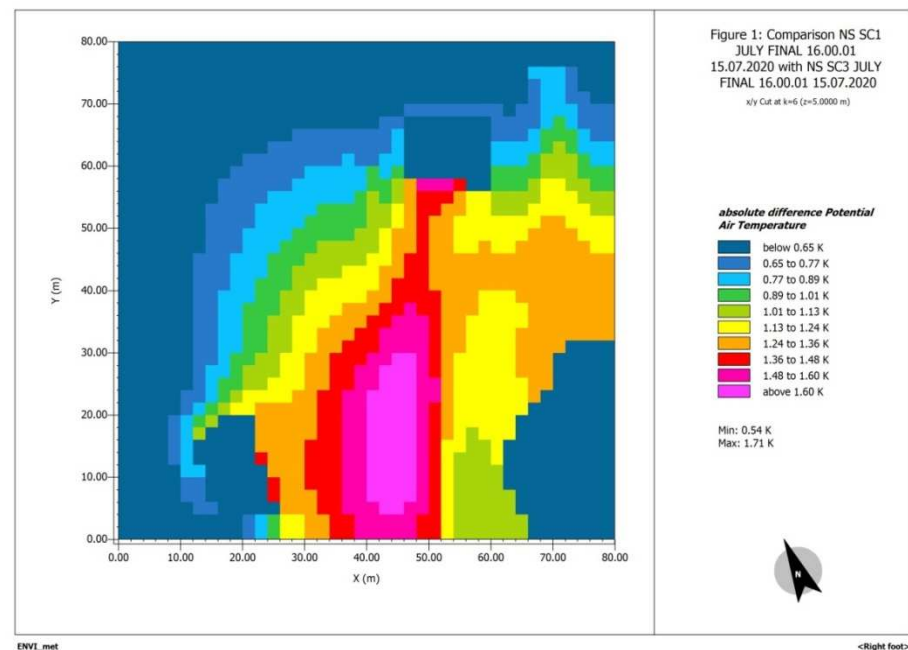
δέντρων, που ενώ το φύλλωμα τους, το οποίο βρίσκεται ψηλότερα και προσφέρει ευνοϊκή σκίαση, ο λεπτός κορμός τους πιο χαμηλά δεν εμποδίζει την δροσιστική επίδραση του ανέμου κατά τους θερμούς μήνες.

Εξετάζοντας τα διαγράμματα που δείχνουν συγκριτικά την διαφοροποίηση της θερμοκρασίας μεταξύ των SC1-SC3 (εικόνες 4-41, 4-42), βλέπουμε ότι επιτυγχάνεται **μείωση της θερμοκρασίας μέχρι και 3.69 βαθμούς** στο εύρος της περιοχής μελέτης. Η διαφορά εντοπίζεται κεντρικά της περιοχής φυτοκάλυψης και απομειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτή. Η διακύμανση αυτή επίσης μειώνεται όσο ανεβαίνουμε σε ύψος, σημειώνοντας μέγιστη τιμή **1.71 βαθμούς σε ύψος 5μ** από το έδαφος (εικόνα 4-32).

Πιο συγκεκριμένα για τις τιμές της θερμοκρασίας γύρω από το κτήριο, παρατηρούμε από το διάγραμμα στην εικόνα 4-31, ότι οι πλευρές του κτηρίου που περιβάλλονται από φύτευση διατηρούν τις χαμηλότερες τιμές της θερμοκρασίας (29.86-30.58), ενώ η βορεινή που δεν έχει φύτευση εμφανίζει μέχρι και 1 °C παραπάνω.

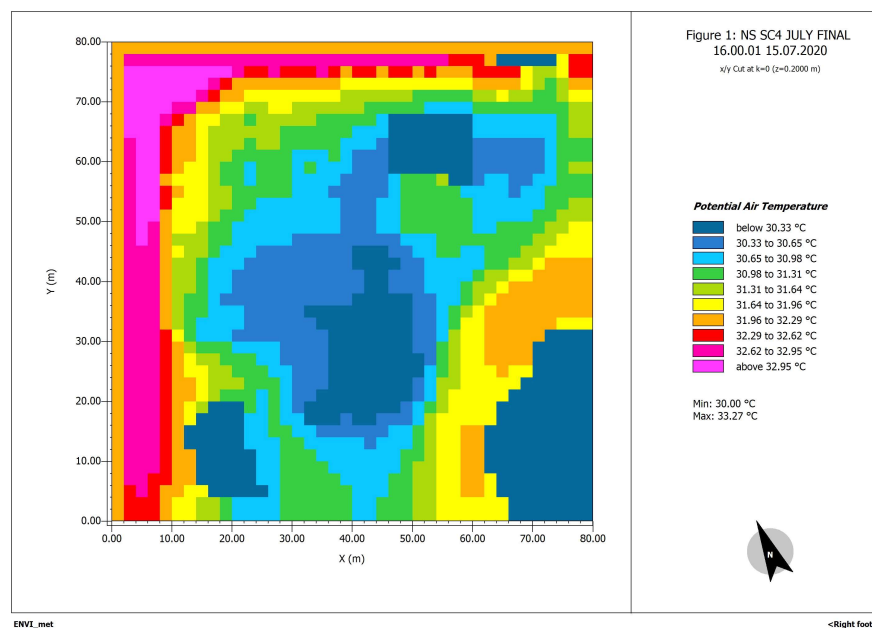


Εικόνα 4-31. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC3, σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.

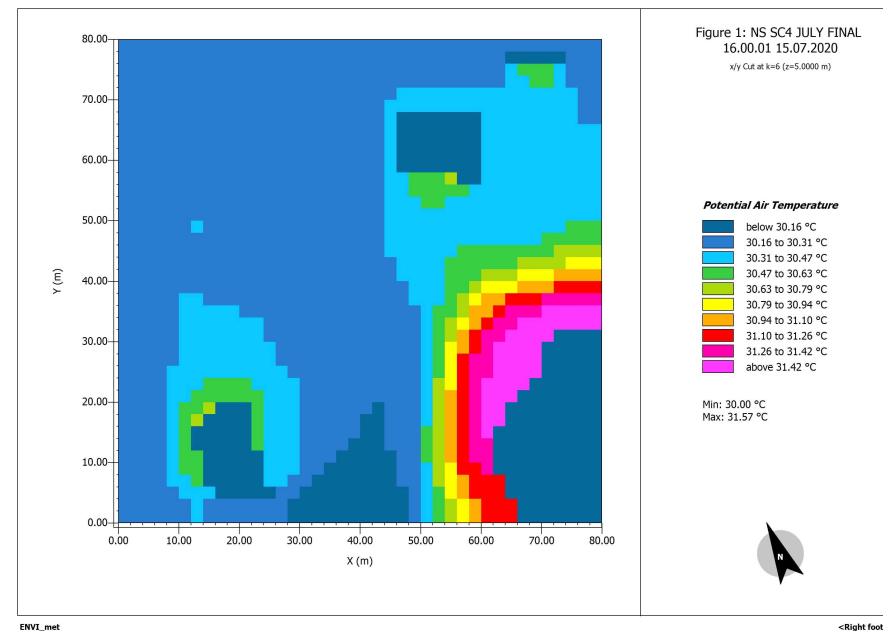


Εικόνα 4-32. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI-met.

4.7.4 SC4-Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% του συνόλου



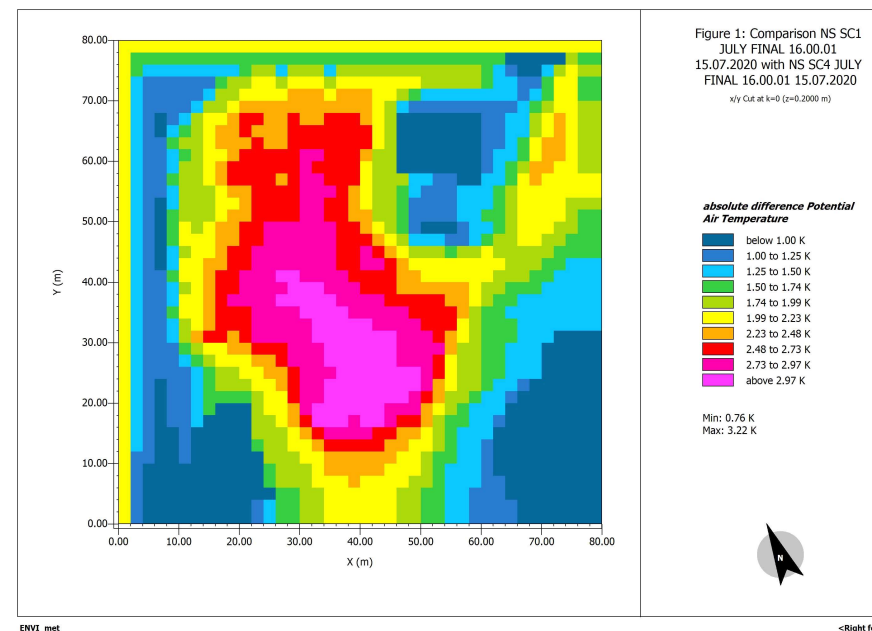
Εικόνα 4-33. Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met



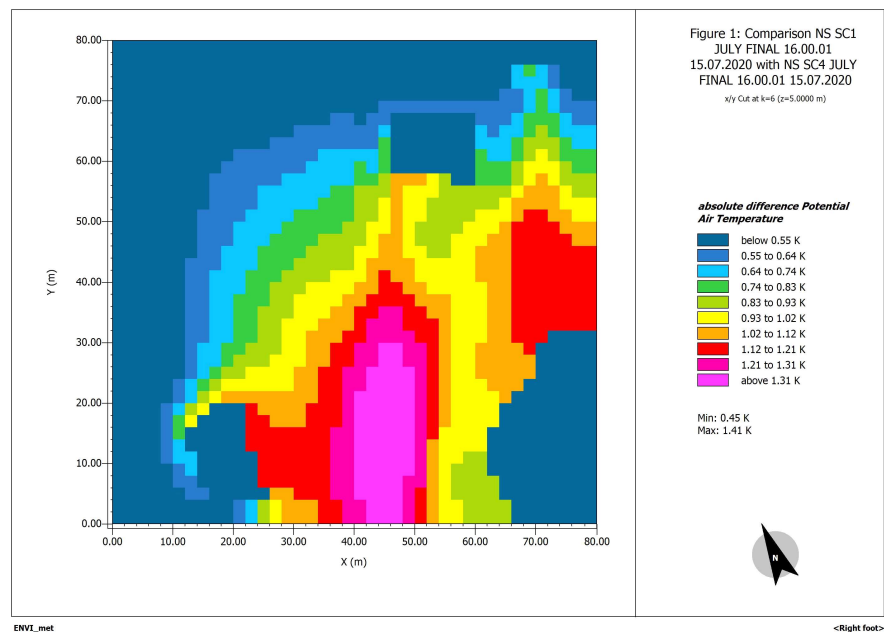
Εικόνα 4-34. Σενάριο φυτοκάλυψης κατά 70% (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met

Στο σενάριο της μερικής φυτοκάλυψης, τα διαγράμματα στις εικόνες 4-433, 4-34, για την τυπική μέρα του Ιουλίου στις 16:00, δείχνουν ότι το εύρος των παρατηρούμενων θερμοκρασιών διατηρείται στα ίδια επίπεδα (διακύμανση 3.27 °C σε ύψος 0.2μ από έδαφος και 1.57 σε ύψος 5μ) με το SC3. Η απουσία του τμήματος της φύτευσης σε σχέση με το SC3, απεικονίζεται στα γραφήματα, αφού μεγαλύτερες θερμοκρασίες (της τάξης του μισού βαθμού), φαίνεται να καλύπτουν πλέον ευρύτερο τμήμα της ανατολικής και δυτικής πλευράς της περιοχής μελέτης. Το κυριότερο είναι ότι επιτυγχάνεται πάλι **μείωση της θερμοκρασίας μέχρι και 3.22 βαθμούς** (εικόνες 4-35, 4-36) συγκριτικά με το SC1. Η διακύμανση αυτή επίσης μειώνεται όσο ανεβαίνουμε σε ύψος, σημειώνοντας μέγιστη τιμή **1.41 βαθμούς σε ύψος 5μ** από το έδαφος (εικόνα 4-37).

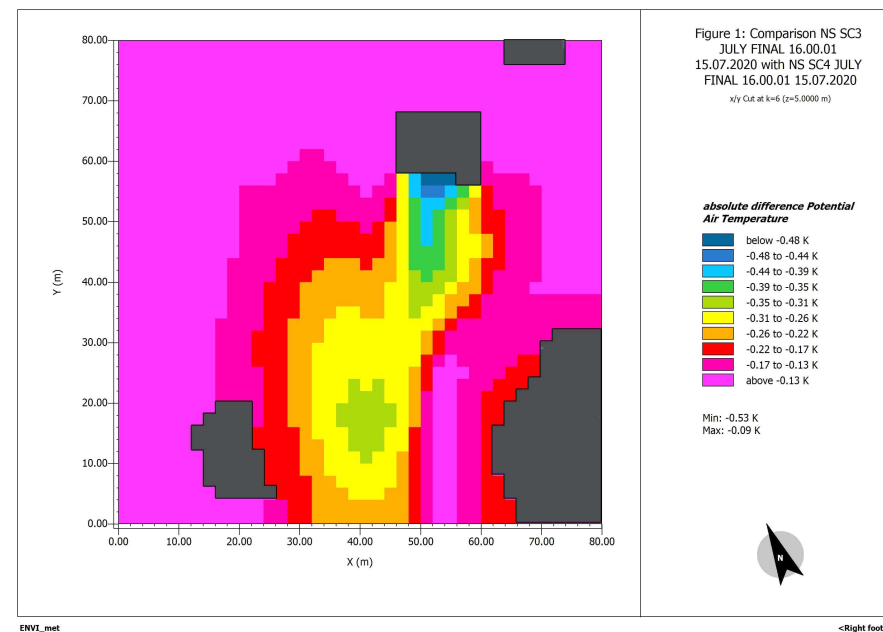
Εξετάζοντας τώρα τις μεταβολές στις θερμοκρασίες μεταξύ των SC3 και SC4 σε ύψος 5μ από το έδαφος, (εικόνα 4-38), βλέπουμε ότι χάνεται μια διόρθωση που είχε επιτευχθεί στο σενάριο της πλήρους φυτοκάλυψης της τάξης του 0,5 °C, κυρίως για την νότια πλευρά, ενώ στις υπόλοιπες, δεν εμφανίζεται σχεδόν καμία διαφορά.



Εικόνα 4-35. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met



Εικόνα 4-36. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met

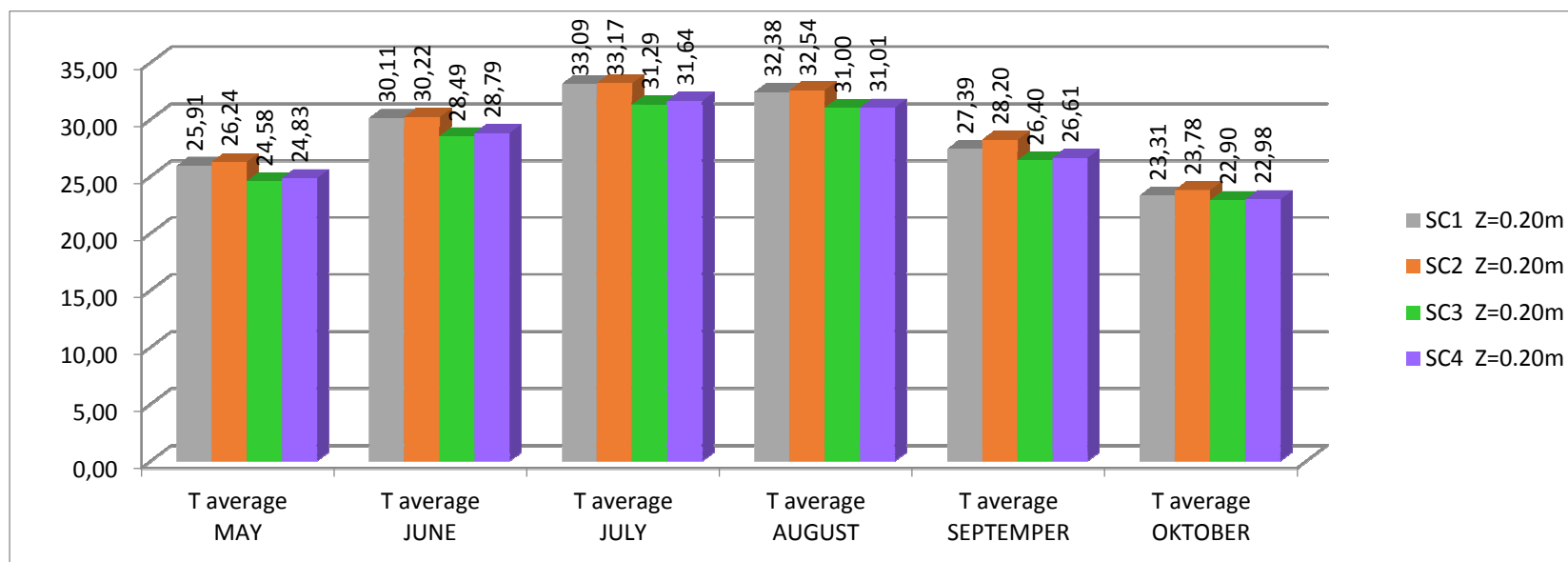


Εικόνα 4-37. Διάγραμμα θερμοκρασιακής διαφοροποίησης μεταξύ SC3-SC4 για τον μήνα Ιούλιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος. Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met.

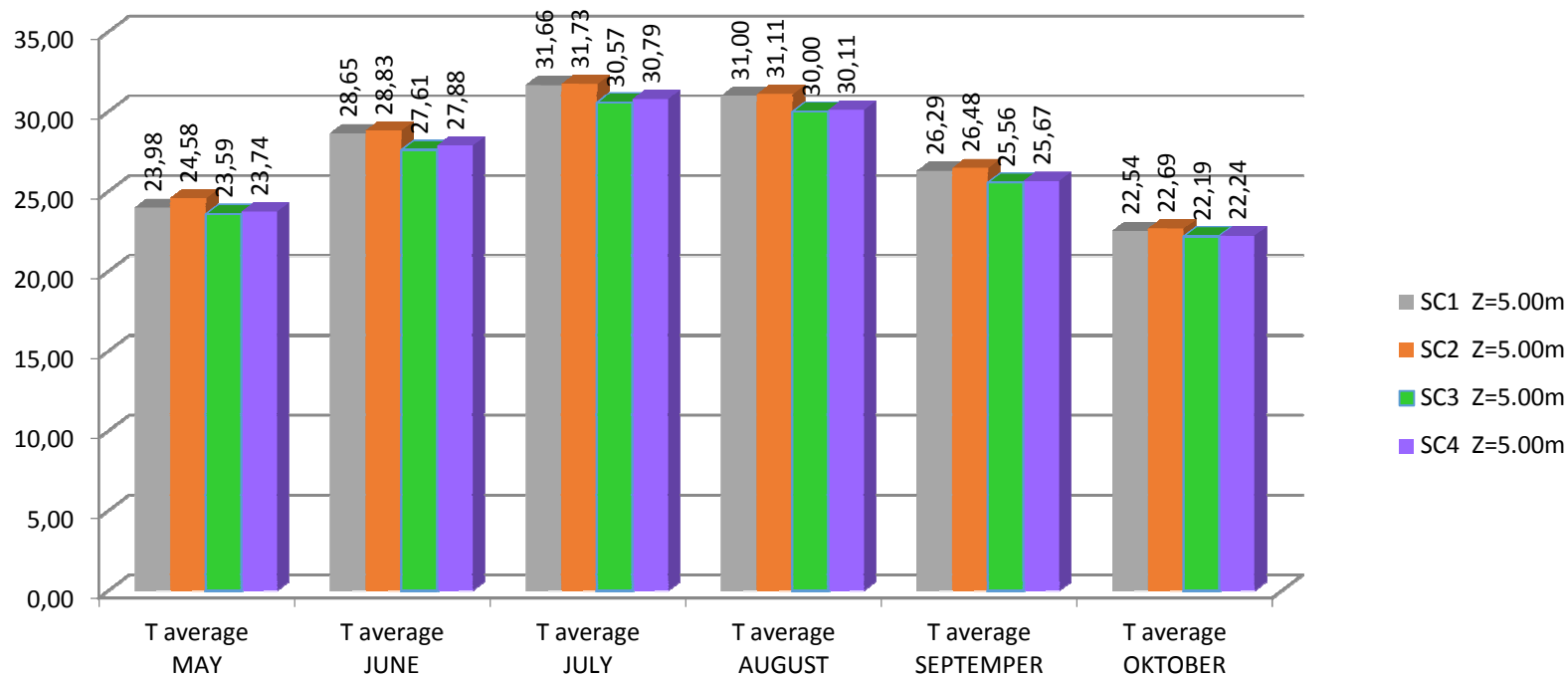
Οι υπόλοιπες διαγραμματικές απεικονίσεις που έχουν εξαχθεί από τις προσομοιώσεις με το πρόγραμμα ENVI – met, προσαρτώνται στο παράρτημα Β.

Η απόλυτη διαφορά στην τιμή της θερμοκρασίας μεταξύ των SC1-SC3, με βάση τις εικόνες 4-31, 4-32, δείχνουν ότι γύρω από το κτήριο η διαφοροποίηση είναι της τάξης των 1-1,7 βαθμούς για την ανατολική και βόρεια πλευρά, ενώ στη νότια και δυτική 1,7-2,3. Σε ύψος 5μ από το έδαφος οι διαφορές αυτές πάλι αμβλύνονται και δεν ξεπερνούν μεσοσταθμικά τους 1.4 °C για τον θερμότερο μήνα (Ιούλιο).

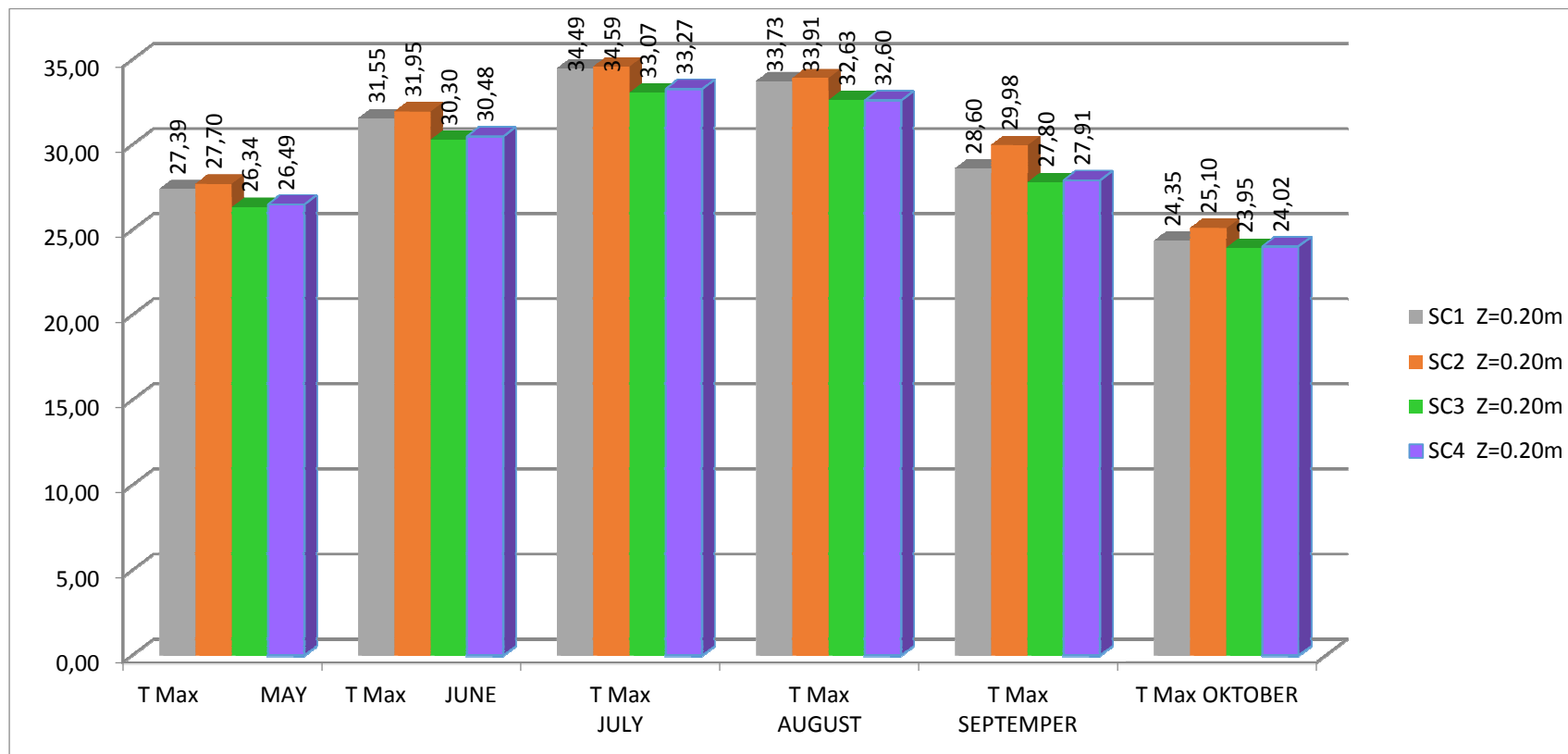
Τα παραπάνω αποτελέσματα εμφανίζονται συγκεντρωτικά στα παρακάτω διαγράμματα στις εικόνες 4-38, 4-39, 4-40, 4-41 .



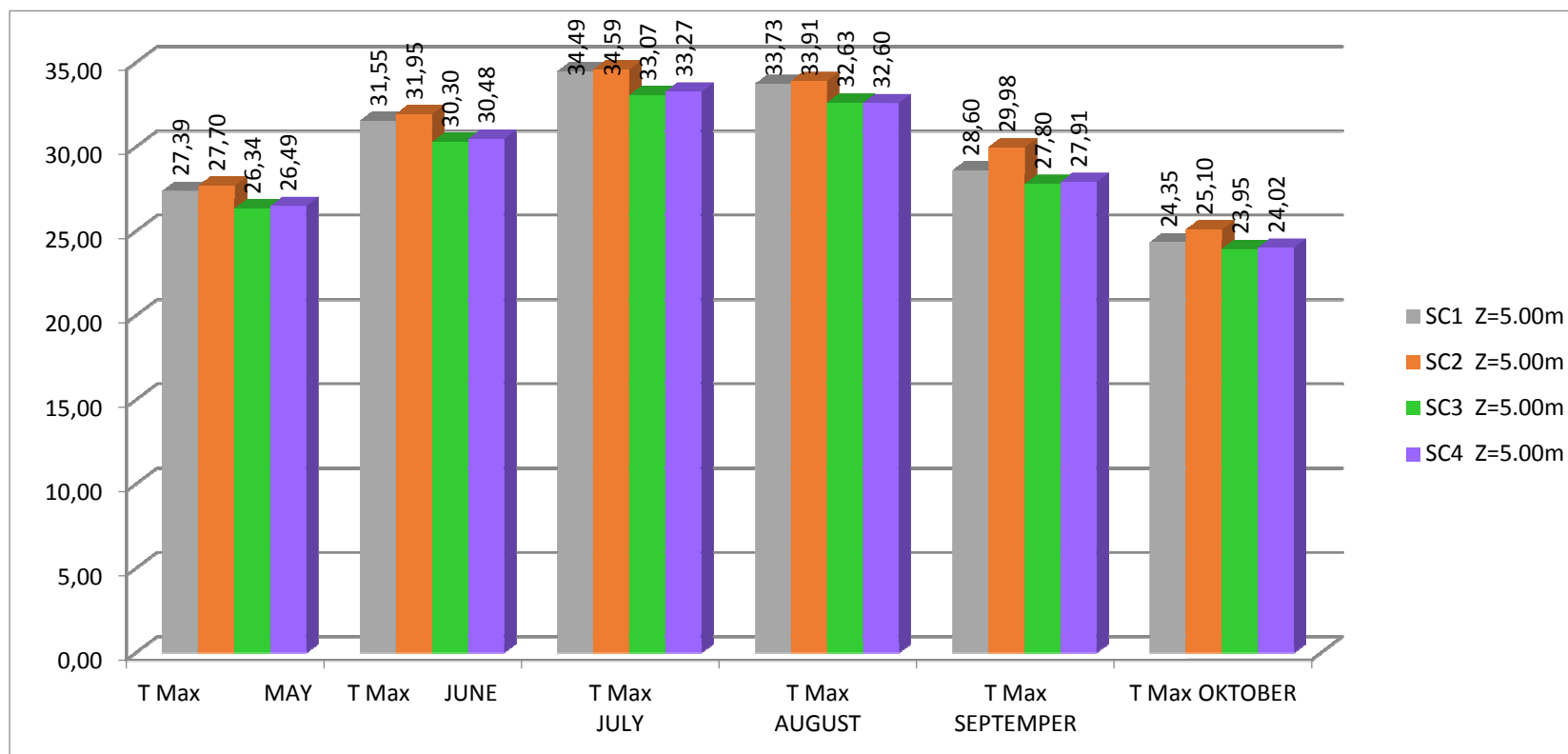
Εικόνα 4-38. Τιμές μέσης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.



Εικόνα 4-39. Τιμές μέσης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.

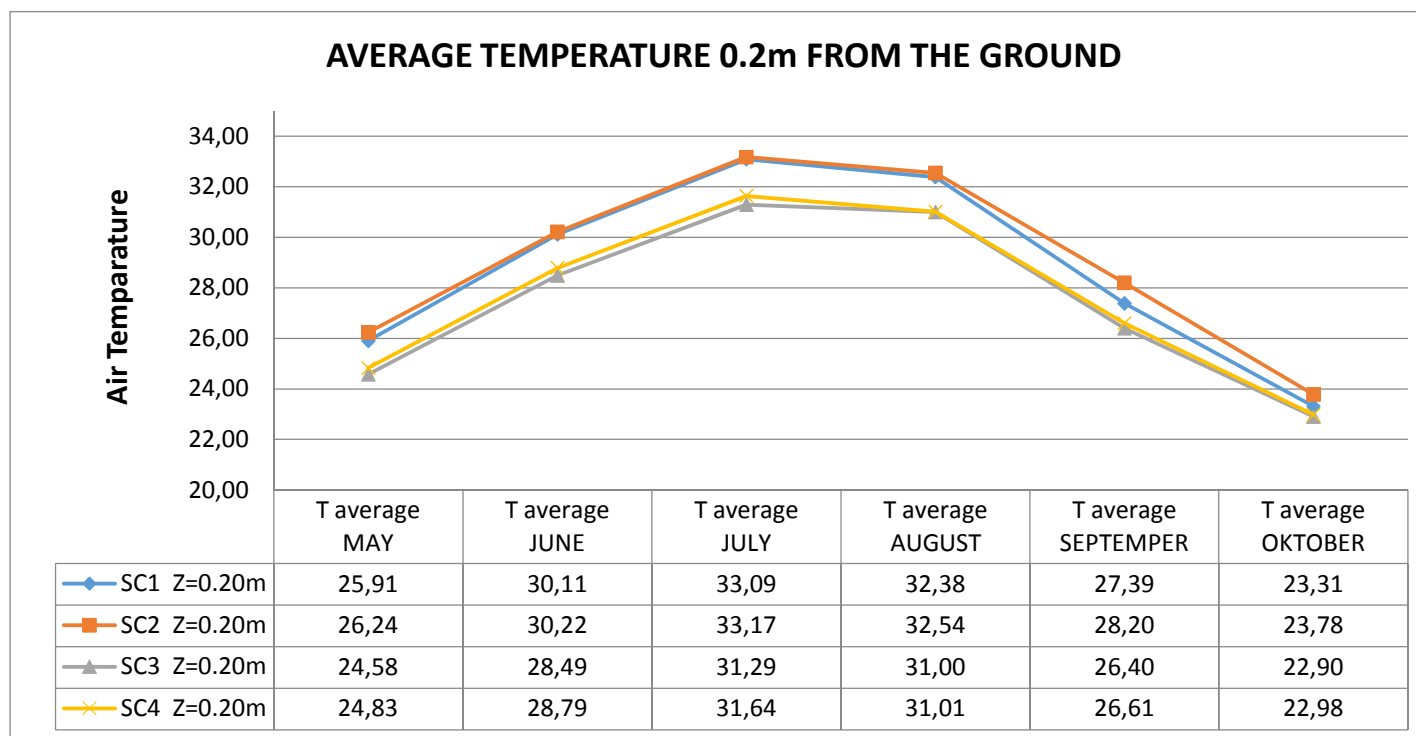


Εικόνα 4-40. Τιμές μέγιστης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.

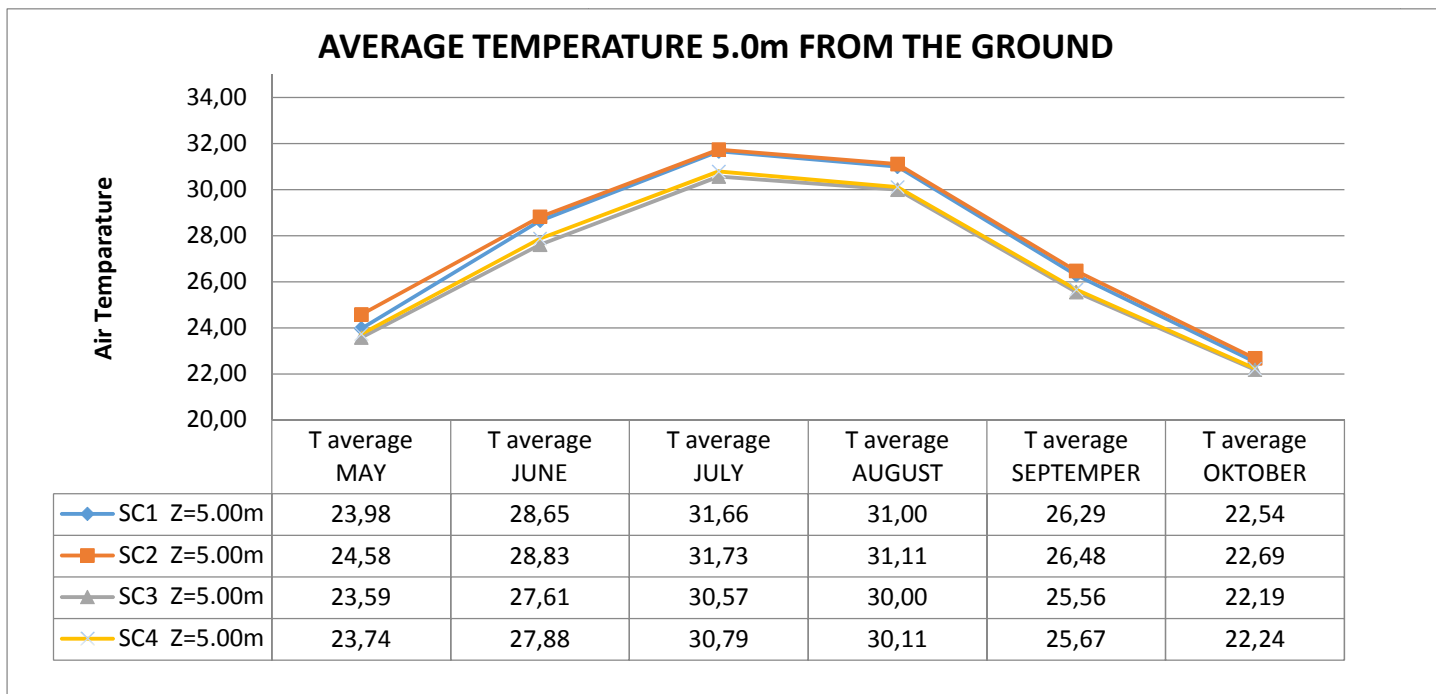


Εικόνα 4-41. Τιμές μέγιστης θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο, ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες, μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων προσομοίωσης, κρίνεται σκόπιμο να δούμε τις μεταβολές στην επιφάνεια του εδάφους σε ύψος 0.2m (εικόνα 4-42) και στη συνέχεια στο ύψος 5μέτρων (πίνακας 4-43) από αυτό. Οι μεταβολές στο ύψος των 5μέτρων αφορούν το μέσο ύψος του κτηρίου, για το οποίο στη συνέχεια θα εκτιμήσουμε την μεταβολή στις ενεργειακές του ανάγκες.



Εικόνα 4-42. Θερμοκρασία αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.



Εικόνα 4-43. Θερμοκρασία αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.

Και στα 2 διαγράμματα το SC2 (επικάλυψη με υλικά χαμηλού albedo), εμφανίζονται οι μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίες αέρα. Ακολουθεί το SC1 (υφιστάμενη κατάσταση αδιαμόρφωτου εδάφους) με οριακά χαμηλότερες τιμές, γεγονός που καταδεικνύει την χαμηλή συνεισφορά των υλικών αυτών στην θερμοκρασιακή διαφοροποίηση. Ακολουθώντας στο SC4 (φυτοκάλυψη 70%), η θερμοκρασία εμφανίζεται συγκριτικά μειωμένη, με τα αποτελέσματα να μεγιστοποιούνται στο SC3 (πλήρης φυτοκάλυψη), φτάνοντας για τον μήνα Ιούλιο τους 1.8 °C.

Differences of Average Temperature between Scenarios			
	SC1-SC2	SC1-SC3	SC1-SC4
MAY	-0.34	1.33	1.08
JUNE	-0.11	1.62	1.33
JULY	-0.08	1.80	1.46
AUGUST	-0.16	1.38	1.37
SEPTEMBER	-0.81	0.99	0.78
OKTOBER	-0.48	0.41	0.33

Πίνακας 4-6. Συγκεντρωτικός πίνακας διαφοροποίησης της θερμοκρασίας αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 0.20m από το έδαφος, ώρα 16:00.

Differences of Average Temperature between Scenarios			
	SC1-SC2	SC1-SC3	SC1-SC4
MAY	-0.60	0.39	0.24
JUNE	-0.18	1.05	0.77
JULY	-0.07	1.09	0.88
AUGUST	-0.11	1.00	0.89
SEPTEMBER	-0.19	0.73	0.63
OKTOBER	-0.15	0.35	0.30

Πίνακας 4-7. Συγκεντρωτικός πίνακας διαφοροποίησης της θερμοκρασίας αέρα ανά μήνα ανά σενάριο σε ύψος 5.00m από το έδαφος, ώρα 16:00.

Από τους πίνακες 4-6 και 4-7, βλέπουμε ότι κατά τους λιγότερους θερμούς μήνες Μάιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, η διαφορά στη θερμοκρασία του αέρα μεταξύ SC1-SC3, είναι από 1.33 μέχρι 0.41 βαθμούς και γίνεται ακόμα μικρότερη όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος. Η διαφορά αυτή μεγαλώνει κατά τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο και μεγιστοποιείται κατά τον Ιούλιο.

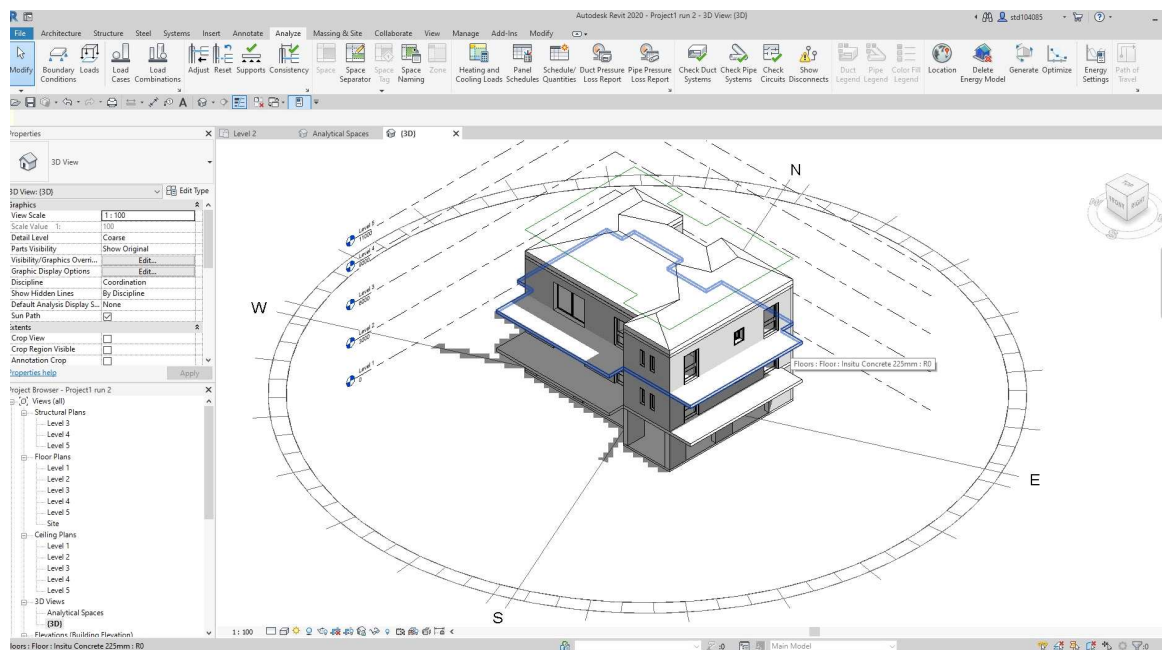
Παρατηρούμε δηλαδή, ότι όσο θερμότερος είναι ο μήνας, όσο δηλαδή αυτός εμφανίζει υψηλότερες καταγεγραμμένες θερμοκρασίες, τόσο μεγαλύτερη θερμοκρασιακή «διόρθωση» επιτυγχάνεται μέσω της προσθήκης των φυτεύσεων, επιβεβαιώνοντας την πεποίθησή μας για την ευεργετική δράση της φύτευσης και ειδικότερα των ψηλών δέντρων στην βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης, ειδικά για περιοχές που οι υψηλές θερμοκρασίες είναι κυρίαρχες.

5 Επίδραση στις Ενεργειακές Απαιτήσεις του Κτηρίου

5.1 Προσομοίωσης Κτηρίου με το πρόγραμμα REVIT- ενεργειακή προσομοίωση με το Green Building Studio

Προκειμένου να υπολογίσουμε την διαφοροποίηση στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου, πριν και μετά τις επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο του οικοπέδου, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του κτηριακού όγκου με το αρχιτεκτονικό πρόγραμμα REVIT.

Με το πρόγραμμα αυτό, γίνεται εισαγωγή κάθε στοιχείου από την οποία συντίθεται το κτήριο (πλάκες, τοίχοι, δάπεδα, στέγες, παράθυρα, πόρτες κτλ), όχι γραμμικά αλλά σε τρισδιάστατη μορφή. Έτσι επιτυγχάνεται χωρική σύνθεση του κτηριακού κελύφους, εξασφαλίζοντας αντίστοιχες δυνατότητες απεικόνισης. (Εικόνα 5-1)



Εικόνα 5-1. Απεικόνιση του κτηριακού όγκου με το αρχιτεκτονικό πρόγραμμα REVIT.

Παράλληλα κάθε στοιχείο, όπως π.χ. οι τοίχοι και τα ανοίγματα, εισάγονται με τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά. Οπότε κάθε τοίχος έχει συγκεκριμένη τιμή θερμικής αντίστασης, θερμοχωρητικότητας, ανακλαστικότητας κτλ και κάθε υαλοστάσιο τις αντίστοιχες τιμές ανάκλασης, διάθλασης κτλ που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς για τον προσδιορισμό των ενεργειακών καταναλώσεων.

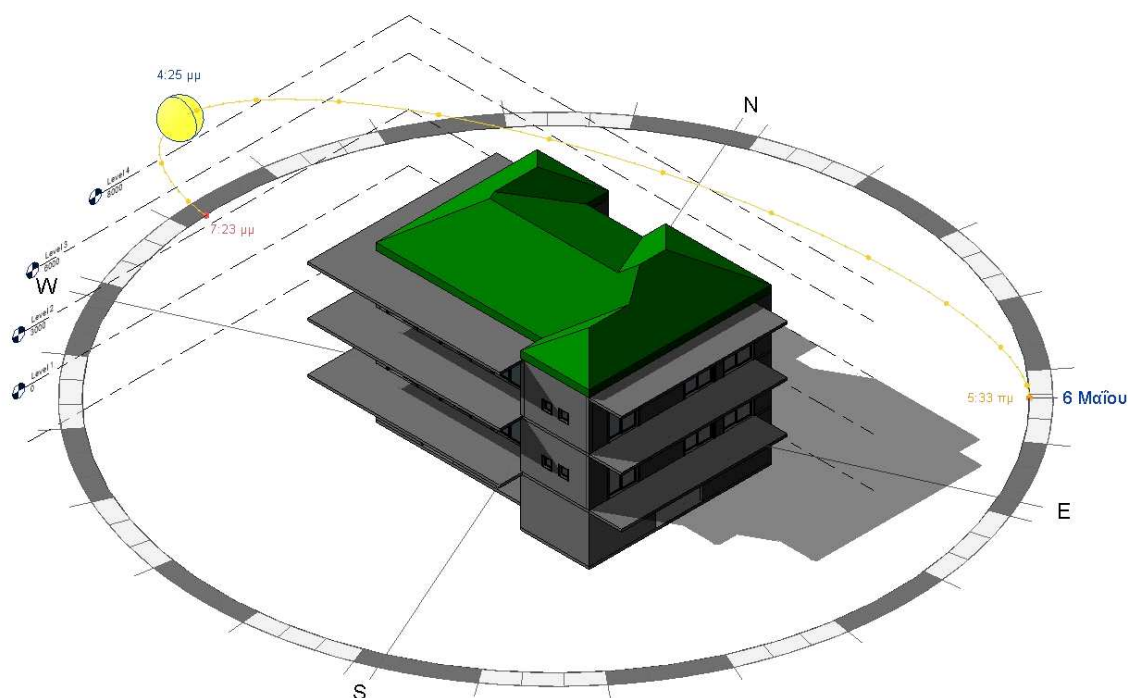
Το κτήριο μελέτης έχει χτιστεί κατά την περίοδο που ίσχυε ο ελληνικός κανονισμός θερμομόνωσης κτηρίων, εντούτοις από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τους ιδιοκτήτες αλλά και την επιτόπου αυτοψία, δεν εντοπίστηκαν στοιχεία θερμομόνωσης επί του κελύφους του. Το δομικά του υλικά αποτελούνται από οπλισμένο σκυρόδεμα και τούβλα, με επικάλυψη σοβά τριών στρώσεων και ανοιχτόχρωμο εξωτερικό χρωματισμό. Τα διαφανή στοιχεία, είναι κατασκευασμένα από συρόμενα κουφώματα αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπές με μονά υαλοστάσια. Οπότε οι τιμές των θερμικών αντιστάσεων (U) των στοιχείων του κελύφους, επιλέχθηκαν για να ταιριάζουν στις παραπάνω συνθήκες.

Η κτηριακή μονάδα στη οποία λαμβάνει χώρα η ενεργειακή προσομοίωση αφορά στο δεύτερο επίπεδο του κτηρίου, το δάπεδο του οποίου βρίσκεται σε ύψος 3μ από το έδαφος και η οροφή του στα 6μ, σε μια επιφάνεια 120τ.μ. Συγκεντρωτικά τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 6-1.

Building Thermal Properties		
total height	10	m
thermal zone height	3-6	m
thermal zone size	120	m ²
Walls Heat Transfer Coefficient (U)	3.48	W/(m ² *K)
Floor Heat Transfer Coefficient (U)	4.41	W/(m ² *K)
Roof Heat Transfer Coefficient (U)	0.57	W/(m ² *K)
Doors Heat Transfer Coefficient (U)	3.13	W/(m ² *K)
Windows Heat Transfer Coefficient (U)	3.68	W/(m ² *K)
Type of Heat & Cooling system	2 pipe Fan coil system with pump	

Πίνακας 5-1. Δεδομένα θερμικής ζώνης και κελύφους για την ενεργειακή προσομοίωση με το πρόγραμμα REVIT- Green Building Studio.

Το ίδιο το κτήριο, τοποθετείται προσανατολισμένο με βάση την πραγματική του θέση στο οικόπεδο, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια η πορεία του ήλιου στην διάρκεια της ημέρας, για κάθε διαφορετική ημέρα στην διάρκεια του έτους, για την θέση που εντοπίζεται το κτήριο στην υδρόγειο. Η δυνατότητα αυτή δημιουργεί ένα δυναμικό μοντέλο που υπολογίζει σε ‘πραγματικό’ χρόνο τις δημιουργούμενες σκιάσεις με βάση την κίνηση του ήλιου στον ορίζοντα. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται με ακρίβεια τα ποσά των ηλιακών προσόδων που εισέρχονται από τα διαφανή στοιχεία του κελύφους στο εσωτερικό του κτηρίου ή προσπίπτουν στα αδιαφανή στοιχεία και ανακλώνται. (Εικόνα 5-2).

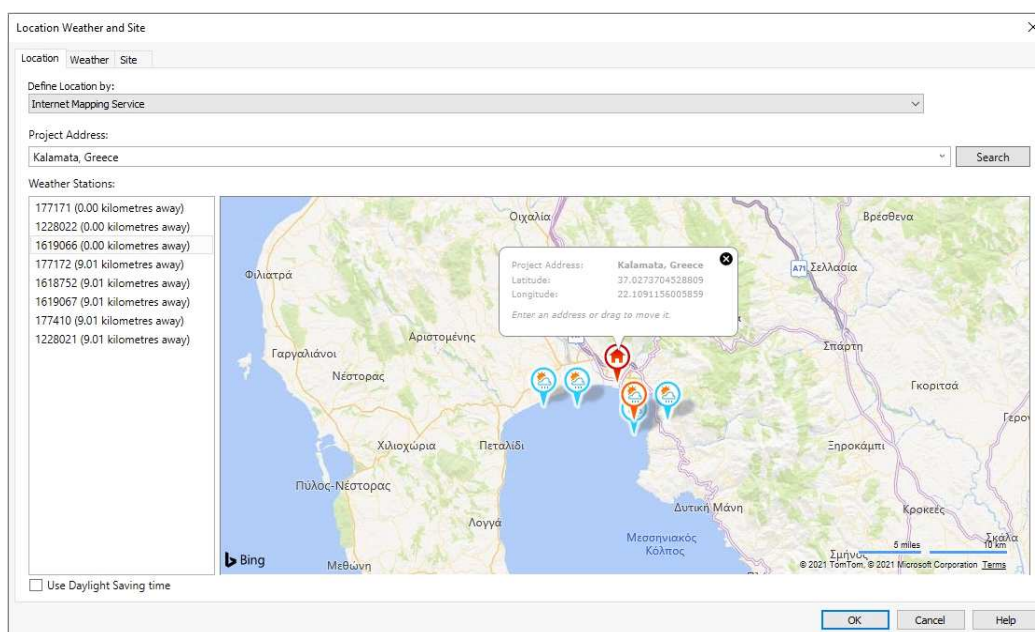


Εικόνα 5-2. Απεικόνιση της πορείας του ήλιου στον ορίζοντα και των πραγματοποιούμενων σκιάσεων με βάση την γεωμετρία και θέση του κτηρίου με το αρχιτεκτονικό πρόγραμμα REVIT.

5.2 Σενάρια ενεργειακής προσομοίωσης και αποτελέσματα

Για το πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης, η γεωγραφική θέση του οικοπέδου ορίζεται με σχετική ακρίβεια, με βάση την πόλη που βρίσκεται το οικόπεδο (Εικόνα 5-3) και αντίστοιχα ορίζεται ο μετεωρολογικός σταθμός από τον οποίο αντλούνται τα βασικά δεδομένα στο πρόγραμμα.

Οι ενεργειακές προσομοιώσεις γίνονται για την αρχική κατάσταση, δηλαδή το SC1 και για το SC3-πλήρους φυτοκάλυψης. Η επιλογή γίνεται με βάση ότι στο SC3 έχουμε τη μεγαλύτερη θερμοκρασιακή μεταβολή σε σχέση με το αρχικό, όπως φαίνεται και στους πίνακες 4-6 και 4-7.



Εικόνα 5-3. Ορισμός θέσης οικοπέδου και μετεωρολογικού σταθμού στο πρόγραμμα REVIT.

Στον πίνακα τιμών προεπιλογής του προγράμματος (πίνακας 5-2) εισάγονται οι τιμές των θερμοκρασιών που έχουμε από την προσομοίωση μικροκλίματος της υφιστάμενης κατάστασης SC1, για τους μήνες από Μάιο μέχρι Οκτώβριο και γίνεται η πρώτη ενεργειακή προσομοίωση με το Green Building Studio. Το πρόγραμμα μας ζητάει τις **μέγιστες** εμφανιζόμενες τιμές που αντιστοιχούν στο **Dry Temperature**, οι οποίες συνοψίζονται στον πίνακα 5-3.

Στη συνέχεια αλλάζουμε τις τιμές των θερμοκρασιών (Dry Bulb) για το θερμό εξάμηνο του έτους, με βάση τις τροποποιημένες μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας που εξήχθησαν από το σενάριο της πλήρους φυτοκάλυψης (SC3), τροποποιώντας αντίστοιχα το **Mean Daily Range** και τρέχουμε το πρόγραμμα ξανά. Να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα έχει τον περιορισμό, οι τιμές να εισαχθούν στρογγυλοποιημένες σε ακέραια νούμερα.

Location Weather and Site

Location Weather Site

☐ Use HVAC design data from weather station (177172_2006)

Cooling Design Temperatures

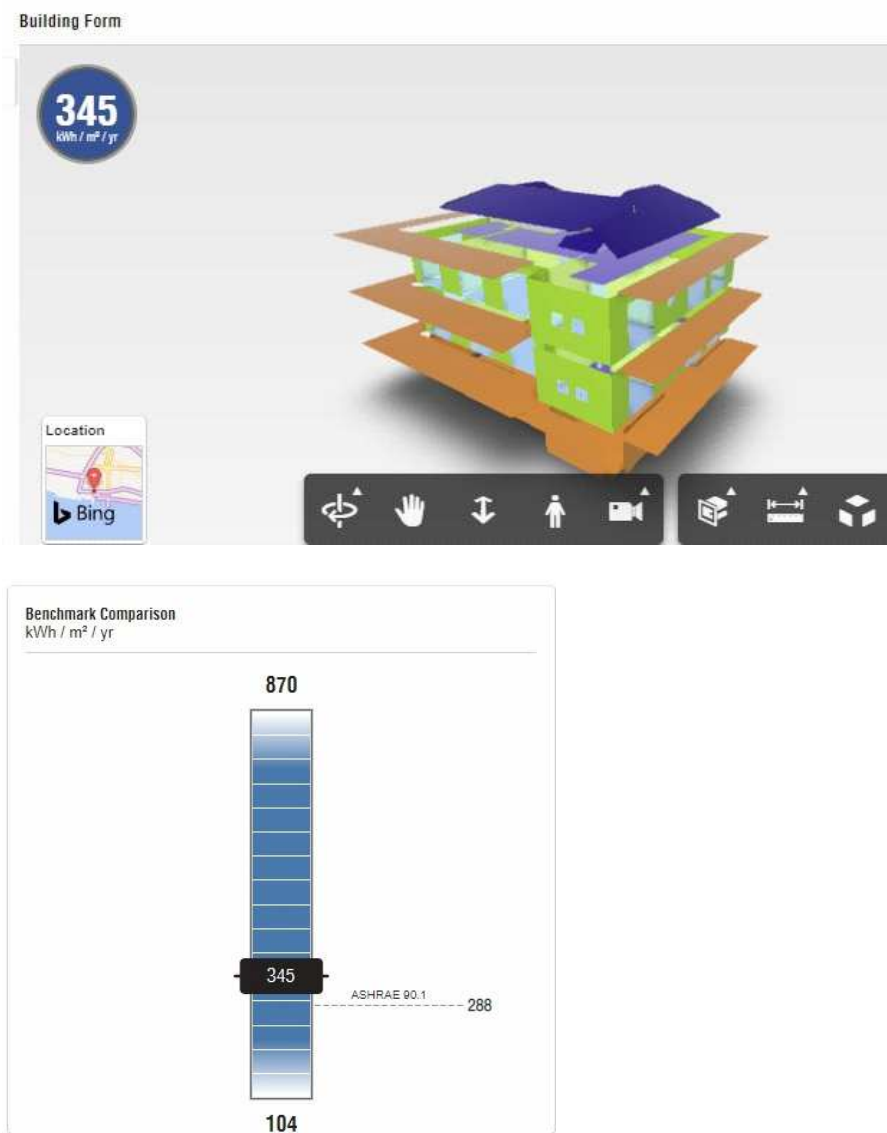
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb	15 °C	17 °C	20 °C	24 °C	27 °C	32 °C	35 °C	34 °C	30 °C	25 °C	21 °C	18 °C
Wet Bulb	9 °C	12 °C	12 °C	16 °C	19 °C	20 °C	18 °C	21 °C	20 °C	18 °C	17 °C	13 °C
Mean Daily Range	10 °C	10 °C	12 °C	14 °C	15 °C	15 °C	14 °C	16 °C	13 °C	12 °C	14 °C	13 °C

Πίνακας 5-2. Πίνακας τιμών θερμοκρασίας στο πρόγραμμα REVIT

Υφιστάμενη Κατάσταση -SC1			Σενάριο Πλήρους Φυτοκάλυψης-SC3		
	Θερμοκρασία Ta			Θερμοκρασία Ta	
Month	Ta max		Month	Ta max	
	(Dry Bulb)	(Mean Daily Range)		(Dry Bulb)	(Mean Daily Range)
Jan	15	10	Jan	15	10
Feb	17	10	Feb	17	10
Mar	20	12	Mar	20	12
Apr	24	14	Apr	24	14
May	27	15	May	26	14
Jun	32	15	Jun	31	14
Jul	35	14	Jul	33	13
Aug	34	16	Aug	33	15
Sep	30	13	Sep	29	12
Oct	25	12	Oct	25	12
Nov	21	14	Nov	21	14
Dec	18	13	Dec	18	13

Πίνακας 5-3. Πίνακας τιμών θερμοκρασιών αρχικής κατάστασης και SC3 για την εισαγωγή στο πρόγραμμα REVIT

Από την πρώτη προσομοίωση με το Green Building Studio υπολογίστηκε ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου είναι **345kwh/m²/y**.



Εικόνα 5-4. Ενεργειακή κατανάλωση κτηρίου με Green Building Studio για το σενάριο αρχικής κατάστασης (SC1).

Κατά την 2η προσομοίωση με τις τροποποιημένες τιμές του SC3, η βελτίωση στην ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου ήταν αμελητέα, σε αντίθεση με αντίστοιχες ερευνητικές προσεγγίσεις (Tsoka, 2019), (Liao, Cheng, & Hwang, 2015), (Shahidan, et al.,

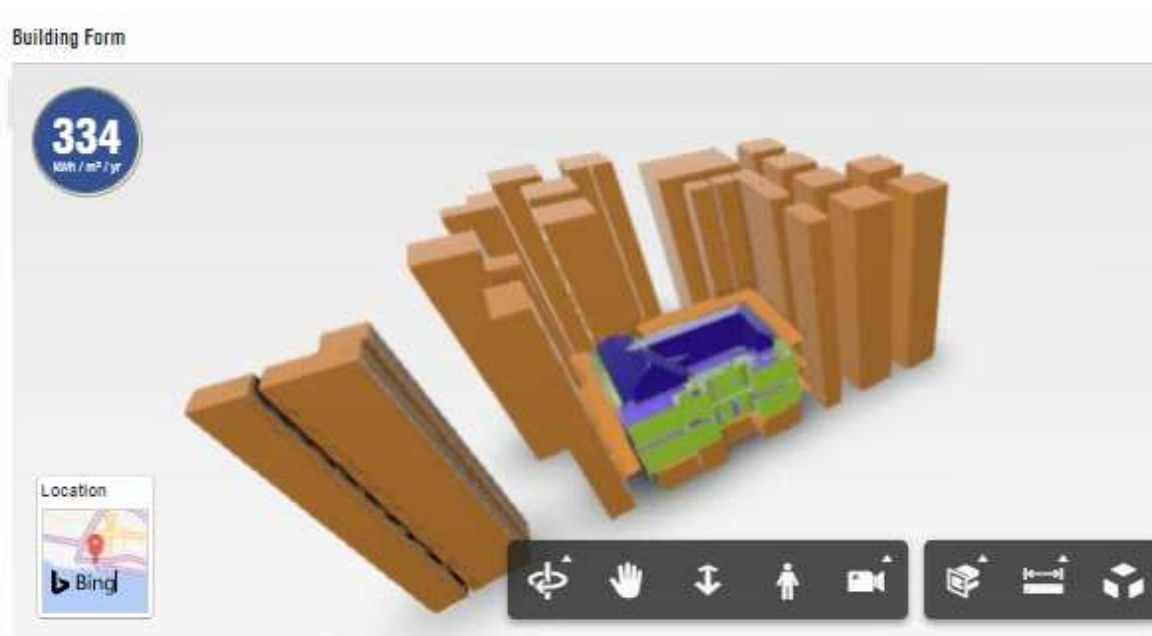
2012), όπου θερμοκρασιακές μεταβολές της τάξης των 2-3 °K, οδήγησαν σε αξιοσημείωτες ενεργειακές διαφοροποιήσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, το πρόγραμμα αυτό (REVIT-Green Building Studio) υπολογίζει αρχικά τη μέση ενεργειακή κατανάλωση, καθώς και το εύρος που αυτή μπορεί να διαφοροποιηθεί, τροποποιώντας επιμέρους διάφορα στοιχεία του κελύφους ή των μηχανολογικών συστημάτων. Στην εικόνα 5-4, βλέπουμε ότι ενώ η μέση κατανάλωση είναι 345kwh/m², αν αλλάξουμε π.χ τον προσανατολισμό του κτηρίου, τα U των τοίχων, το μέγεθος των ανοιγμάτων ή τις σκιάσεις τους, την μέθοδο φωτισμού ή τα μηχανολογικά συστήματα, αυτή μπορεί να κυμανθεί από 104 μέχρι 870 kwh/m². Όλα όμως τα παραπάνω δεδομένα παραμένουν αναλλοίωτα μεταξύ των δυο εξεταζόμενων σεναρίων, καθώς η διαφορά η οποία διερευνάται, εστιάζει στην αλλαγή των κλιματικών παραμέτρων του περιβάλλοντος χώρου. Πιθανόν, οι μικρές μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων, να μην λαμβάνονται επαρκώς από το συγκεκριμένο λογισμικό.

Εκπονήθηκε ένα ακόμα σενάριο ενεργειακής προσομοίωσης κατά το οποίο, πέρα από την μεταβολή των θερμοκρασιών, έγινε τοποθέτηση των ίδιων των όγκων των δέντρων, ως στοιχεία σκίασης, στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου, στη θέση και το ύψος που καταλαμβάνουν στην περιοχή, όπως αυτά τοποθετήθηκαν και στο ENVI-MET (εικόνα 5-5). Έτσι ενώ στο αρχικό σενάριο (SC1) δεν είχαμε δέντρα, στο (SC3) υπάρχουν, οπότε και τα τοποθετήσαμε στην ενεργειακή προσομοίωση ως αντικείμενα. Σε αυτό το εναλλακτικό σενάριο παρατηρήθηκε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά **11kwh/m²/y** και το κτήριο πλέον παρουσίασε μέση κατανάλωση **334 kwh/m²/y**.

Εδώ, αντιλαμβανόμαστε τον δραστικό ρόλο που παίζουν τα δέντρα ως εμπόδια στην προσπίπτουσα ακτινοβολία, μέσω των σκιασμών που προκαλούν στο κτηριακό κέλυφος. Ενώ δηλαδή η θερμοκρασιακή μεταβολή (της τάξης του 1 °C, σε ύψος 5μ) δεν εμφάνισε μεταβολές στις ενεργειακές καταναλώσεις, οι **σκιασμοί που επέφεραν τα δέντρα** και το φύλλωμά τους, ήταν ουσιαστική για να επιτευχθεί μια πρώτη απομείωση (εικόνα 5-6). Η υψηλή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και ο ελλιπής σκιασμός των κτηρίων, αποτελούν παράγοντες που έχουν επισημανθεί ως καταλυτικές στις ενεργειακές απαιτήσεις, από

προγενέστερες έρευνες, όπως αυτή των (Grimme & Laar, 2005), (Shashua-Bar & Hoffman, 2000) κ.α.



Εικόνα 5-5. Απεικόνιση κτηρίου και δεντροστοιχιών με το Green Building Studio για το SC3.



Εικόνα 5-6. Ενεργειακή κατανάλωση κτηρίου με το Green Building Studio για το σενάριο πλήρους φύτευσης (SC3) μετά και την τοποθέτηση των δέντρων.

Τα αποτελέσματα στην διαφορά των ενεργειακών καταναλώσεων, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα 5-4.

Building energy consumption (kwh/m2/y)			
		Difference	
SC1	345		
SC3	334	11	3,19%

Πίνακας 5-4. Σύγκριση τιμών ενεργειακών καταναλώσεων με το Green Building Studio μεταξύ SC1-SC3

Δεν έγινε περαιτέρω ανάλυση για τα σενάρια SC2 και SC4, για τα οποία πραγματοποιήθηκε προσομοίωση μικροκλίματος, λόγω των πολύ μικρών διαφορών που αυτά επέφεραν στις απόλυτες θερμοκρασιακές μεταβολές.

5.3 Συμπεράσματα και προβληματισμοί από την ενεργειακή προσομοίωση

Αρκετές αδυναμίες εντοπίστηκαν στην προσομοίωση με το πρόγραμμα REVIT και το Green Building Studio. Βασική αδυναμία είναι ότι δέχεται μόνο στρογγυλοποιημένες τιμές θερμοκρασίας σε ακέραια νούμερα, οπότε δεν υπήρχε η δυνατότητα να εισαχθούν οι τιμές με ακρίβεια (δεύτερο δεκαδικό) που υπολογίστηκαν αναλυτικά από τις προσομοιώσεις με το ENVI-MET. Ο περιορισμός αυτός ίσως δείχνει και τον προσανατολισμό του προγράμματος στην εξειδίκευση άλλων παραγόντων στις καταναλώσεις (μονώσεις, μηχανολογικά συστήματα, κτλ), πέραν της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αφού αυτή υπεισέρχεται ως απόλυτο δεδομένο από τους επιλεγμένους μετεωρολογικούς σταθμούς.

Αξίζει ίσως να αναφερθεί ότι έγινε προσπάθεια να γίνει χρήση και του λογισμικού του Ελληνικού ΤΕΕ-Κενακ ως μηχανή ενεργειακής προσομοίωσης. Επίσης εκεί, διαπιστώθηκε καθολική αδυναμία τροποποίησης των συνθηκών των κλιματικών παραγόντων. Η μεταβολή στις θερμοκρασιακές συνθήκες θα μπορούσε να επιτευχθεί,

μόνο στην περίπτωση που «μεταφερόταν» το κτήριο σε άλλη πόλη, με παρόμοιες θερμοκρασίες με αυτές των τροποποιημένων σεναρίων.

Ένας ακόμα περιορισμός που υπήρξε με την επιλογή του REVIT και την μηχανή ενεργειακής προσομοίωσης, είναι η μη δυνατότητα υπολογισμού αλλά και απεικόνισης των ενεργειακών καταναλώσεων ξεχωριστά για ψύξη και θέρμανση. Αυτό στέρησε την δυνατότητα να έχουμε εικόνα της διαφοροποίησης στην κατανάλωση ενέργειας καθαρά για τις ανάγκες σε δροσισμό, στην οποία είχε εστιάσει εξ αρχής η μελέτη. Ενώ αυτή η δυνατότητα υπήρχε αρχικά στο πρόγραμμα, ανακαλύψαμε ότι διαφοροποιήθηκε τα 2 τελευταία έτη, χωρίς να μπορούμε να το γνωρίζουμε εξ αρχής, αφού η εκμάθηση του προγράμματος έγινε καθαρά για τις ανάγκες της εν λόγω εργασίας.

6 Συμπεράσματα και προοπτικές

6.1 Συμπεράσματα

Κυρίαρχο συμπέρασμα που προκύπτει από την εν λόγω μελέτη είναι ότι οι φυτεμένες περιοχές, εμφανίζουν χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτές που είναι καλυμμένες με κοινά υλικά επιστρώσεων. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται όσο πυκνότερη είναι η φύτευση, και αντίστροφα εμφανίζεται υψηλότερη όσο οι ίδιες οι ακάλυπτες με χώμα ή χαμηλή φύτευση επιφάνειες, αντικατασταθούν με σκληρά τσιμεντοειδή υλικά. Ειδικότερα η τιμή της θερμοκρασίας, ακόμα και σε φυτεμένες περιοχές, επηρεάζεται δραστικά από την γειτνίαση με ζώνες επιφανειών σκληρών υλικών, όπως είναι τσιμεντοστρωμένοι και ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι. Ακόμα περισσότερο επηρεάζεται, από τους όγκους των κτηρίων, λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας και θερμικής αδράνειας της μάζας τους.

Η βελτίωση της θερμοκρασίας που έχει συντελεστεί από την τροποποίηση του περιβάλλοντος χώρου ενός κτηρίου στο επίπεδο του εδάφους, εμφανίζεται μειούμενη όσο αυτό αναπτύσσεται καθ' ύψος. Έτσι ενώ στα χαμηλότερα επίπεδα το όφελος από την μείωση της θερμοκρασίας του αέρα είναι το βέλτιστο, όσο ανεβαίνουμε σε ύψος η θερμοκρασία τείνει να εξομαλυνθεί με αυτή του ευρύτερου χώρου.

Η αντικατάσταση των καλυμμένων με χώμα επιφανειών με τσιμέντο, έδειξε οριακή αύξηση στις τιμές της θερμοκρασίας του αέρα, με γρήγορη εξασθένηση όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος. Ωστόσο δεν έγινε μεγαλύτερη ανάλυση για την επίδραση που μπορεί να προκαλεί αυτό, στο ποσοστό υγρασίας και την ακτινοβολία.

Η συνδυασμένη εφαρμογή της αντικατάστασης των σκληρών υλικών, η προσθήκη πυκνής δεντροφύτευσης και η προσθήκη φυτεμένου δώματος, οδήγησε στη μέγιστη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα, βελτιώνοντας το θερμικό περιβάλλον της περιοχής. Η μείωση του ποσοστού φύτευσης κατά 1/3 της μέγιστης επιφάνειας κάλυψης, φαίνεται ότι επηρέασε την θερμοκρασία του αέρα σε ποσοστό 20% , τόσο στο επίπεδο του εδάφους, όσο και σε ύψος 5μ από αυτό.

Η ψυκτική δράση των φυτεύσεων με ψηλά δέντρα, πυκνού φυλλώματος, είναι σημαντική στο αστικό θερμικό περιβάλλον, ενώ η επίδρασή τους αυτή εμφανίζεται εντονότερη όσο

υψηλότερες είναι οι καταγεγραμμένες θερμοκρασίες. Η διαπίστωση αυτή είναι σημαντική για τις περιοχές με θερμά καλοκαίρια, όπως είναι ο Ελλαδικός χώρος και πολλές περιοχές τροπικού και υποτροπικού κλίματος. Η ψυκτική ικανότητα των δέντρων αποτελεί μια χαμηλού κόστους, οικολογική και αποτελεσματική μέθοδο βελτίωσης του αστικού περιβάλλοντος, σε περιοχές με θερμά κλίματα. Η παραπάνω διαπίστωση έχει βαρύνουσα σημασία, αν αναλογιστούμε ότι η κλιματική αλλαγή και η συνεχής επέκταση των πόλεων, επιδεινώνουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης, τόσο σε τοπική όσο και σε ευρύτερη κλίμακα.

Στο τομέα της βελτίωσης των ενεργειακών καταναλώσεων, τα αποτελέσματα είναι οριακά. Η μέση διαφοροποίηση της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό σε ύψος 5μ, δεν εμφανίζει διόρθωση στις ενεργειακές απαιτήσεις του διαμερίσματος κατοικίας του πρώτου ορόφου. Ενώ όμως η μικρή διόρθωση της θερμοκρασίας του αέρα, δεν φαίνεται να επιδρά στην ενεργειακή κατανάλωση ακόμα και ενός μη θερμομονωμένου κτηρίου, τα δέντρα βελτιώνουν την ενεργειακή του συμπεριφορά, μέσω του σκιασμού τους.

Η διόρθωση στην ενεργειακή κατανάλωση, είναι της τάξης του 3,2% σε σχέση με την προ των δεντροφυτεύσεων κατάσταση. Αν και οριακή, αποτελεί ένα σημαντικό εύρημα που σε συνδυασμό με τα παράλληλα οφέλη που επιφέρουν οι φυτεύσεις στο αστικό περιβάλλον, δημιουργεί προσδοκίες ότι περαιτέρω παραμετροποίηση των παραγόντων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς και η χρήση πιο εξειδικευμένων υπολογιστικών εργαλείων θα μπορούσε να επιφέρει σημαντικότερη βελτίωση.

6.2 Αναπάντητα ερωτήματα και αδυναμίες

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές φαίνεται να επηρεάζουν πολύ λίγο τις ενεργειακές καταναλώσεις, στοιχείο που αναμενόταν να είναι διαφορετικό, αν λάβουμε υπόψη την ελληνική και ξένη βιβλιογραφία.

Εκ των βασικών αναπάντητων ερωτημάτων είναι στο ποια είναι η συσχέτιση του αποτελέσματος της θερμοκρασιακής βελτίωσης, αναλογικά με το εύρος των πραγματοποιούμενων επεμβάσεων. Θα είχαμε δηλαδή, αυτήν την μείωση της

θερμοκρασίας, σε μια μικρότερη περιοχή επέμβασης? Αν ναι, ποια είναι η ποσοτική σχέση που συνδέει αυτά τα δύο μεγέθη?

Η περιοχή μελέτης μας, ήταν διευρυμένη, κοντά στα 2.000τ.μ. Σχετικά μεγάλη για ένα οικόπεδο πόλης, στο οποίο συνήθως επιδιώκεται η βέλτιστη εμπορική αξιοποίηση, μέσω της κατάληψης του μέγιστου χώρου από κτήρια και εγκαταστάσεις. Θα αποτελούσε επιλογή μια τέτοιας έκτασης επέμβαση στον ελεύθερο χώρο της κατοικίας, χωρίς να έχουμε πιο απτά αποτελέσματα για τα προσδοκώμενα οφέλη? Μια τέτοια απάντηση ίσως να μπορεί να δοθεί, μόνο αν συμπεριλάβουμε στη εξίσωση της λήψης απόφασης, παράγοντες όπως το οικολογικό αποτύπωμα των όποιων επεμβάσεων και την συνεισφορά τους στην αισθητική του ευρύτερου τοπίου.

6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Υπάρχουν αρκετές προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Με βεβαιότητα, έχει ενδιαφέρον να διερευνηθεί η επιρροή των προτεινόμενων επεμβάσεων στην ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου με διαφορετικά εργαλεία προσομοίωσης. Αρχικά θα μπορούσε να γίνει μια διερεύνηση των αποτελεσμάτων με τον υπολογισμό της μεταβολής των βαθμοημερών ψύξης.

Τα ευρήματα των διαφορετικών προσομοιώσεων με το πρόγραμμα ENVI-MET είναι πολλά. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκαν μόνο αυτά που αφορούσαν στη μεταβολή της θερμοκρασίας. Δεδομένα που αφορούν στην υγρασία, την ακτινοβολία, την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου θα μπορούσαν να προστεθούν ως παράγοντες στους υπολογισμούς, προσδίδοντας μεγαλύτερη αξιοπιστία αλλά και ακρίβεια στους υπολογισμούς.

Ένα άλλο ενδιαφέρον πεδίο είναι η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των καταναλώσεων με την ίδια μηχανή ενεργειακής προσομοίωσης, εισάγοντας κάθε φορά και μεγαλύτερο αριθμό παραγόντων (θερμοκρασία, υγρασία, ακτινοβολία, σκιασμούς κτλ.). Τέλος, θα μπορούσαν να συγκριθούν τα αποτελέσματα των ενεργειακών προσομοιώσεων διαφορετικών προγραμμάτων, για τους ίδιους κλιματικούς παράγοντες

6.4 Πιθανές εφαρμογές

Σε θεωρητικό πλαίσιο, τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης μπορούν να αποτελέσουν κατευθυντήριους άξονες, για την βελτίωση του μικροκλίματος στο εύρος ενός μεγάλου οικοπέδου, μιας γειτονιάς ή μιας μεγαλύτερης οικιστικής ενότητας. Αλλά εν γένει, η εξέταση του επηρεασμού του μικροκλίματος μιας αυτοτελούς ιδιοκτησίας στην ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου εντός της, είναι ένα πολύ ενδιαφέρον πεδίο. Πιθανά να αποτελέσει αντικείμενο έρευνας με μεγαλύτερο ενδιαφέρον τα προσεχή χρόνια, δεδομένου του συνεχή περιορισμού του ανοιχτού αστικού χώρου και της ανάγκης αξιοποίησης κάθε ελεύθερου μέρους του.

Η λογική της αξιοποίησης του περιβάλλοντος χώρου ενός κτηρίου, προκειμένου να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης χωρίς μεγάλες δαπάνες σε ενέργεια, αντιμετωπίζει το ίδιο το κτήριο, ως μια ενοποιημένη με το περιβάλλον του δομική ενότητα. Η επέκταση και εφαρμογή αυτής της συλλογιστικής σε πρακτικό επίπεδο, σε κάθε διαφορετική κατοικία και δόμημα, μπορεί να οδηγήσει σε φιλικότερες προς το περιβάλλον γειτονιές και σε φιλικότερες προς τον άνθρωπο πόλεις.

Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές (πηγές) της Εργασίας.(n.d.). Ανάκτηση από <https://www.arcgis.com>

Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2013). *Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research*. Energy and Buildings, Vol. 133, pp. 834-842. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.09.067.

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). *Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas*. Sol Energy 2001;70: 295-310.

Alpachar, N. L., Pezzuto, C. C., Corea, E. N., & Labaki, L. C. (2016). *The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: The cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina*. Theor. Appl. Climatol. 2016, 1–16.

Boeri, A., Gaspari, J., Gianfrate, V., & Longo, D. (2017). Accelerating Urban Transition: An approach to greening the built environment. *The Sustainable City*, σσ. 3-14.

Brocherhoff, M., & Nations, U. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. Popul. Dev. Rev. 2018, 24, 883.

Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (1995). *Microclimate landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency*. New York: John Wiley & Sons.

Buhaug, H., & Urbal, H. (2013). An urbanization bomb? Population growth social disorder in cities. *Global Environmental Change*, 23, σσ. 1-10.

Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2015). Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials. *Energy and Buildings* (108), σσ. 156-174.

Chatzidimitriou, A., Yannas, S., & Chrissomallidou, N. (2006). *Ground surface materials and microclimates in urban open spaces*. Geneva.

Chen, H., Ooka, R., Huang, H., & Tsuchiya, T. (2009). *Study on mitigation measures for outdoor thermal environment present urban blocks in Tokyo using coupled simulation*. Build. Environ. 2009, 44, 2290–2299.

Chen, Z., Zhao, L., Meng, Q., Zhai, Y., & Wang, F. (2009). *Field measurements on microclimate in residential community in Guangzhou, China*. Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China, 3(4), 462-468.

Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M. (2003). *Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits*. Energ Building 2003;35:69-76.

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., και συν. (2014). *IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press.

Georgescu, M., Morefield, P. E., Bierwagen, B. G., & Weaver, C. P. (2014). *Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2014, 111, 2909–2914.

Givoni, B. (1989). *Urban design in different climates*. Technical Report. WMO; 1989. p.

Grimme, F., & Laar, M. (2005). *Solar radiation and orientation as key information for bioclimatic design*.

Harland, A., MacKay, C., & Vale, B. (2010). *Phase change materials in architecture*. Victoria University of Wellington, New Zealand.

Hong, J., Teng, S., & Renlong, Z. (2017). *Effect of water body forms on microclimate of residential district*. Chania, Greece: Energy Procedia 134 (2017) 256–265.

<https://www.arcgis.com>. (n.d.).

Huttner, S. (2012). *Further Development and Application of the 3D Microclimate Simulation ENVI-Met*. Mainz, Germany: Johannes Gutenberg University Mainz.

Javanroodi, K., & Vahid, N. M. (2019). *Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas*. *Buildings* 2019, 9, 189; doi:10.3390/buildings9080189.

Jin, C., Bai, X., Luo, T., & Zou, M. (2017). *Effects of green roofs' variations on the regional thermal environment using measurements and simulations in Chongqing, China*. *Urban For. Urban Green*. 2017.

Jusuf, S. K., Wong, N. H., Hagen, E., Anggoro, R., & Hong, Y. (2007). *The influence of land use on the urban heat island in Singapore*. *Habitat International*, vol. 31, no. 2, pp. 232–242.

Kavan, J., & Vahid, N. (2019, 08). *Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas*. *Buildings*.

Kolokotroni, M., Giannitsaris, I., & Watkins, R. (2006). *The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies*. *Solar Energy*, vol. 80, no. 4, pp. 383–392, 2006.

Kotzen, B. (2003). *An investigation of shade under six different tree species of the Negev desert towards their potential use for enhancing micro-climatic conditions in landscape architectural development*. *J Arid Environ* 2003;55:231-74.

Kruger, E., & Pearlmutter, D. (2008). *The effect of urban evaporation on building energy demand in an arid environment*. *Energy and buildings*, 40(11), 2090-2098.

Lassandro, P., & Turi, S. (2017). *Energy efficiency and resilience against increasing temperatures in summer: the use of PCM and cool materials in buildings*. *Bari, Italy: INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND TECHNOLOGY* Vol. 35, Special Issue 1, September 2017, pp. S307-S315.

Levenmore, G., Parkinson, J., Lee, K., Laycock, P., & Lindley, S. (2017). *The increasing trend of the urban heat island intensity*. *Urban Climate*, DOI: 10.1016/j.uclim.2017.02.004.

Liao, F., Cheng, M.-J., & Hwang, R.-L. (2015). Influence of Urban Microclimate n Air-Conditioning Energy Needs and Indoor Thermal Comfort in Houses. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology* , σ. 9.

Lobaccaro, G., & Acero, J. (2015). *Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons*. Urban Clim. 2015, 14, 251–267.

Manteghi, G., Bin Limit, H., & Remaz, D. (2015). *Water Bodies an Urban Microclimate: A Review*. Modern Applied Science; Vol. 9, No. 6;.

Martins, T. A., Adolphe, L., Bonhomme, M., Bonneaud, F., Faraut, S., Ginestet, S., και συν. (2016). *Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France*. Sustain. Cities Soc. 2016, 26, 9–26.

Matthews, T. (2012). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. Brisbane: Australian Planner, 49:4, 363-364, DOI: 10.1080/07293682.2011.591742.

Matzarakis, A. (n.d.). Human thermal comfort below the canopy of street trees on a typical Central European summer day.

Mauree, D. (2019). A review of assessment methods for urban enviroment and its energy sustainability to guatantee climate adaption of future cities. *Renweable and Sustainable Energy Reviews* (112), σσ. 733-746.

Mauree, D. (2019). A review of assessment methods for urban enviroment and its energy sustainability to guatantee climate adaption of future cities. *Renweable and Sustainable Energy Reviews* (112), σσ. 733-746.

Mauree, d., & al, e. (2019). A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (112), σσ. 733-746.

Mima, S., & Criqui, P. (2015). *The costs of climate change for the European energy system, an assessment with the POLES Model*. Environmental Modeling & Assessment, Vol. 20, No. 4, pp. 303-19. DOI:10.1007/s10666-015-9449-3.

Narita, K. (2005). *Review of Numerical Modelling of Outdoor Thermal Comfort*. Tokyo.

Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). *A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong*. Build. Environ. 2012, 47, 256–271.

O' Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R., & Pomponi, F. (2015). *Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis*. Sustain. Cities Soc. 2015, 19, 222–235.

Oke, T. R. (1992). *Boundary layer climates*. Psychology Press.

Pastore, L., Corrao, R., & Heiselberg, P. K. (2017). *The effects of vegetation on indoor thermal comfort: The application of a multi-scale simulation methodology on a residential neighborhood renovation case study*. Energy Build 2017, 146, 1–11.

Peng, J., Chunyang, Z., & Hongyi, W. (2013). *The influence of different width River on the temperature and humidity of waterfront green space in the four seasons*. Wetland Science, 2013, 11(2)240-245.

Qin, Y. A. (2015). *A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect*. Energy Rev. 2015, 52, 445–459.

Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. (2008). *review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*. J. Environ. Sci. (20, 120-128).

Robitu, M., Musy, M., Inard, C., & Groleau, D. (2006). *Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate*. Solar Energy, 80(4), 435-447.

Roche, P. L., & Berardi, U. (2014). *Energy and Buildings* 82, 492–504 (2014).

Saaroni, H., & Ziv, B. (2003). *The impact of a small lake on heat stress in a Mediterranean urban park: the case of Tel Aviv, Israel*. International Journal of Biometeorology, 47(3), 156-165.

Salata, F., Golasi, I., Petitti, D., Vollaro, d., & Coppi, M. (2017). *Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment*. Sustain. Cities Soc. 2017, 30, 79–96.

Scudo, G. (2002). Thermal comfort in green spaces. In: proceedings: the green structures and urban Planning Conference. Milan.

Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E. (2012). *An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials*. Building and Environment 58 (2012) 245e257.

Shahidan, M. F., Shariff, M., Jones, P., Salleh, E., & Abdullah, A. (2010). *A comparison of Mesua ferrea L. and Hura crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort*. Landscape Urban Plan 2010;97:168-81.

Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). *Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees*. Energ Buildings 2000;31:221-35.

Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy Buildings* (31), σσ. 221-35.

Shashua-Bar, L., Potchter, O., Bitan, A., Boltansky, D., & Yaakov, Y. (2010). *Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel*. Int. J. Climatol. A J.R. Meteorol. Soc. 2010, 30, 44–57.

Shuyan, L., Chunyi, X., & Wei, L. (2008). *Study on the microclimate effects of urban water*. Atmospheric Science, 2008, 32(3)552-560.

Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., & Che-Ani, A. (2014). *Mitigating the urban heat island effect in megacity Tehran*. Adv. Meteorol. 2014.

Srivanit, M., & Hokao, K. (2013). *Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer*. Build. Environ. 2013, 66, 158–172.

Streiling, S., & Matzarakis, A. (2003). Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study. *Journal of Architecture* (26(6)), σσ. 309-316.

style, A. (2010). *δαφσδφασδ φασδφ ασδφ φ σδαα*. Ανάκτηση April 23, 2012, από <http://asdfs.gg.gsf>

Sun, Y., & Augenbroe, G. (2014). *Urban heat island effect on energy application studies of office buildings*. Energy and Buildings, vol. 77, pp. 171–179, 2014.

Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., & Soulakellis, N. (2008). *On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy*. J. Appl. Meteorol. Climatol. 2008, 47, 2846–2856.

Sysoeva, E., Benuzh, A., Gelmanova, M., & Bogachev, A. (2020). *Environmental factors of energy saving for buildings with green roofs at Russian cities*. E3S Web of Conferences 175, 14021 (2020).

Taleghani, M., Sailor, D. J., Tenpierik, M., van den Dobbela, A., & Sailor, D. (2014). *Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA*. Build. Environ. 2014, 73, 138–150.

Taleghani, M., Sailor, D., & Ban-Weiss, G. (2016). *Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood*. Environ. Res. Lett. 2016, 11, 024003.

Theeuwes, N., Solcerova, A., & Steeneveld, G. (2013). *Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(16), 8881-8896.

Tsoka, S., Tsikaloudaki, A., & Theodosiou, T. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications. *Sustainable Cities and Society* (43), σσ. 55-76.

Tsoka, S., Tsikaloudaki, K., & Theodosiou, T. (2019). *Coupling a Building Energy Simulation Tool with a Microclimate Model to Assess the Impact of cool Pavements on the Building's Energy Performance. Application in a Dense Residential Area*. Thessaloniki: Sustainability, 11, 2519.

Tsoka, S., Tsikaloudaki, K., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2020). *Urban Warming and Cities' Microclimates: Investigation Methods and Mitigation Strategies- A Review*. Energies 2020, 13, 1414; doi:10.3390/en13061414.

United Nations Population Division, Department of Economic and Social Affairs. (2018). *The Worlds Cities in 2018 Data Booklet*. New York, USA: United Nations Population Division, Department of Economic and Social Affairs.

Vardoulakis, E., Karamanis, D., Fotiadi, A., & Mihalakakou, G. (2013). The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands. *Solar Energy* (94), σσ. 128-144.

Wang, Y., & Akbari, H. (2016). *The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal*. Sustain.Cities Soc. 2016, 27, 122–128.

Wang, Y., Berardi, U., & Akbari, H. (2016). *Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada*. Energy Build. 2016, 114, 2–19.

Wong, N. H., Jusuf, S. K., & Syafri, N. I. (2011). *Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption*. Solar Energy, vol. 85,no. 1, pp. 57–71, 2011.

Wong, N. H., Jusuf, S. K., Ia Win, A., Thu, H. K., Negara, T. S., & Xuchao, W. (2007). *Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics*. Building and Environment, vol. 42, no. 8, pp. 2949–2970, 2007.

Wong, N. H., Tan, C. L., Nindyani, A. D., Jusuf, S. K., & Tan, E. (2012). *Influence of water bodies on outdoor air temperature in hot and humid climate*. Paper presented at the Reston, VA: ASCE copyright Proceedings of the 2011 International Conference on Sustainable Design and Construction.

Wong, N., & Yu, C. (2009). *Tropical urban heat islands: climate, buildings and greenery*. New York: Taylor and Francis.

Wong, N., Kardinal, J., Aung, L., Kyaw, T., Syatia, N., & Xuchao, W. (2007). *Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics*. Build Environ (42), σσ. 2949-70.

Wu, Z., & Chen, L. (2017). *Optimizing the spatial arrangement of trees in residential neighborhoods for better cooling effects: Integrating modeling with in-situ measurements*. Landsc. Urban Plan. 2017, 167, 463–472.

www.meteoblue.com. (n.d.). Ανάκτηση Ιανουάριος 08, 2021, από www.meteoblue.com

Xu, J., Wei, Q., Huang, X., Zhu, X., & Li, G. (2010). *Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer*. Building and Environment, 45(4), 1072-1080.

Xuan, C. (2013). *Thermal environment effect of typical urban water landscape*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6)1852-1859.

Zeng, Z., Zhou, X., & Li, L. (2017). *The Impact of Water on Microclimate in Lingnan Area*. Procedia Engineering 205 (2017) 2034–2040.

Zölch, T. (2019). *Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort*. Building and Environment (143), σσ. 640-654.

Zoras, S., Tsermentselis, A., Kosmopoulos, P., & Dimoudi, A. (2014). *Evaluation of the application of cool materials in urban spaces: A case study in the center of Florina*. Sustain. Cities Soc. 2014, 13, 223–229.

Zoras, S., Veranoudis, S., & Dimoudi, A. (n.d.). Micro-climate adaptation of wholebuilding energy simulation in large complexes. *Energy and Buildings* (150), σσ. 81-89.

Αραβαντινός, Α. (1998). *Πολοδομικός Σχεδιασμός - Για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου*. Αθήνα: Συμμετρία.

ΦΕΚ236Β'. (2017, Ιούλιος 12). Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.

7 Παράρτημα: Συμπληρωματικό Υλικό

7.1 Παράρτημα Α

1. Κλιματικός Χάρτης Ελλάδας κατά Köppen – Geiger (Γιαλαμάς, 2010)



2. Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.



3. Πληροφορίες θέσης και κλιματικές παράμετροι που αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων του **Meteonorm-Demo mode v8.0.2**.

Location information

General information

Name: Kalamata
Type: Weather station w/o global rad
Coordinates: 37.067 °N Lat, 22.017 °E Lon, WGS84
WMO Number: 167260
Altitude: 8 m a.s.l.
Timezone: 2 UTC
Time reference: -30 min
Situation: Sea/lake

Parameters measured at location

Measurements first period
Radiation:
Temperature: 1961-1990
Ta Gh FF Td
RR Rd Sd DD
Source for radiation data: n/a

Measurements second period
Radiation:
Temperature: 2000-2009
Ta Gh FF Td
RR

Sunrise/-set Copy... Close

Kalamata

Location name

167260

WMO

37.067

Latitude [°N]

22.017

Longitude [°E]

8

Altitude [m a.s.l.]

IV, 1

Climate region

Standard

Radiation model

Standard

Temperature model

Perez

Tilt radiation model

2000–2009

Temperature period

1991–2010

Radiation period

Additional information

Uncertainty of yearly values: Gh = 4%, En = 8%, Ta = 0.3 °C

Trend of Gh / decade: -

Variability of Gh / year: 4.3%

Radiation interpolation locations: Satellite data (Share of satellite data: 100%)

P10 and P90 of yearly Gh, referenced to average: 93.4%, 105.6%

G_Gh: Mean irradiance of global radiation horizontal PAR: Photosynthetically active radiation

G_Dh: Mean irradiance of diffuse radiation horizontal

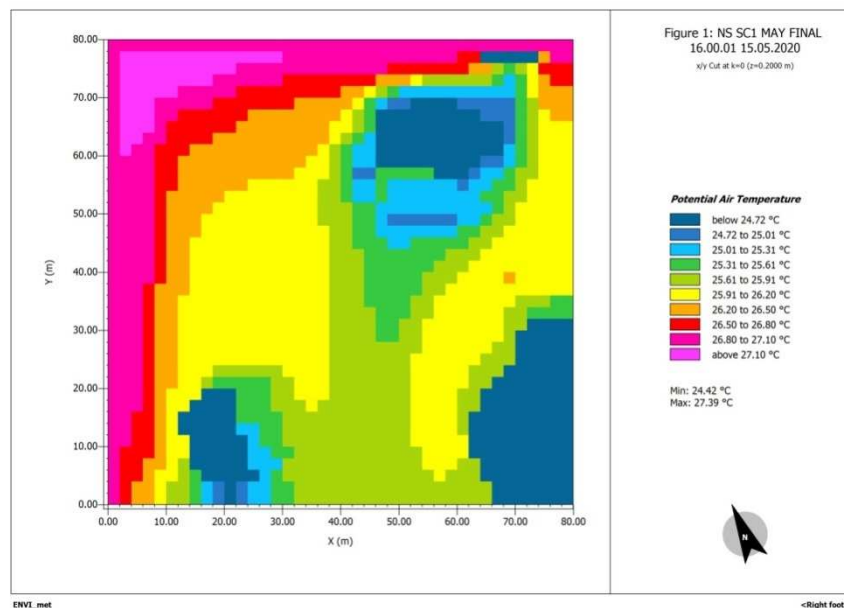
Month	Ta	G_Gh	Td	RH	G_Dh	FF	G_Lin	PP
	[°C]	[W/m2]	[°C]	[%]	[W/m2]	[m/s]	[W/m2]	[hPa]
January	9.6	92.7	5.2	74.0	38.2	2.3	308	1012
February	9.7	119.0	4.9	72.2	58.0	2.3	310	1012
March	12.2	178.7	7.3	71.7	79.2	2.2	320	1012
April	14.9	236.2	9.6	70.4	92.7	2.0	329	1012
May	19.3	281.2	12.9	66.4	99.8	2.2	350	1012
June	23.7	311.8	15.4	59.6	100.3	2.6	368	1012
July	26.2	318.8	16.9	56.4	87.9	2.8	378	1012
August	26.0	284.1	17.6	59.8	88.1	2.6	376	1012
September	22.4	212.8	15.8	66.4	84.4	2.4	372	1012
October	18.7	154.7	13.4	71.2	68.3	2.0	355	1012
November	14.2	113.7	10.4	77.6	47.3	1.9	335	1012
December	11.0	87.8	7.1	76.6	37.2	2.4	314	1012
Year	17.3	199.3	11.4	68.5	73.5	2.3	343	1012

Month	Sd	N	TL	Bn	Ghmax	G_Gex	G_PAR	Snd
	[h]	[octas]	[]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[mm]
January	144	5	2.7	137.0	140	198	39.8	0.0
February	141	5	2.9	124.2	182	257	51.1	0.0
March	186	5	3.2	169.8	246	336	76.5	0.0
April	212	4	3.4	225.1	305	411	101.5	0.0
May	286	3	3.5	284.0	345	461	121.2	0.0
June	238	3	3.4	297.3	358	482	134.5	0.0
July	358	3	3.5	326.4	351	471	137.4	0.0
August	337	2	3.5	295.8	315	430	123.2	0.0
September	270	5	3.3	205.8	271	364	93.2	0.0
October	208	5	3.1	162.6	208	288	68.1	0.0
November	151	4	2.9	155.2	162	215	49.8	0.0
December	131	4	2.7	138.5	125	181	38.3	0.0
Year	2660	4	3.2	209.0	250	341	86.2	0.0

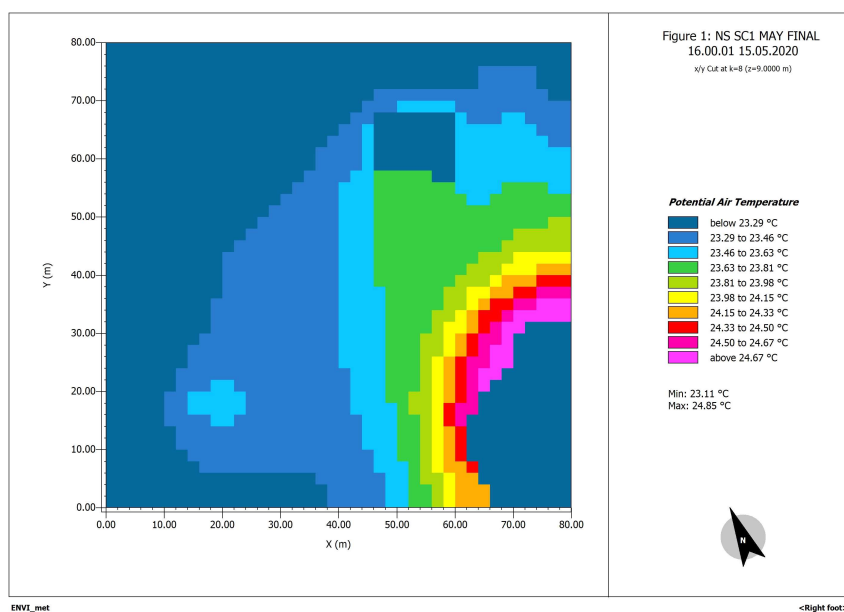
Ta: Air temperature
 RH: Relative humidity
 Ta min: 10 y minimum (approx.)
 Ta max: 10 y maximum (approx.)
 Ta dmin: Mean daily minimum Ta
 Ta dmax: Mean daily maximum Ta
 SD: Sunshine duration
 RR: Precipitation
 RD: Days with precipitation
 FF: Wind speed
 SD astr.: Sunshine duration, astronomic
 DD: Wind direction
 Snd: Snow depth

7.2 Παράρτημα Β-Αποτελέσματα προσομοίωσης με την εφαρμογή Leonardo του ENVI – met

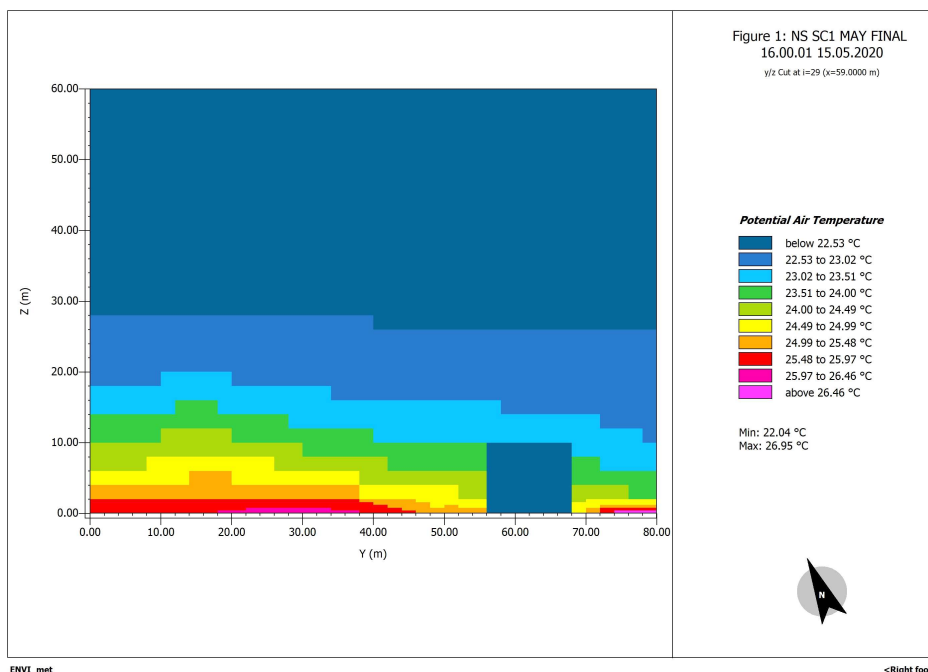
1. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



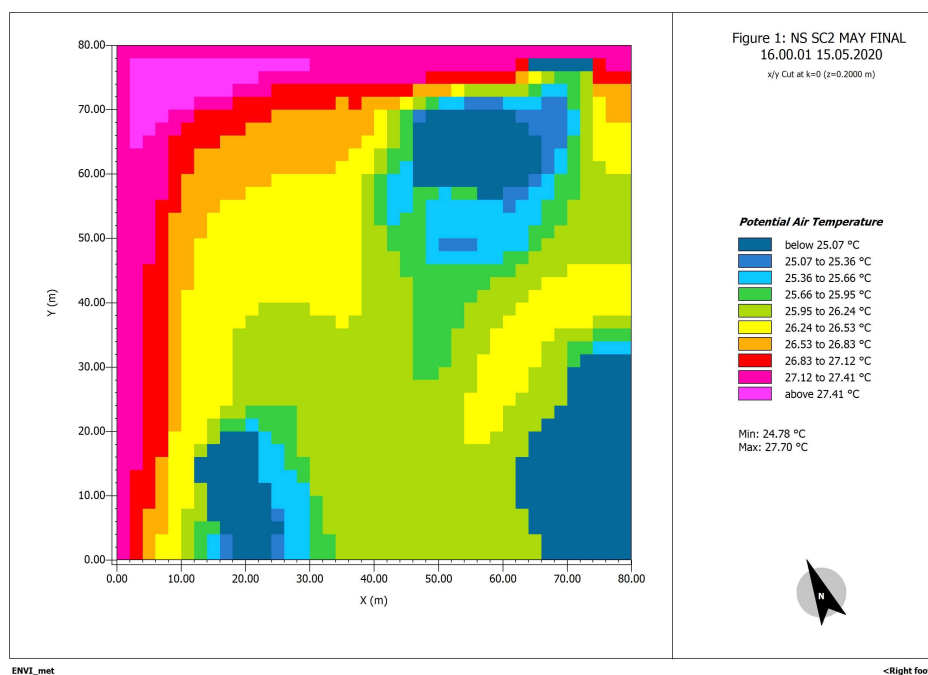
2. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



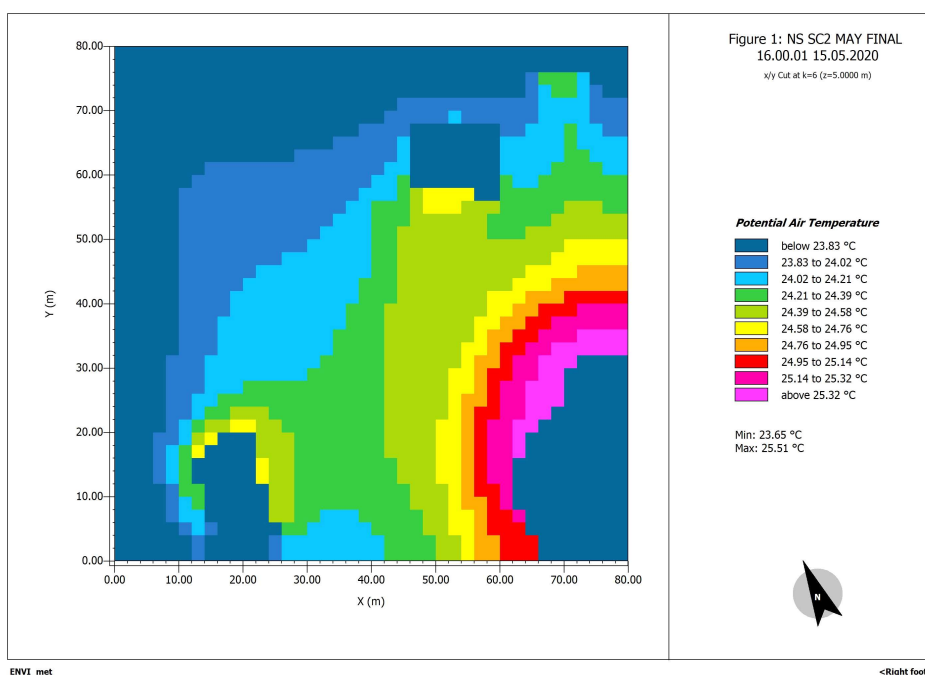
3. Σενάριο υφιστάμενης κατάστασης (SC1). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Μάιο**.



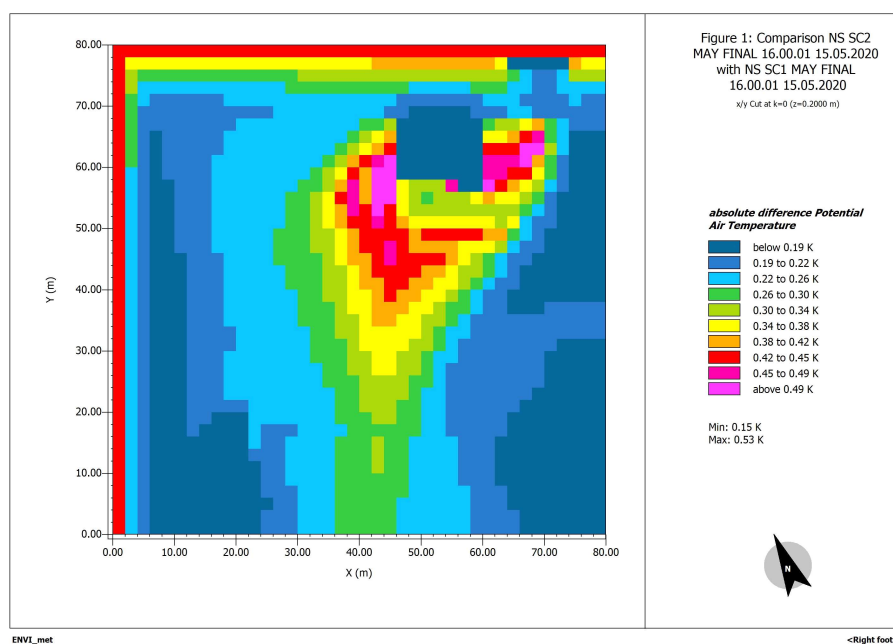
4. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



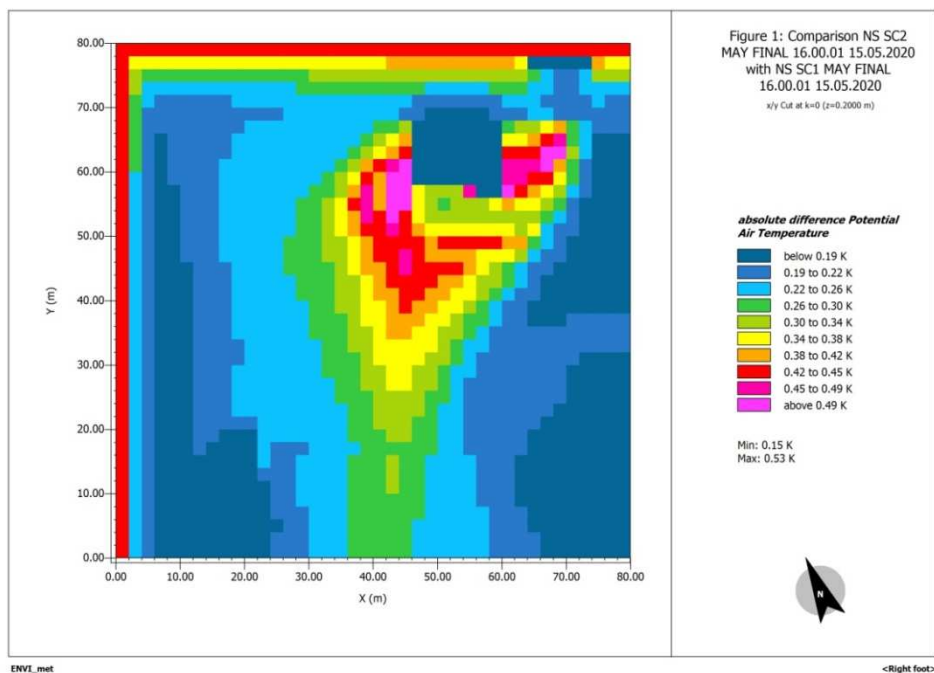
5. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



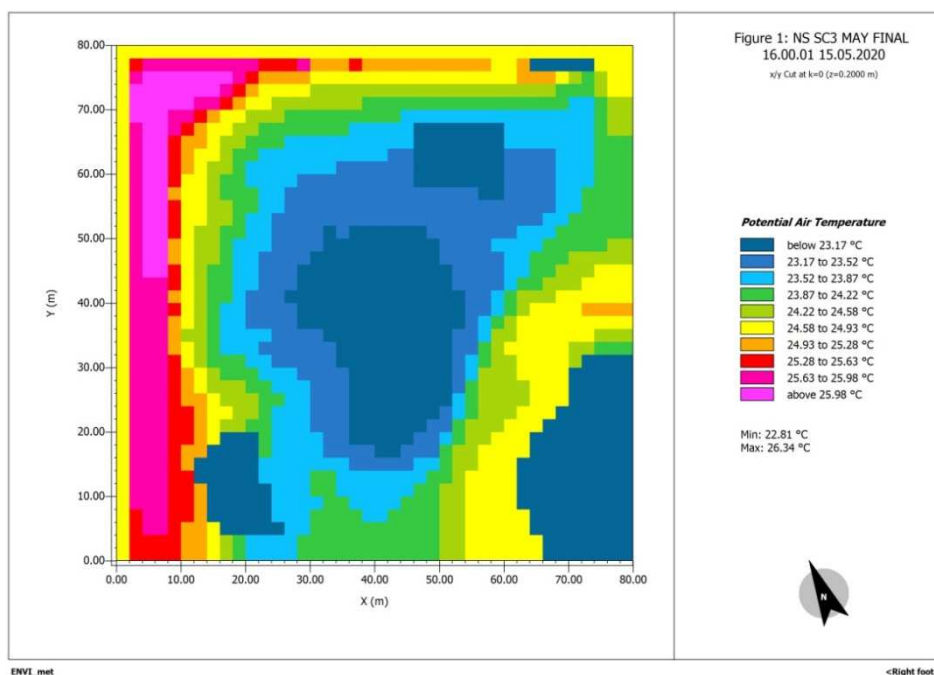
6. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



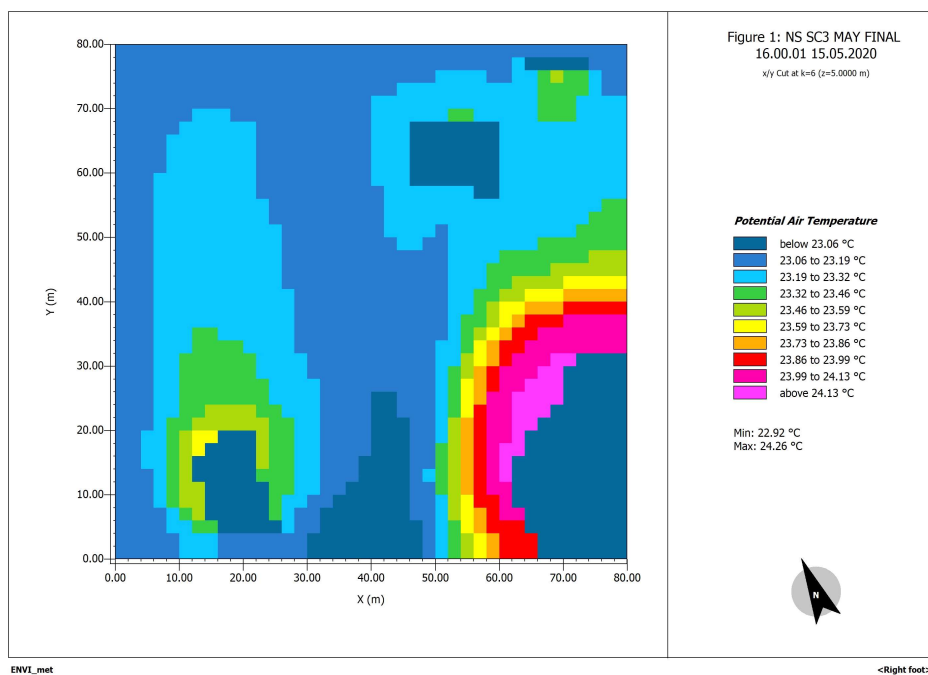
7. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ **SC1-SC2** για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



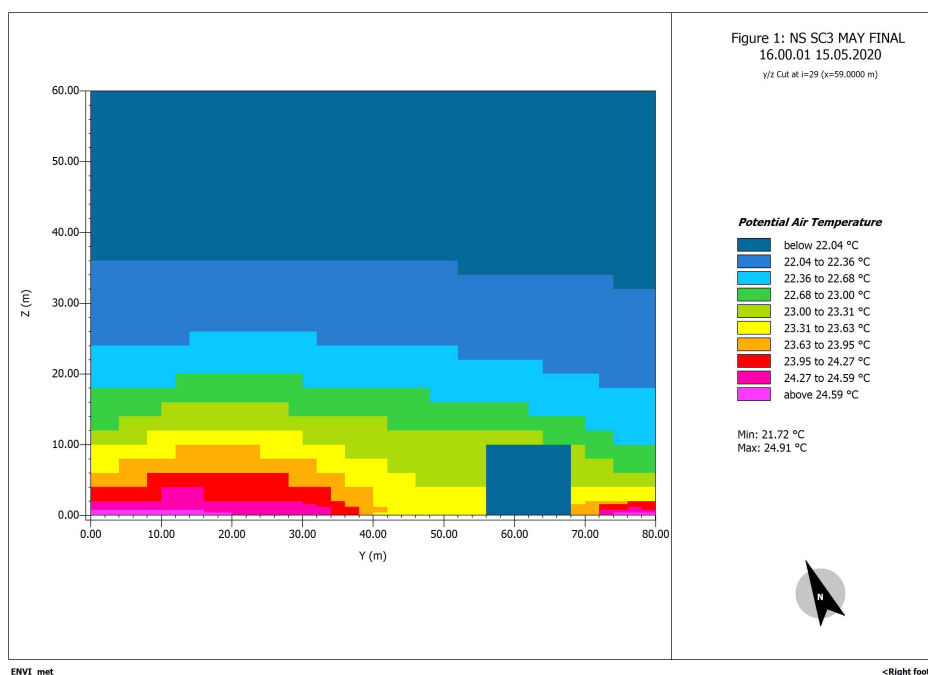
8. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



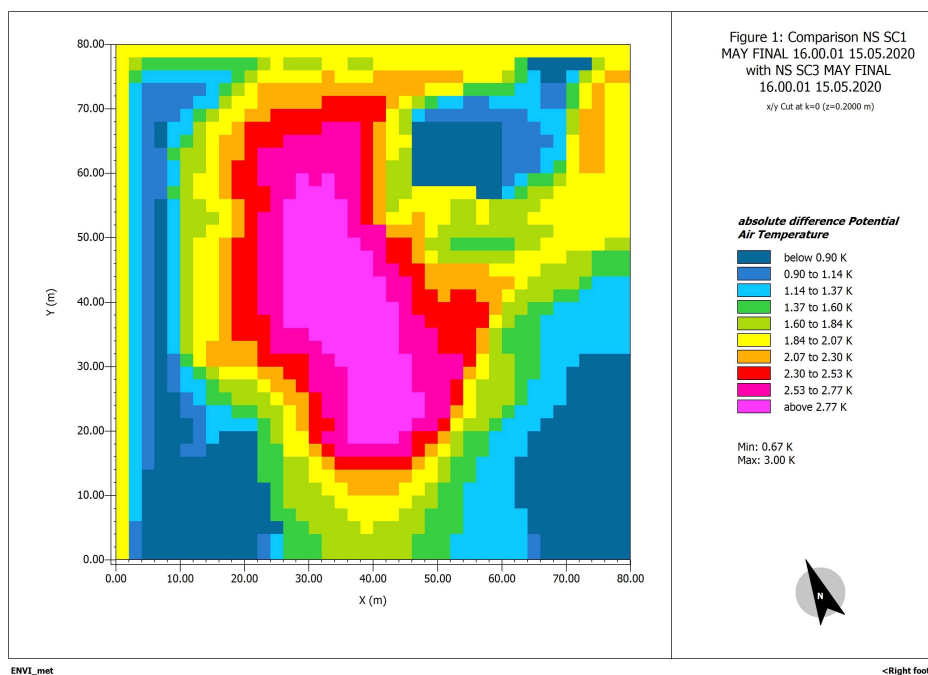
9. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



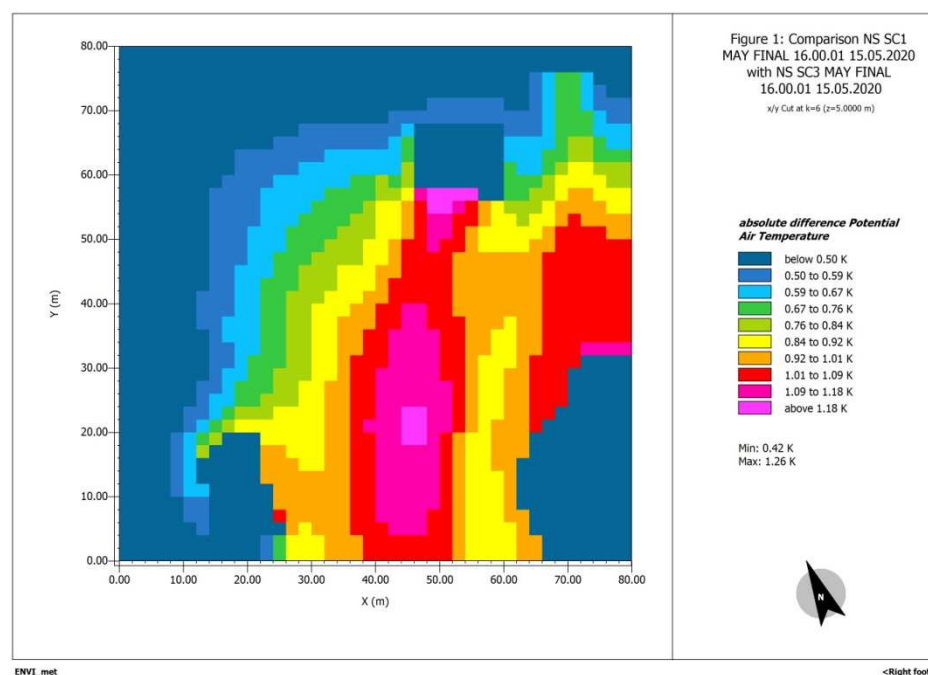
10. Σενάριο (SC3). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Μάιο**.



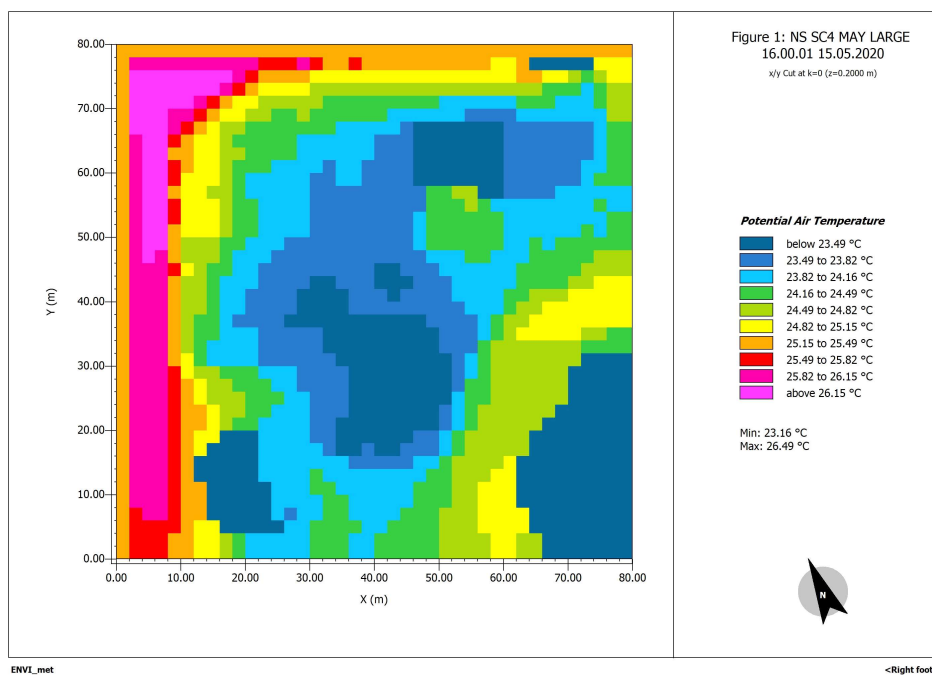
11. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος 0.2m από το έδαφος.



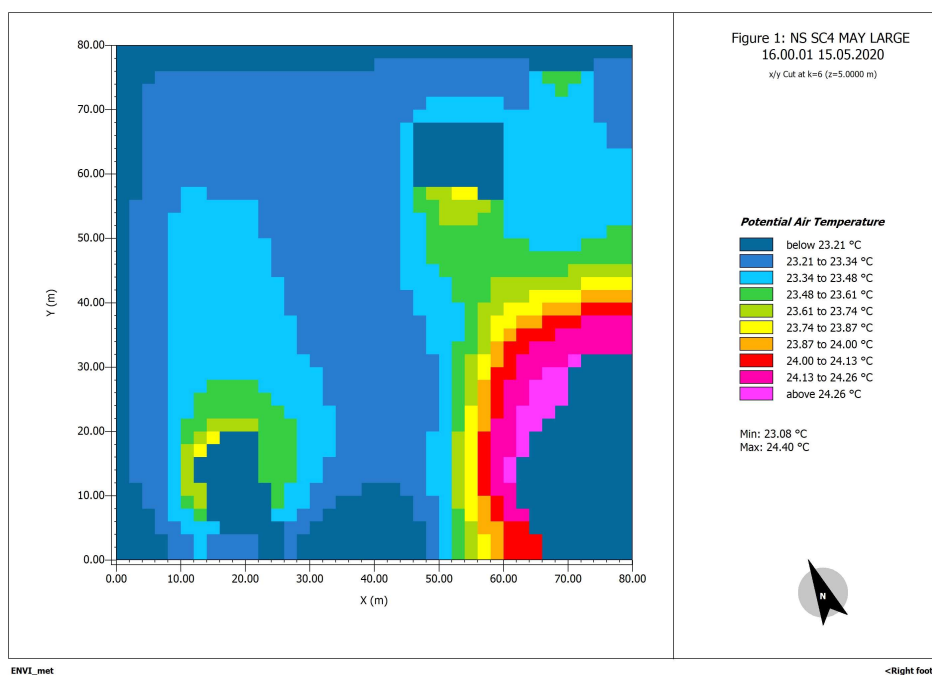
12. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος 5.0m από το έδαφος



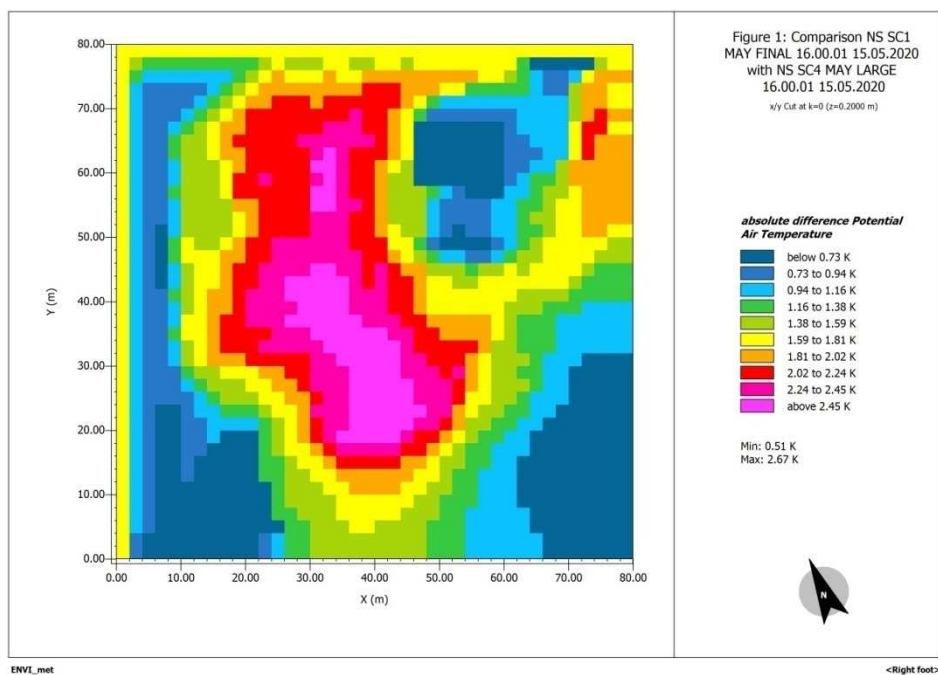
13. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



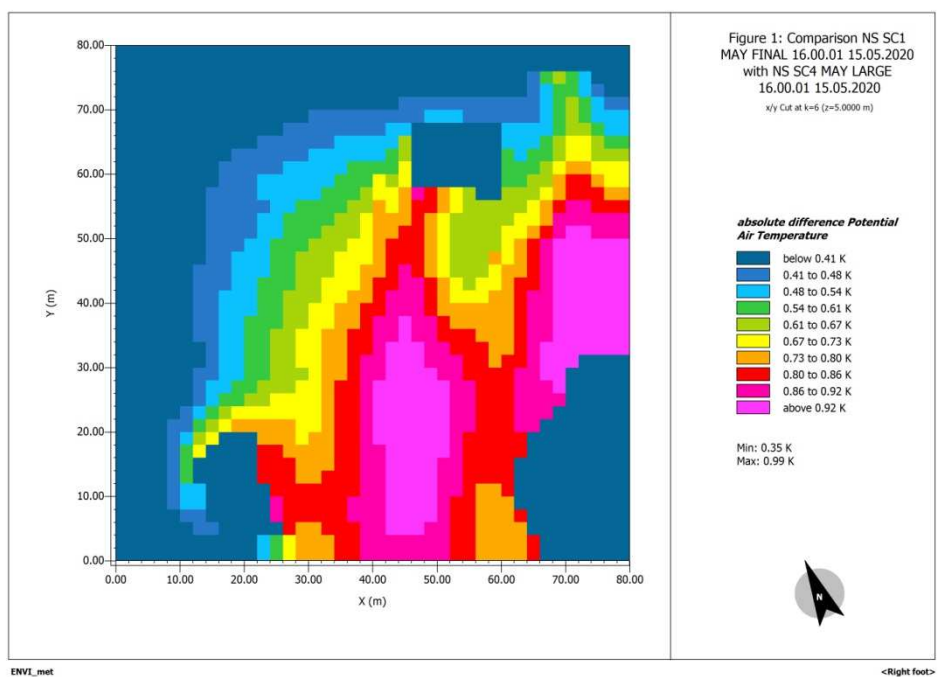
14. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



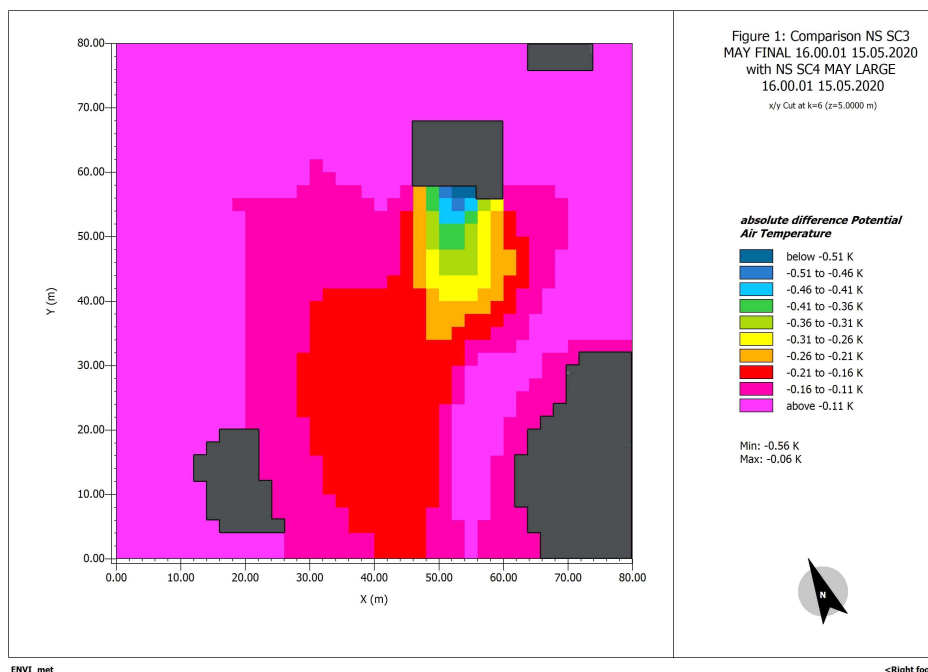
15. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



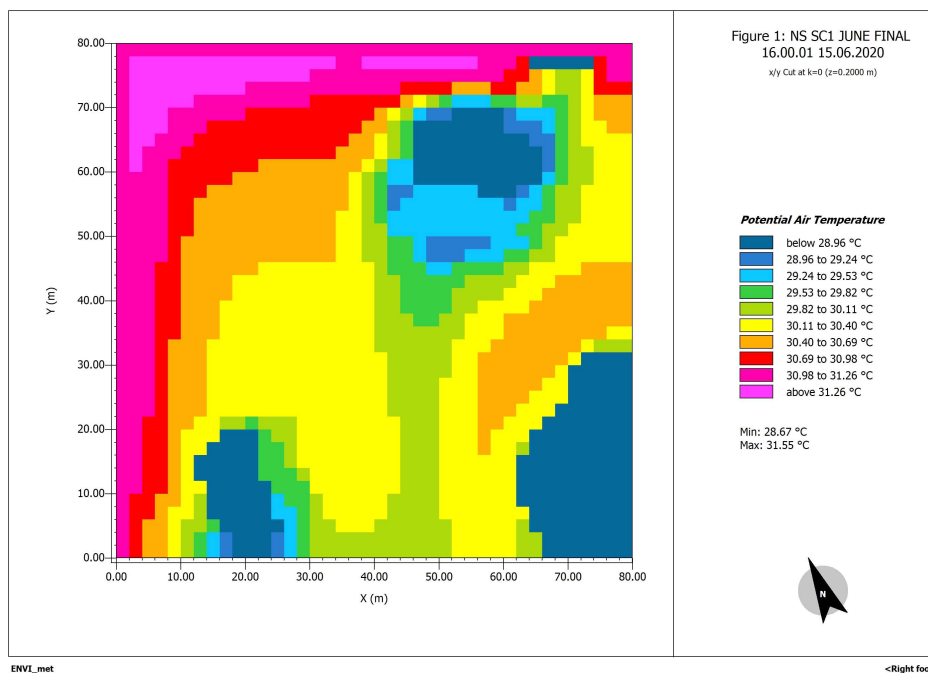
16. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



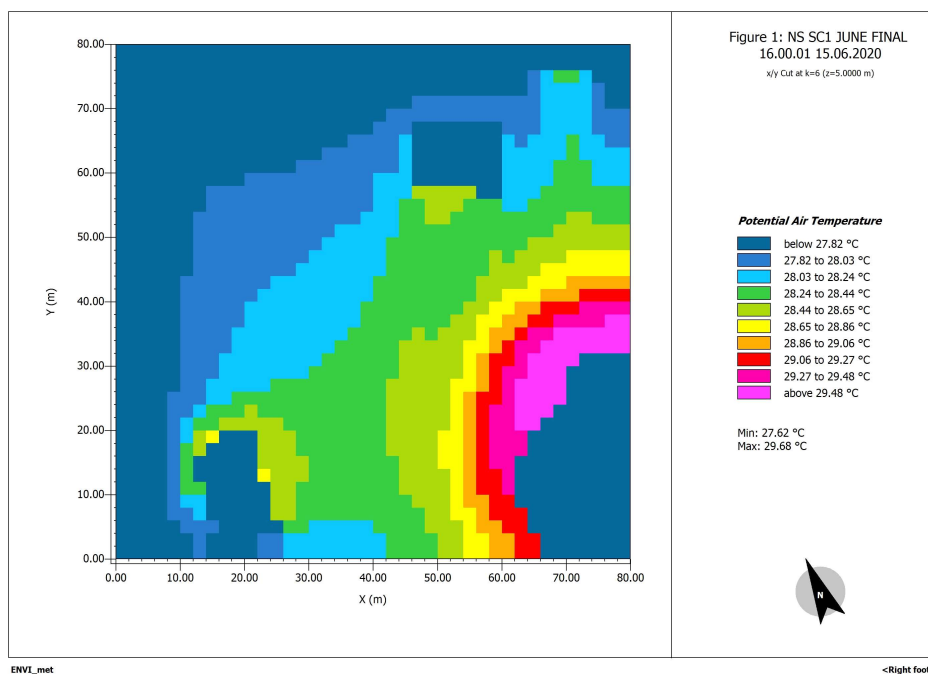
17. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ **SC3-SC4** για τον μήνα **Μάιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



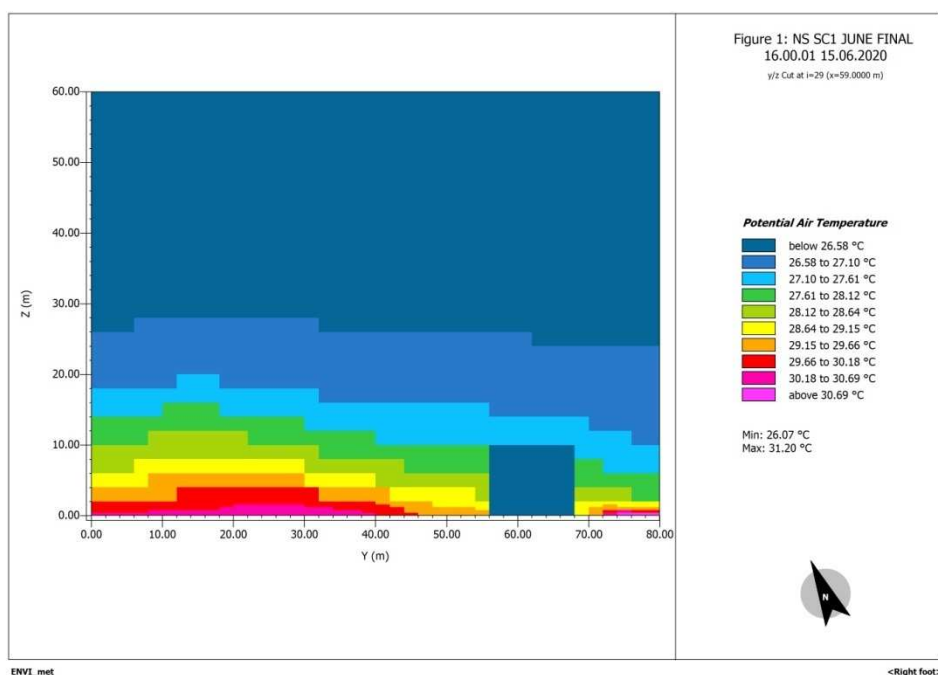
18. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



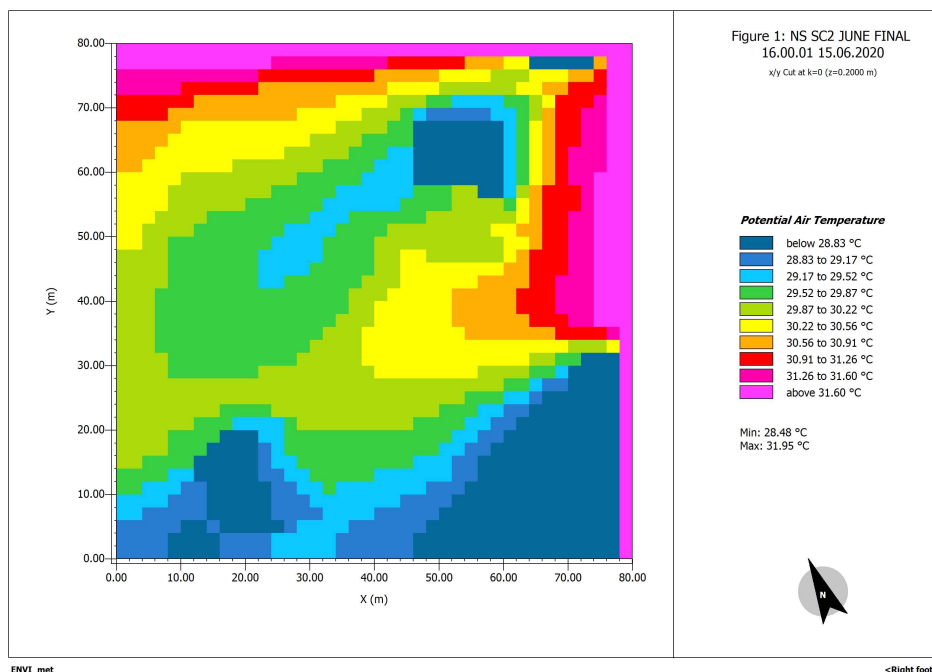
19. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



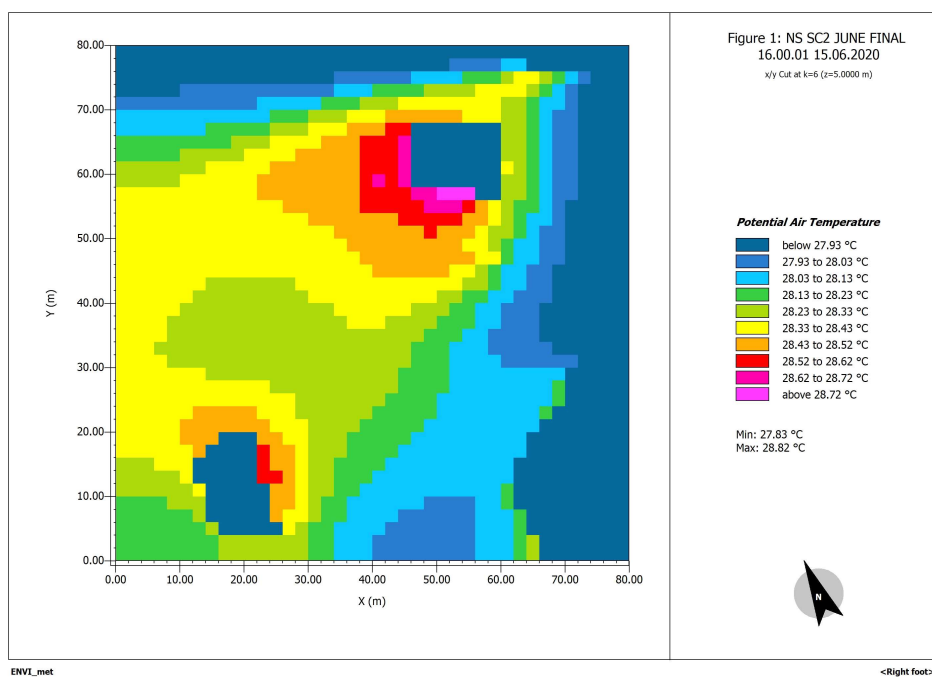
20. Σενάριο (SC1). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Ιούνιο**.



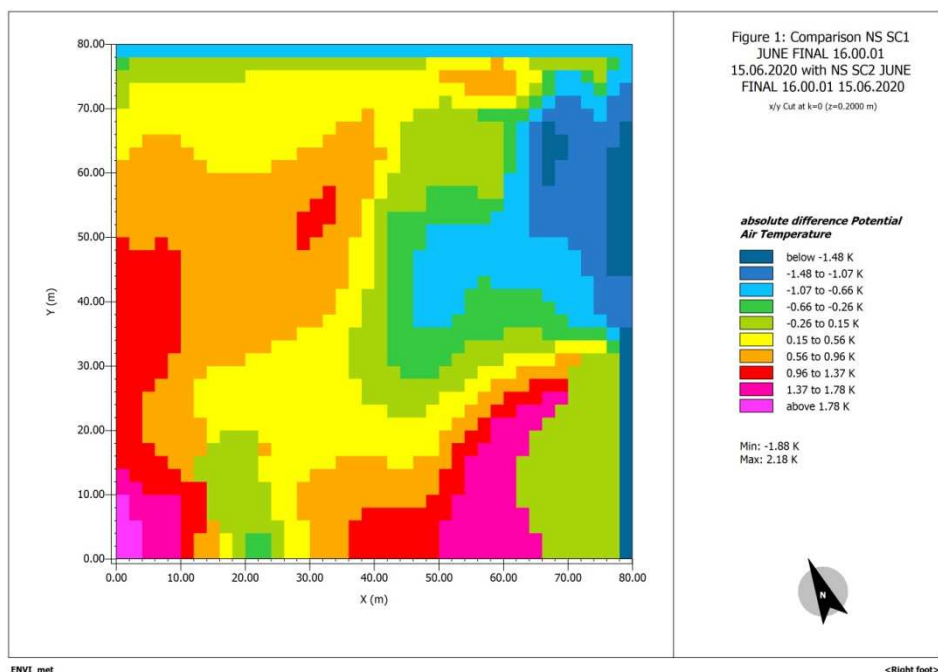
21. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



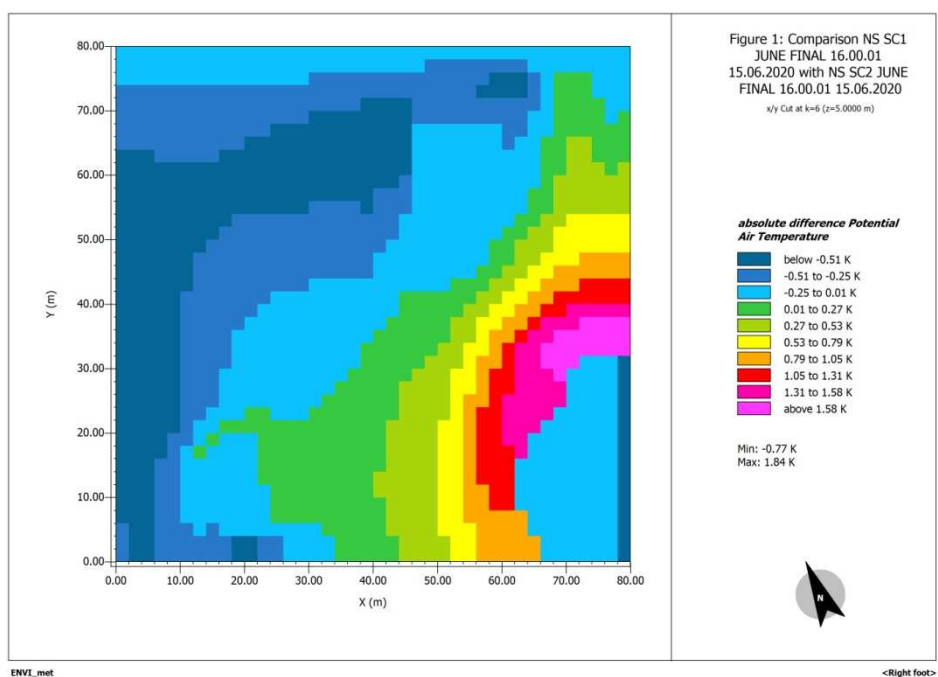
22. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



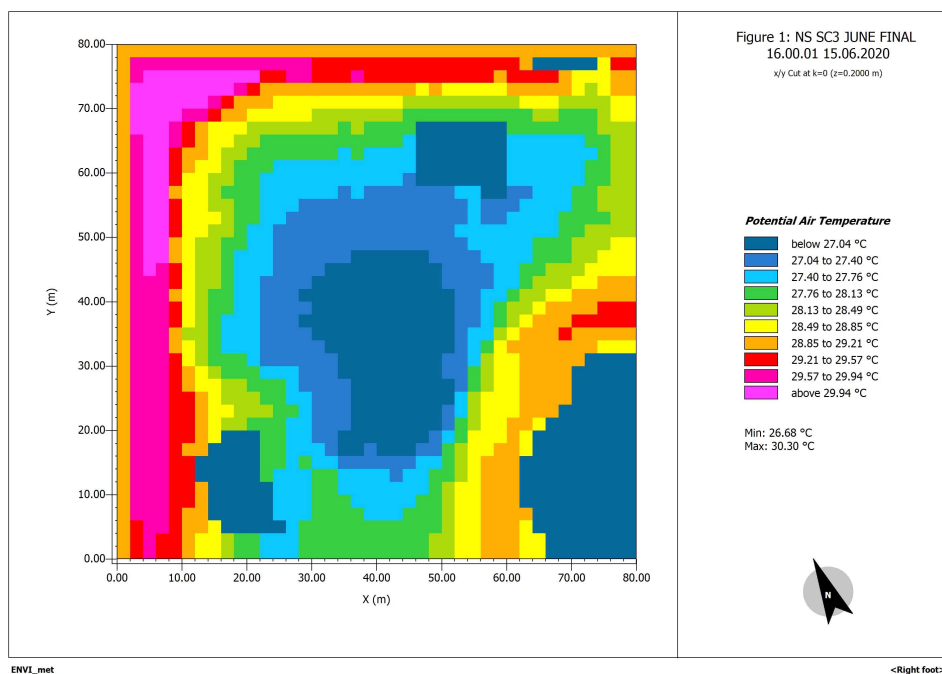
23. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα Ιούνιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος.



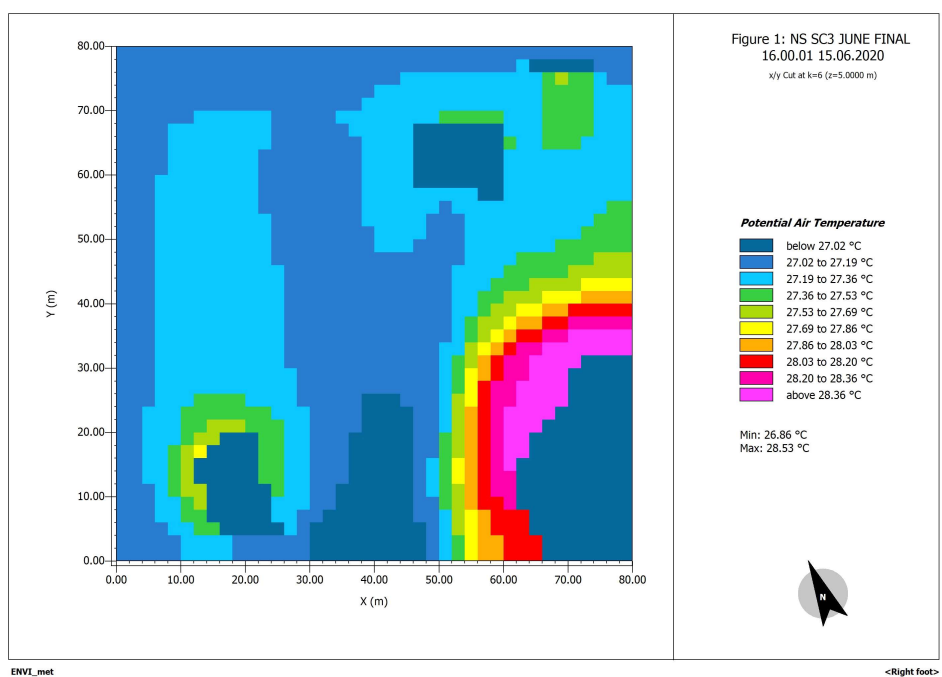
24. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα Ιούνιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος.



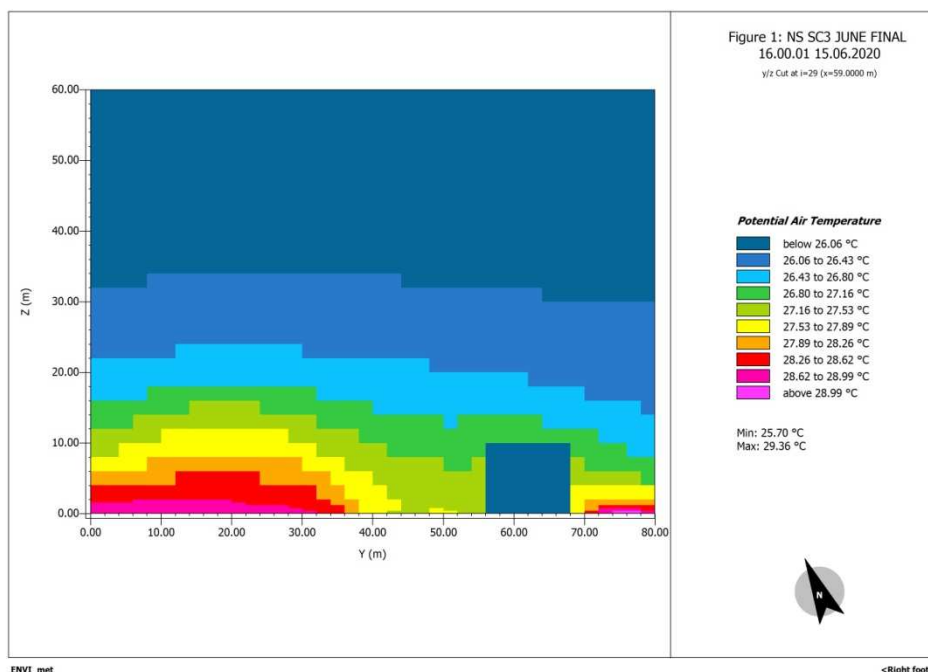
25. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



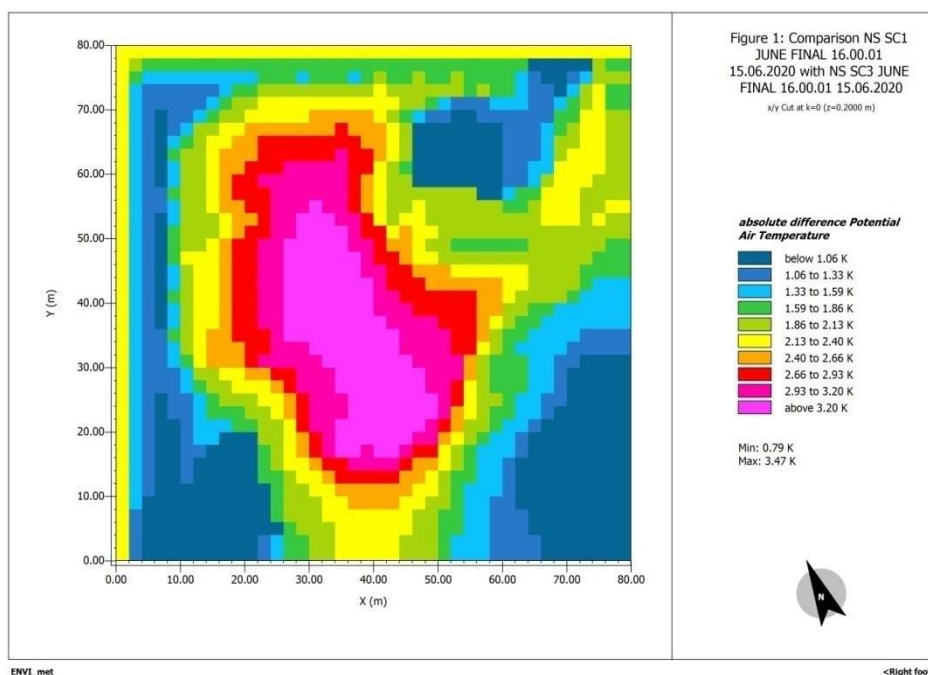
26. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



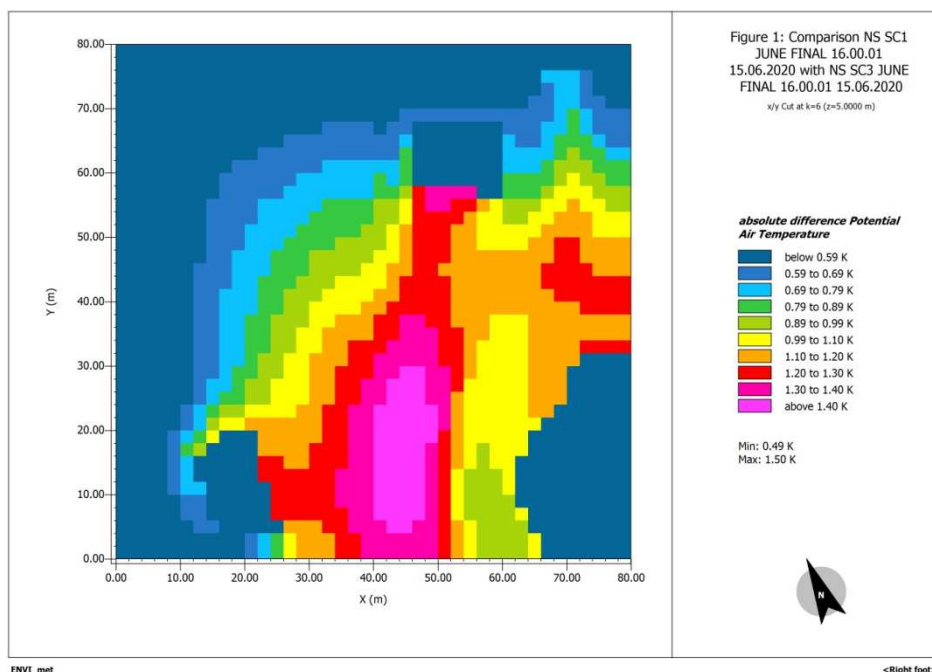
27. Σενάριο (SC3). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Ιούνιο**.



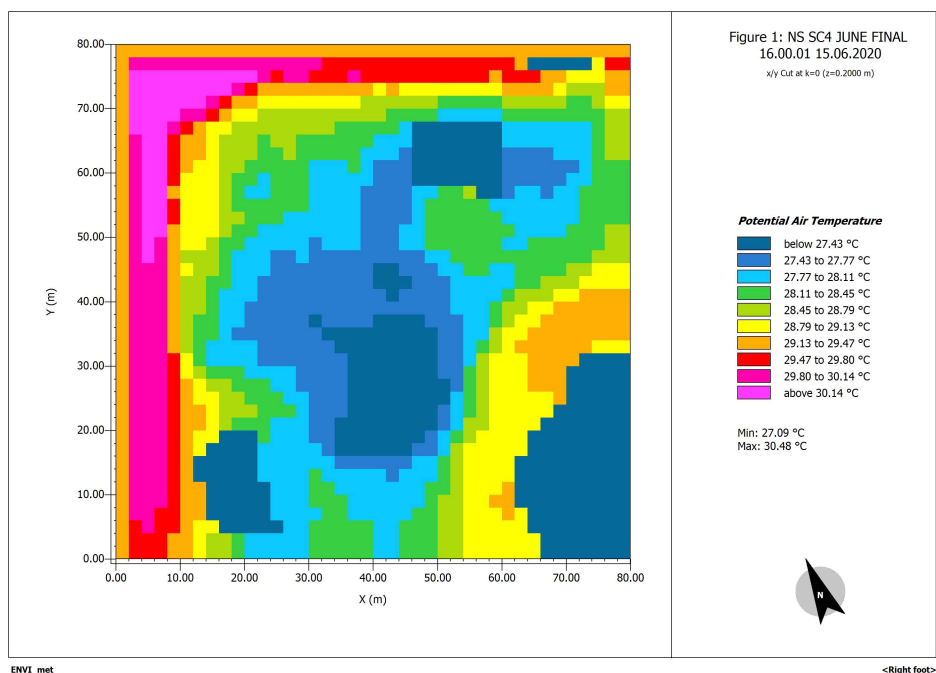
28. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



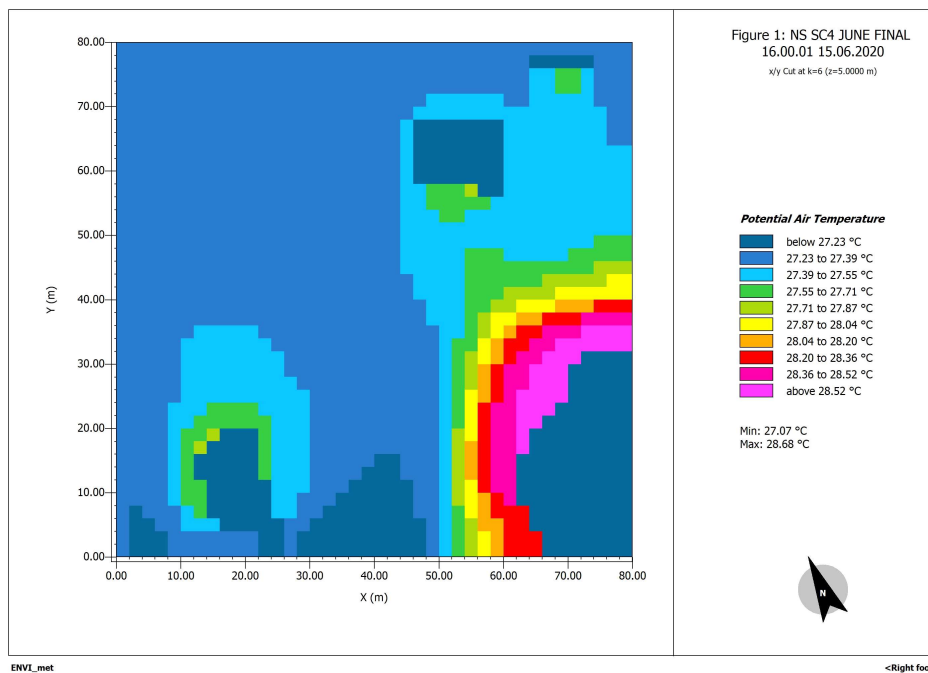
29. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



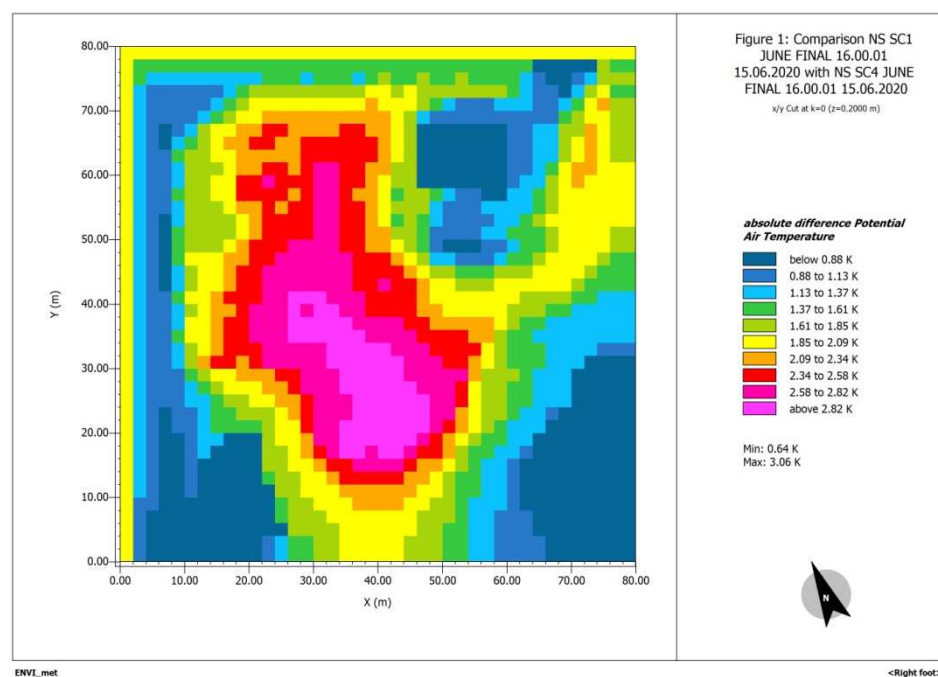
30. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Ιούνιο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



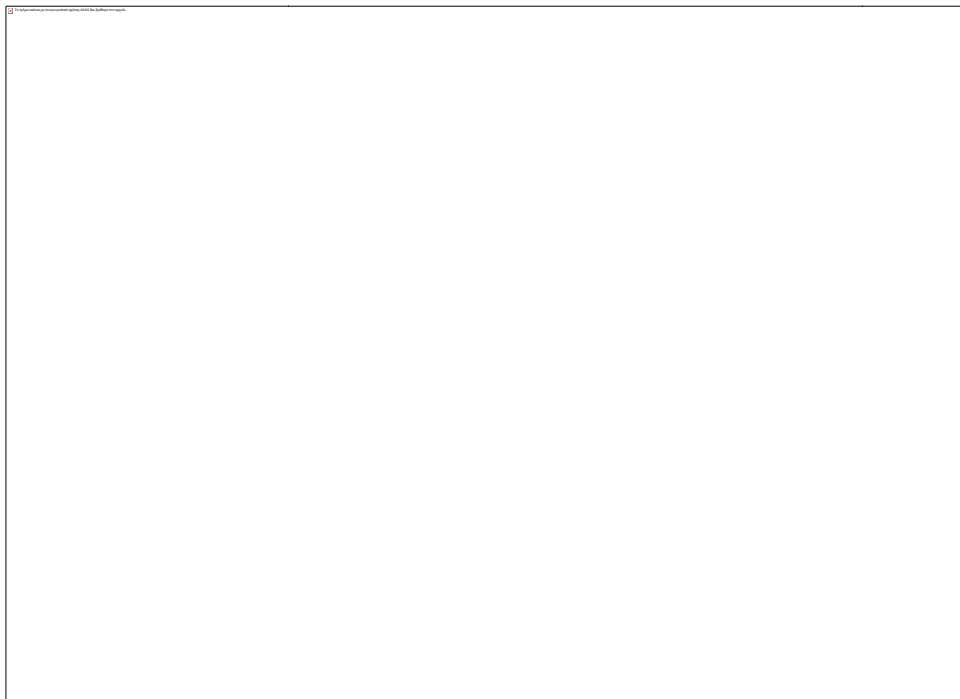
31. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούνιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος



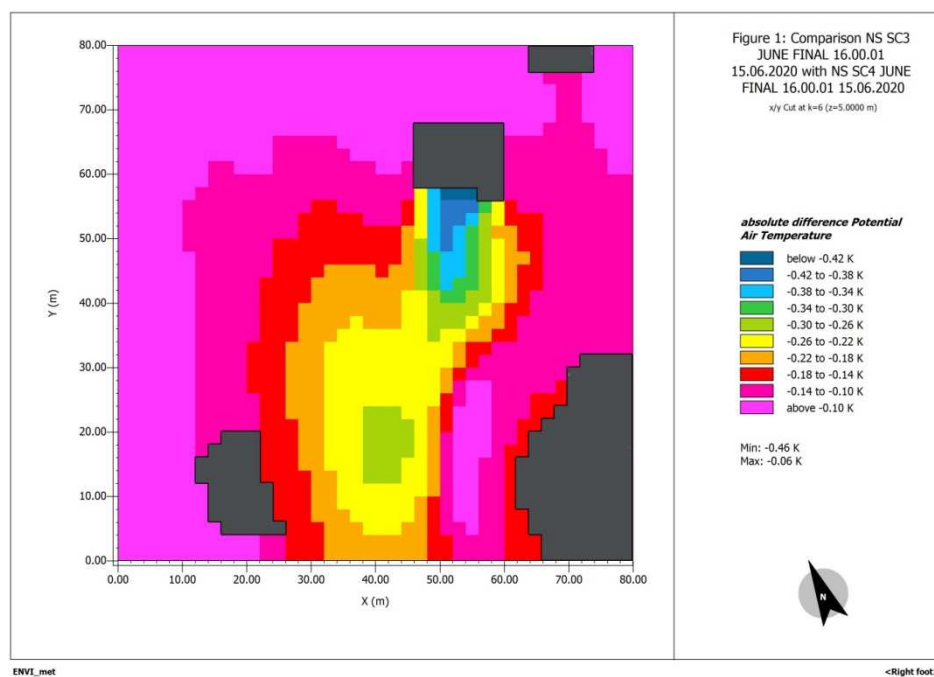
32. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Ιούνιο σε ύψος 0.2m από το έδαφος.



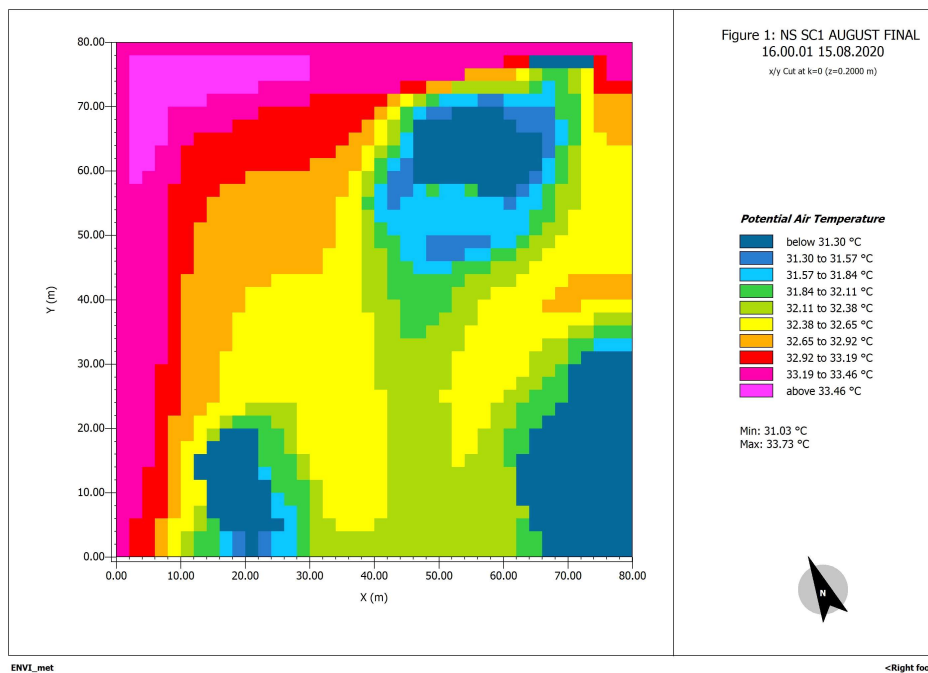
33. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Ιούνιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος.



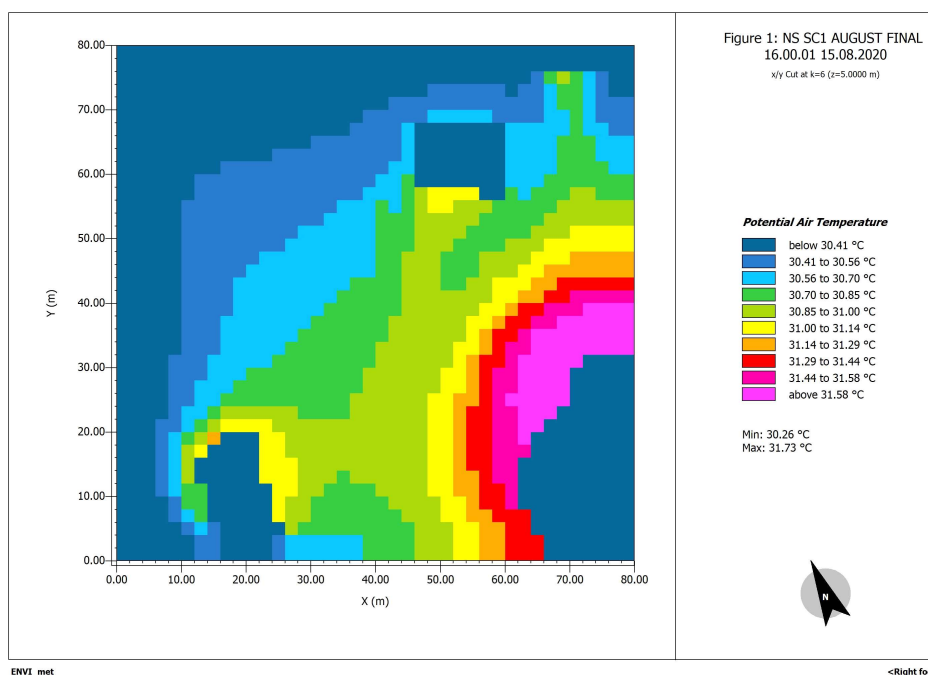
34. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC3-SC4 για τον μήνα Ιούνιο σε ύψος 5.0m από το έδαφος.



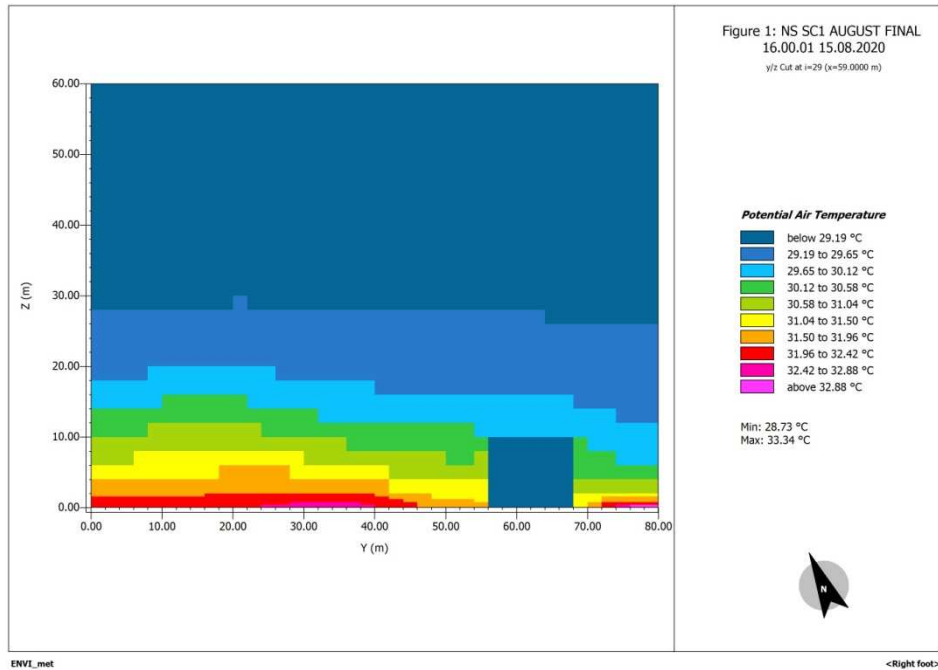
35. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



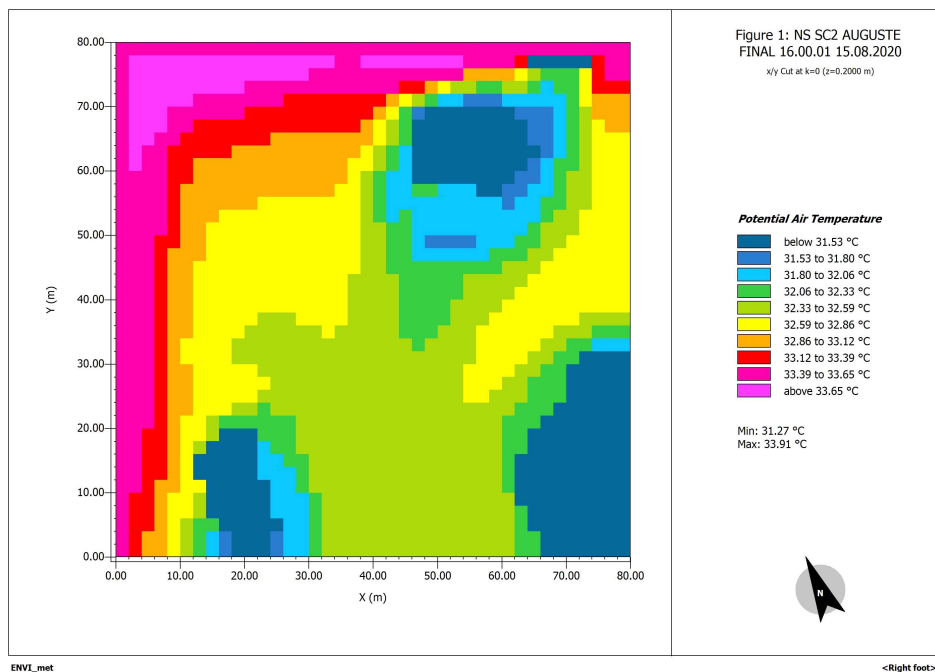
36. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



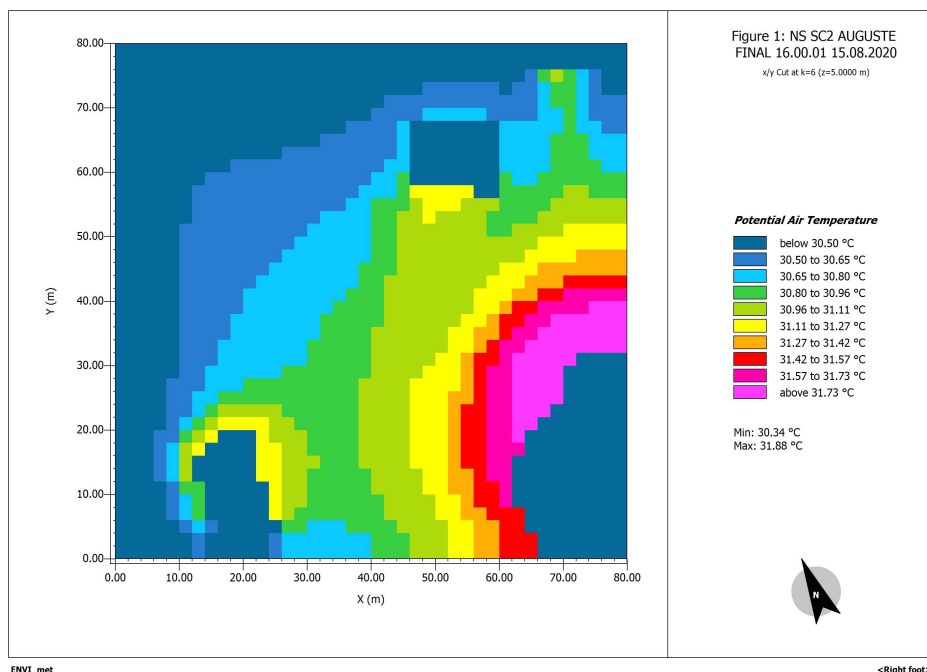
37. Σενάριο (SC1). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Αύγουστο**.



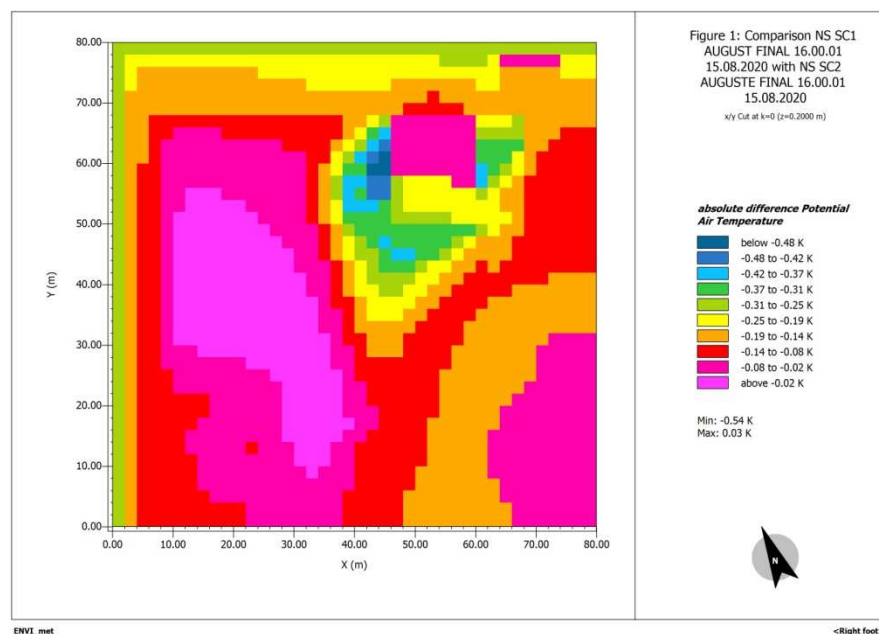
38. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



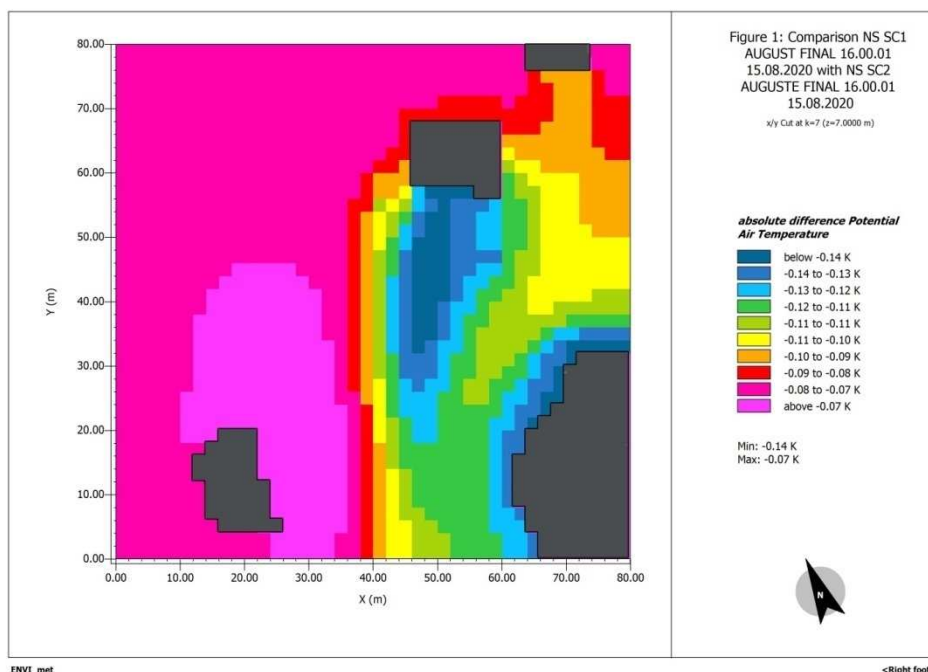
39. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



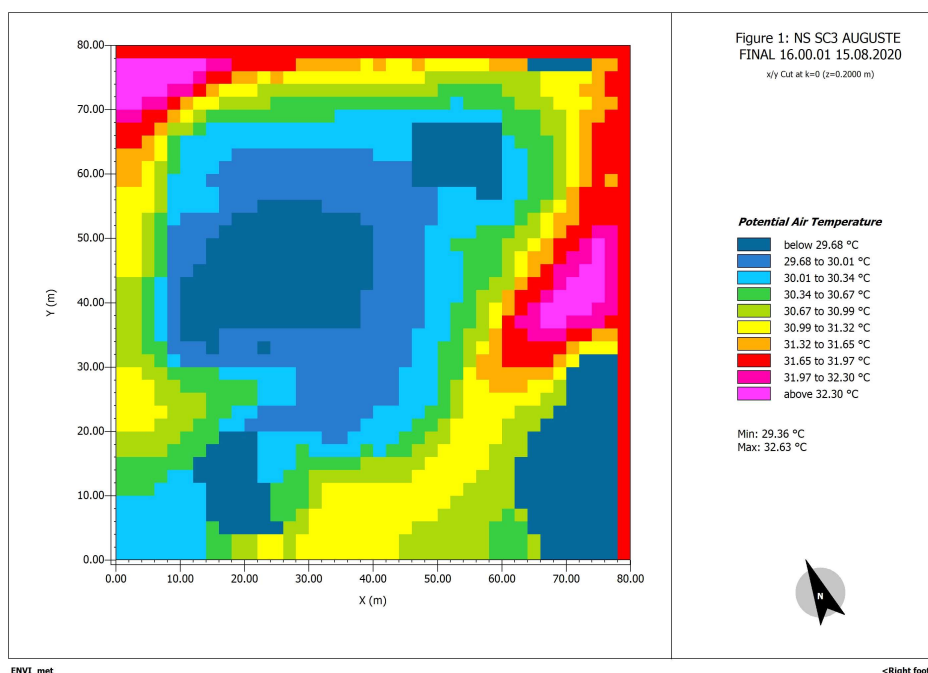
40. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ **SC1-SC2** για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



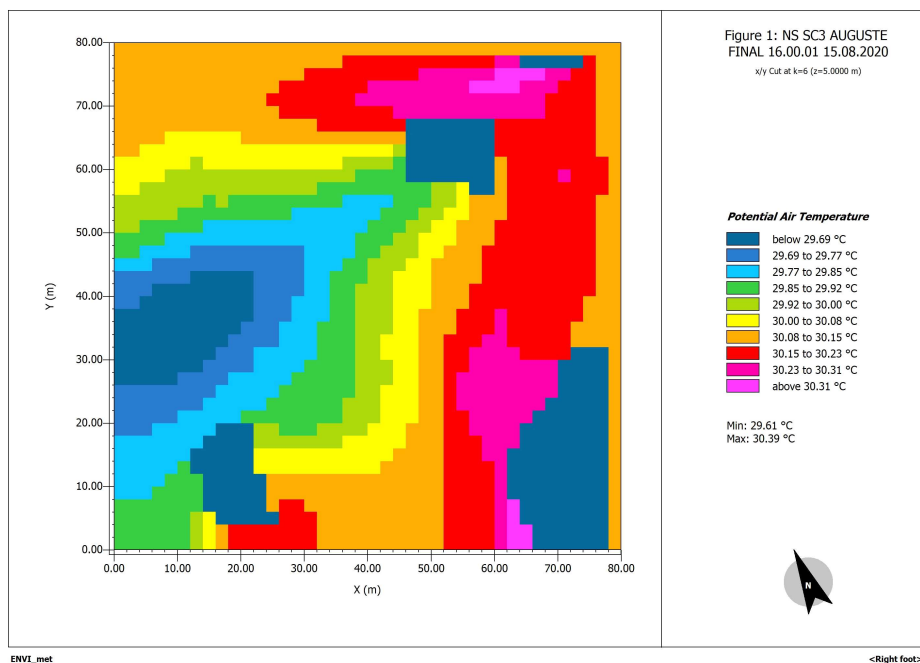
41. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



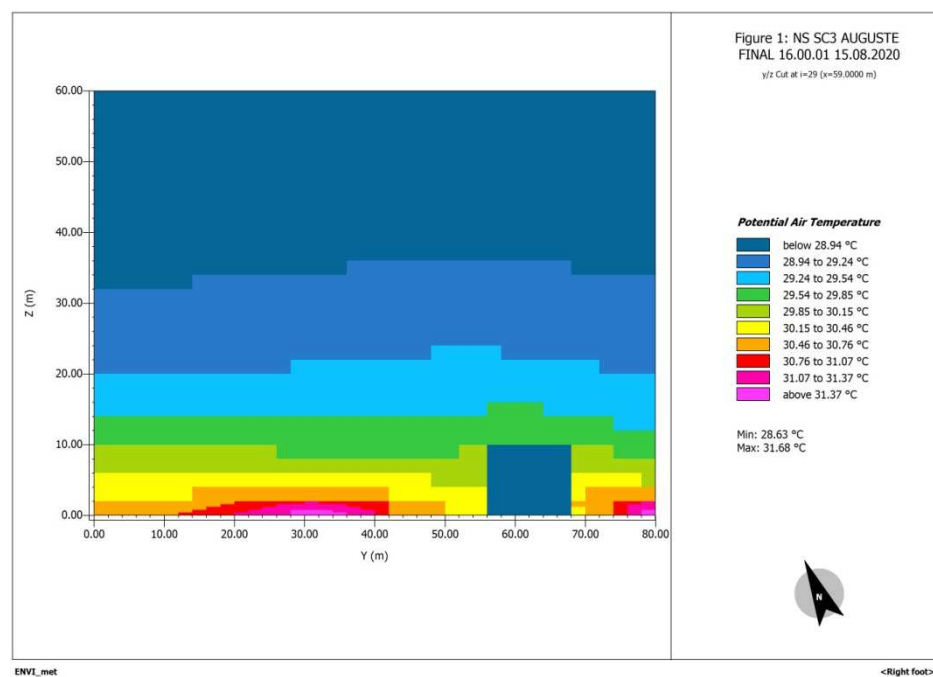
42. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



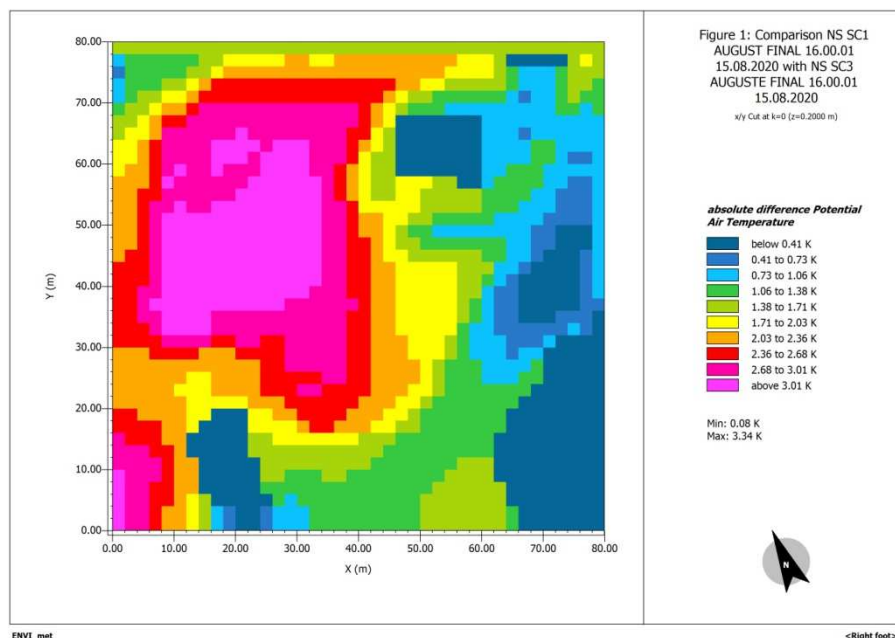
43. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



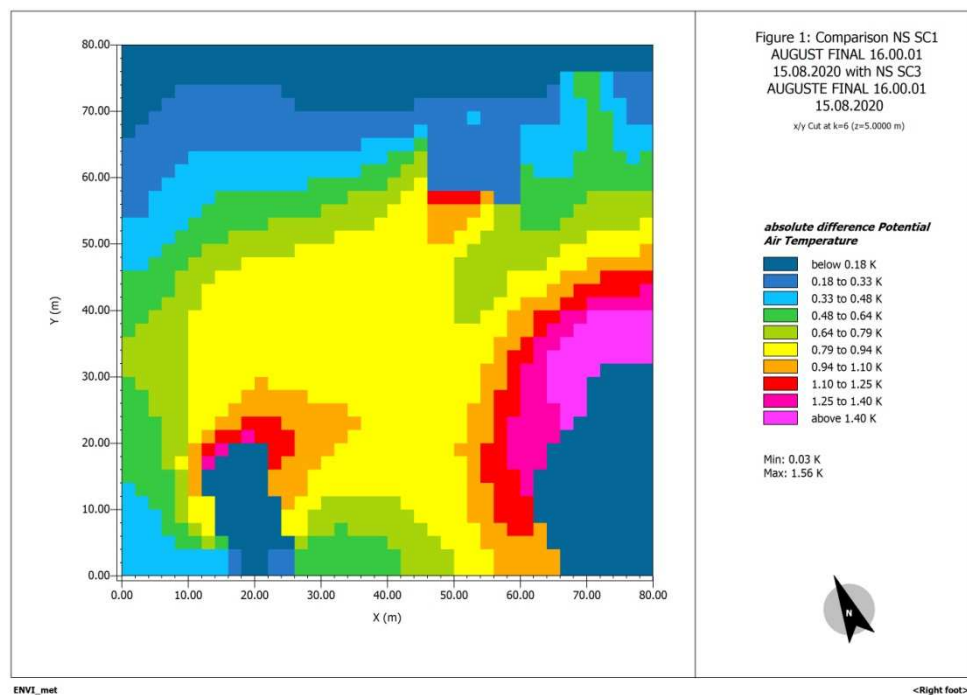
44. Σενάριο (SC3). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ'ύψος για τον μήνα **Αύγουστο**.



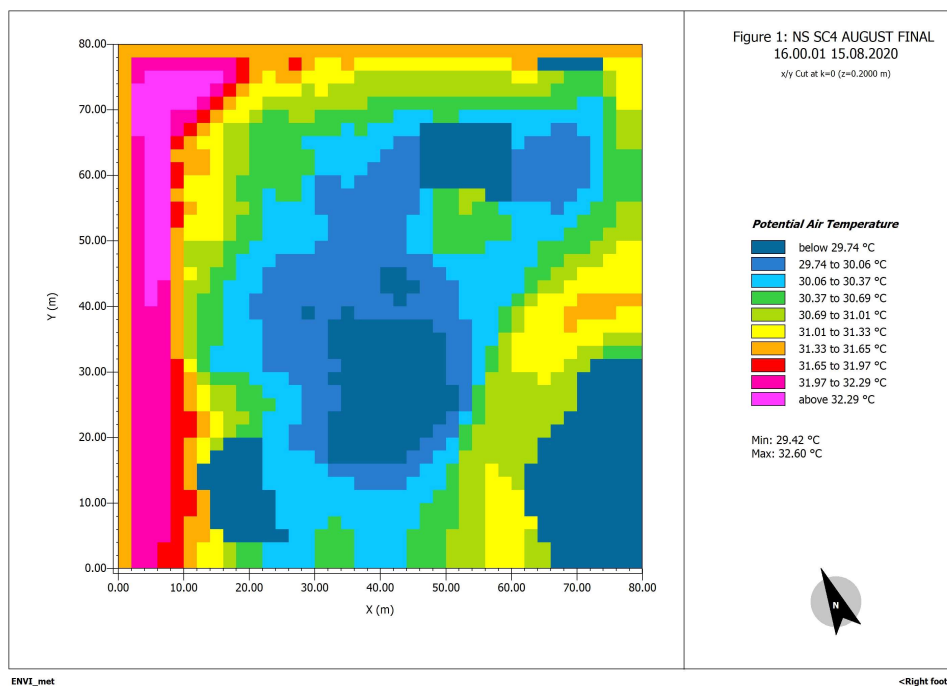
45. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα Αύγουστο σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



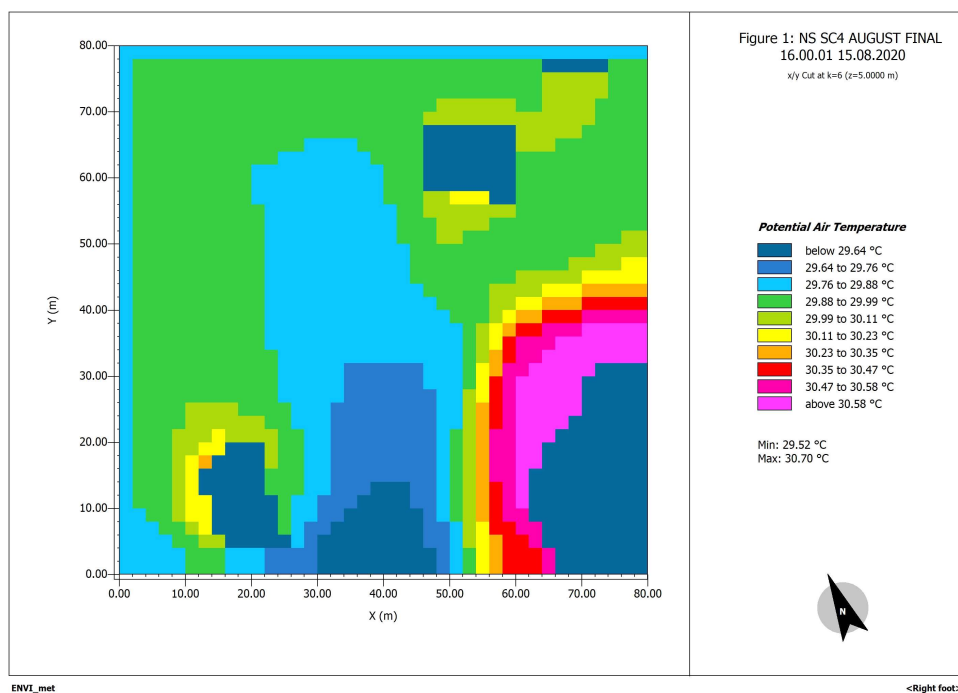
46. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα Αύγουστο σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



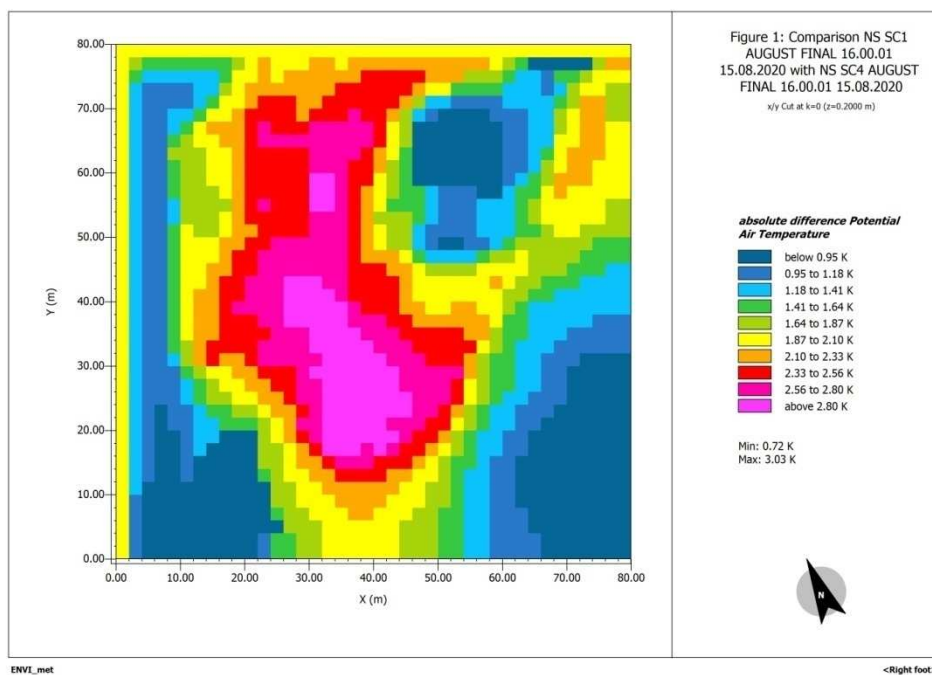
47. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



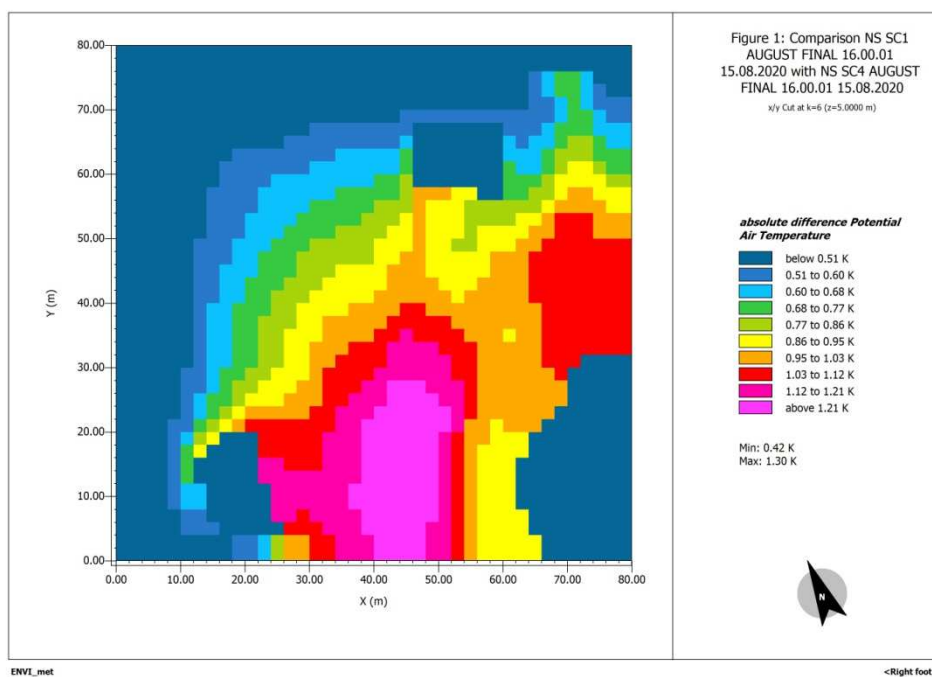
48. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



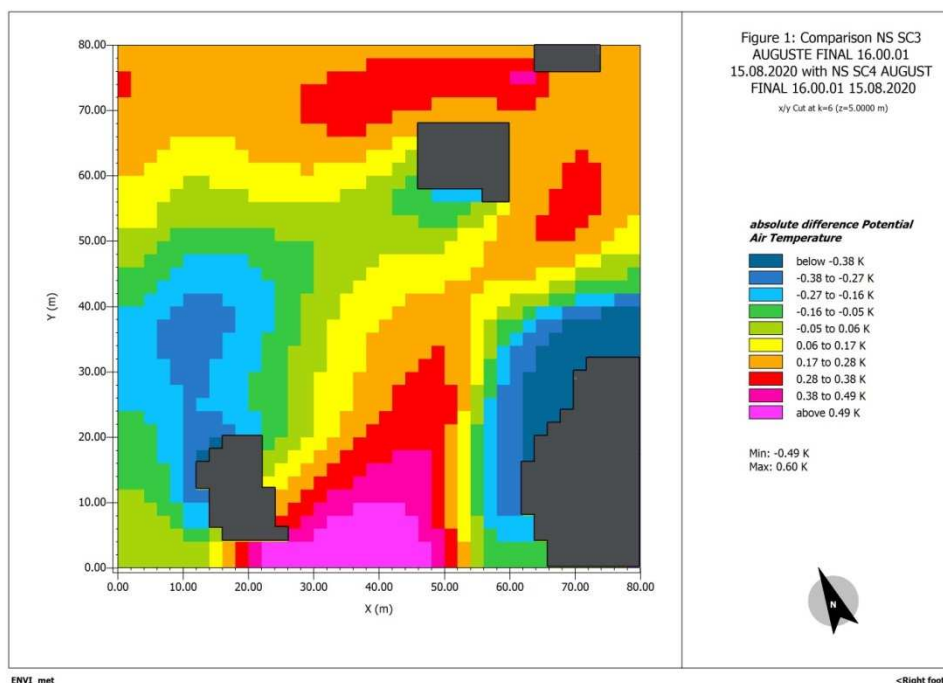
49. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Αύγουστο σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



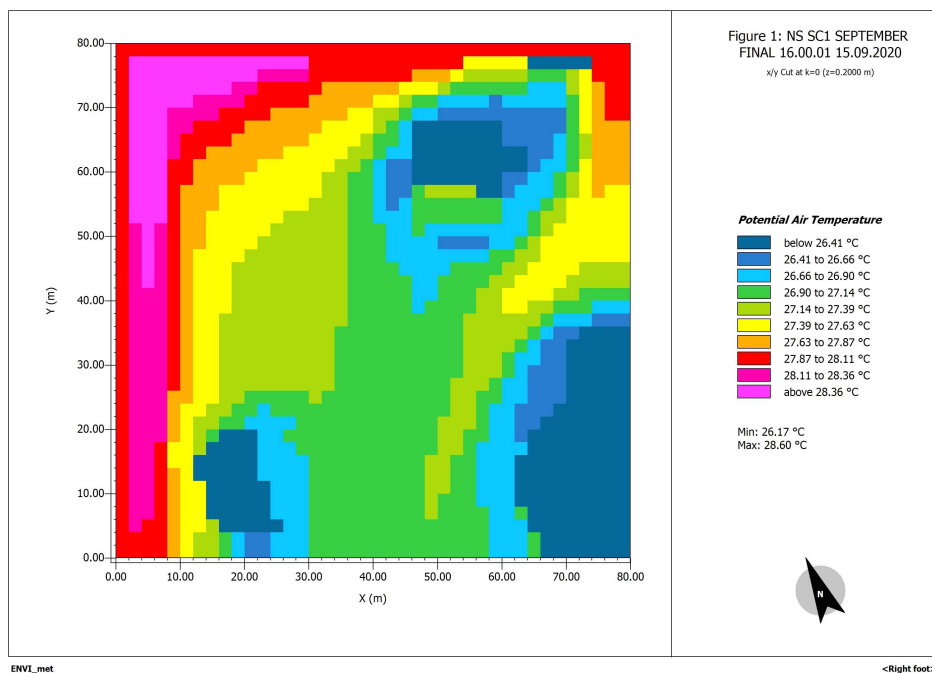
50. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Αύγουστο σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



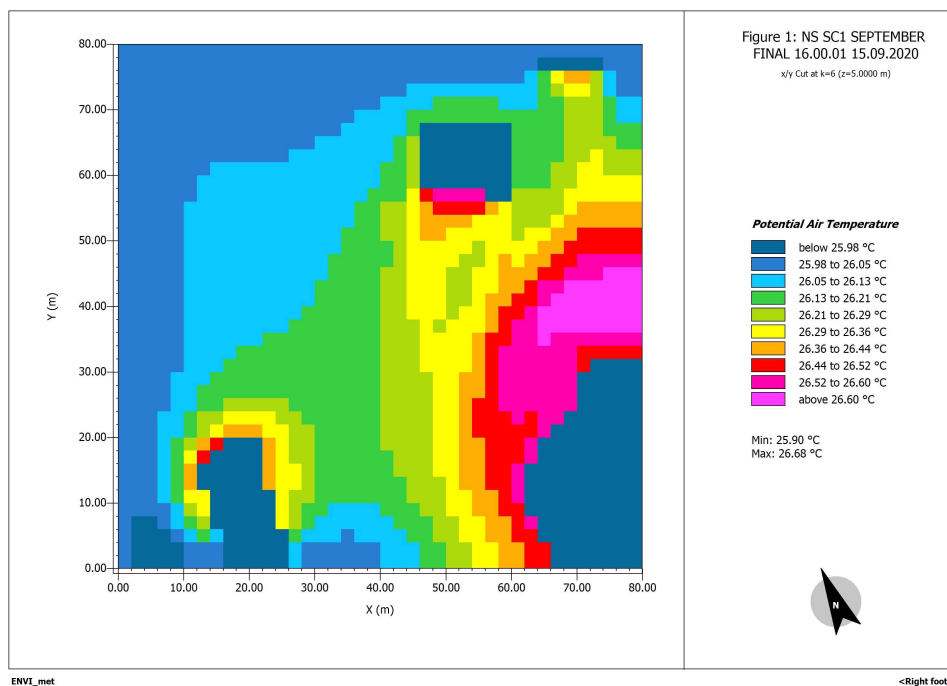
51. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC3-SC4 για τον μήνα **Αύγουστο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



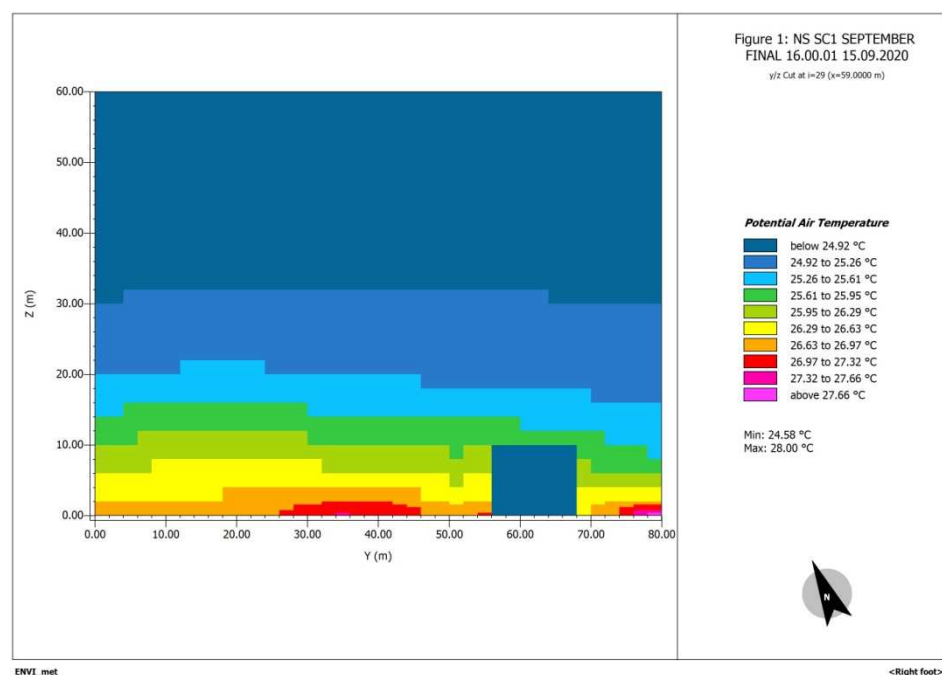
52. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



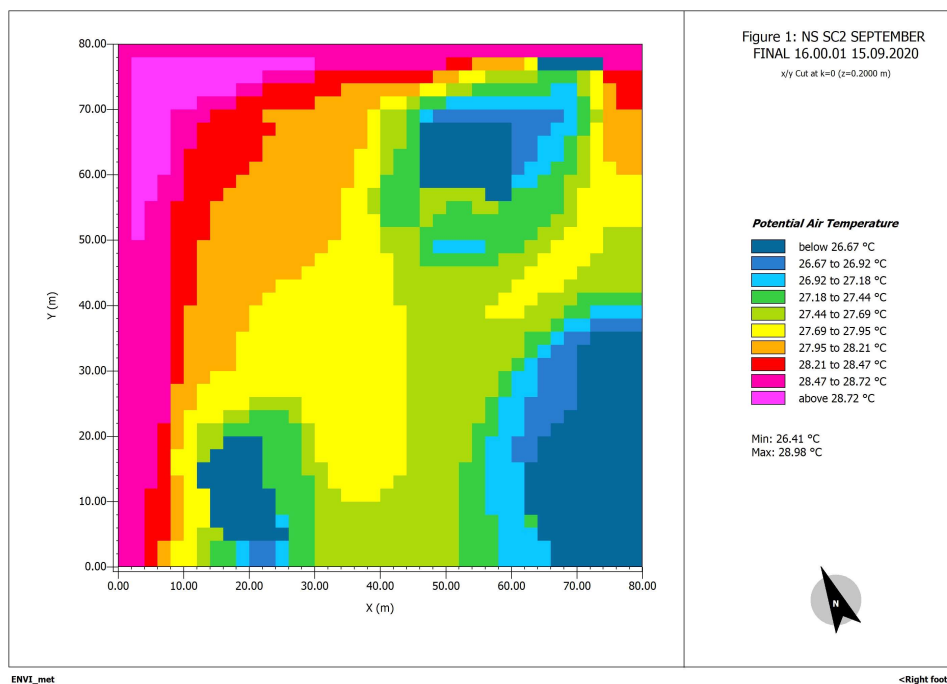
53. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



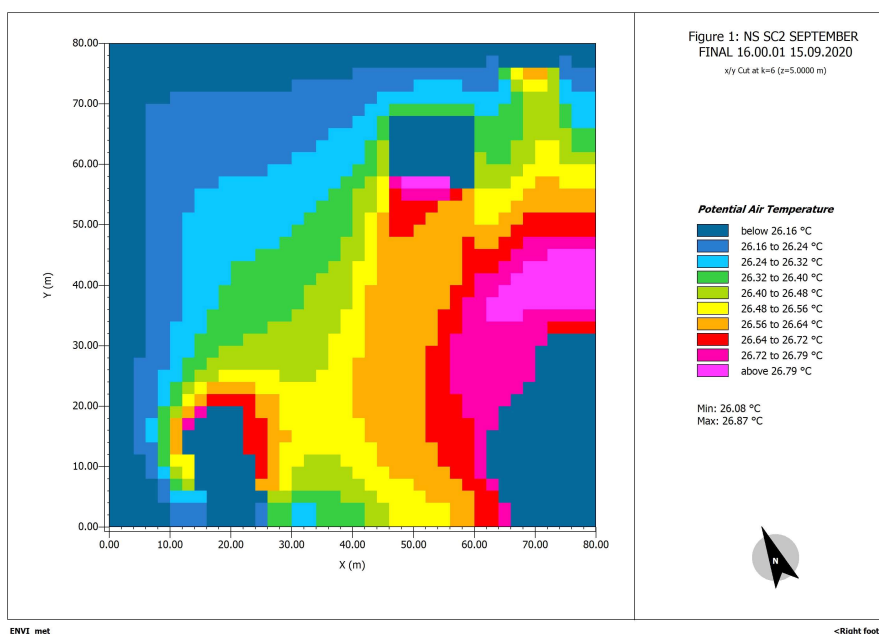
54. Σενάριο (SC1). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Σεπτέμβριο**.



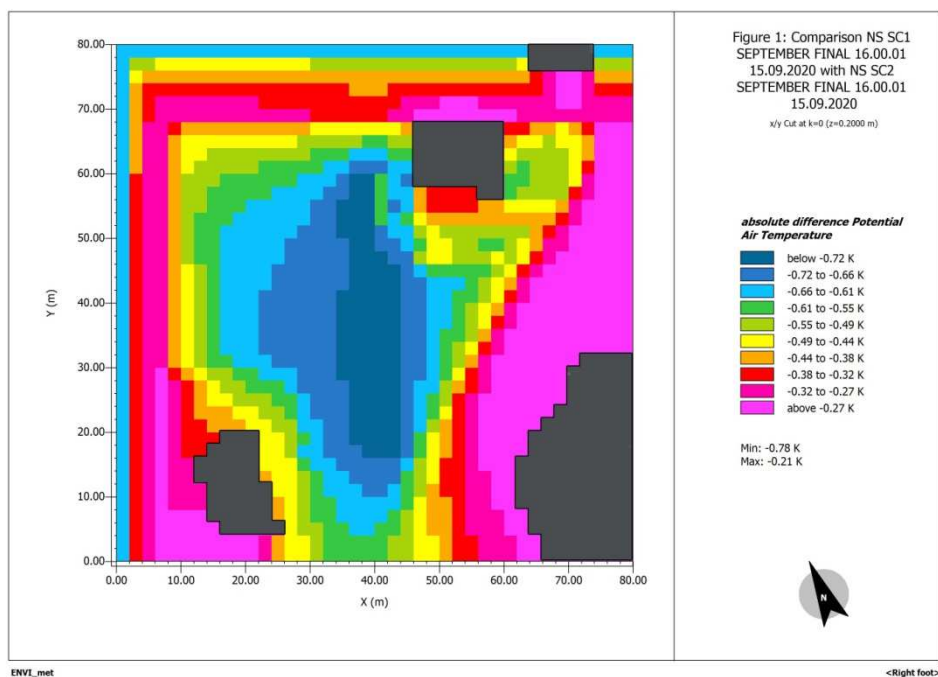
55. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



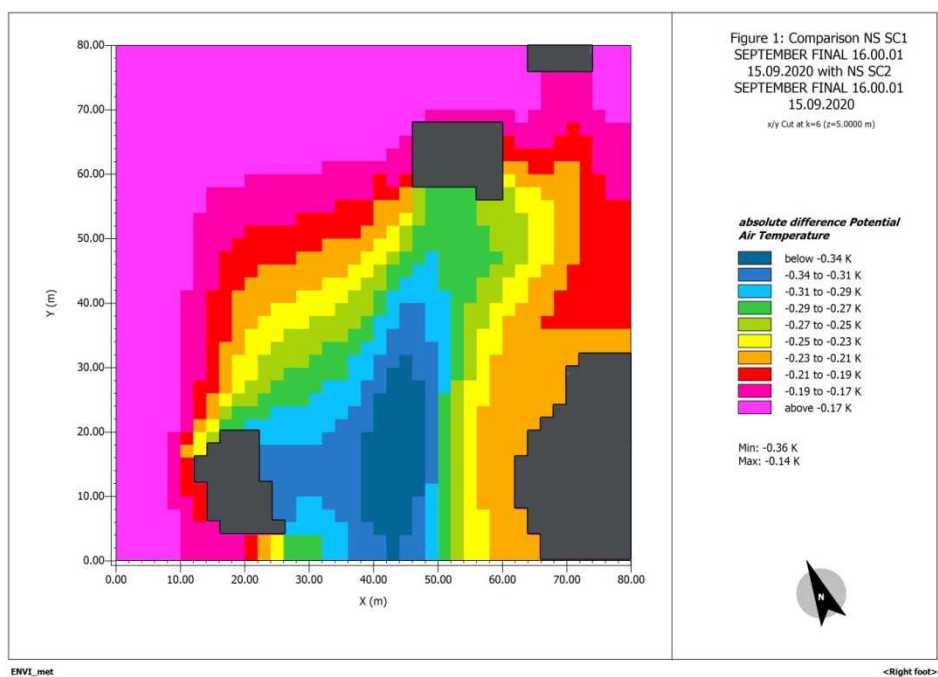
56. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



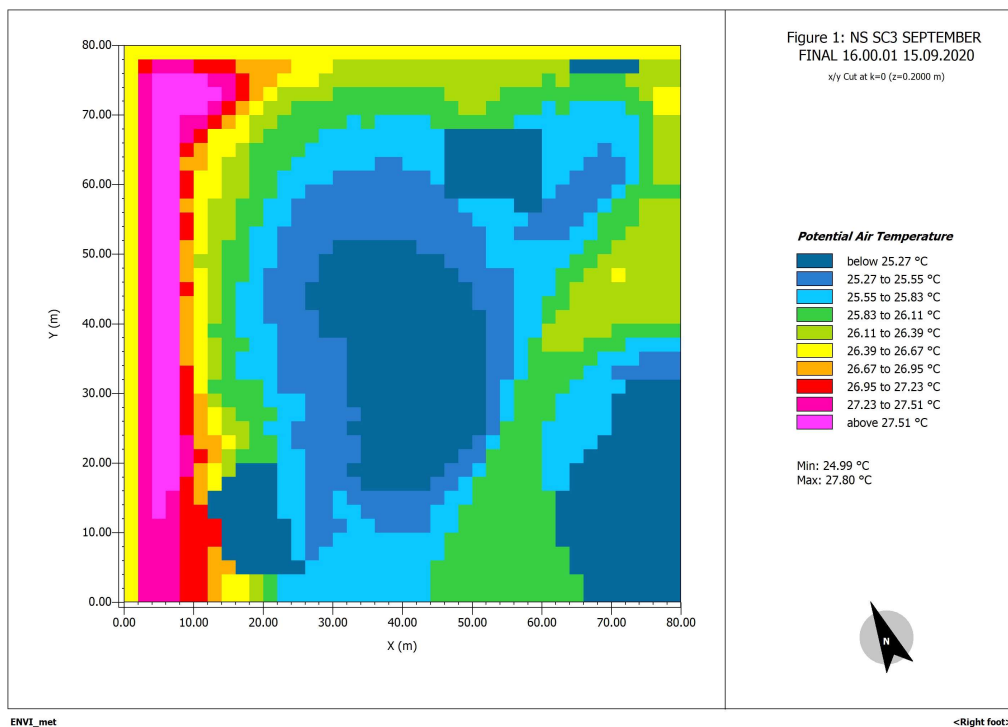
57. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



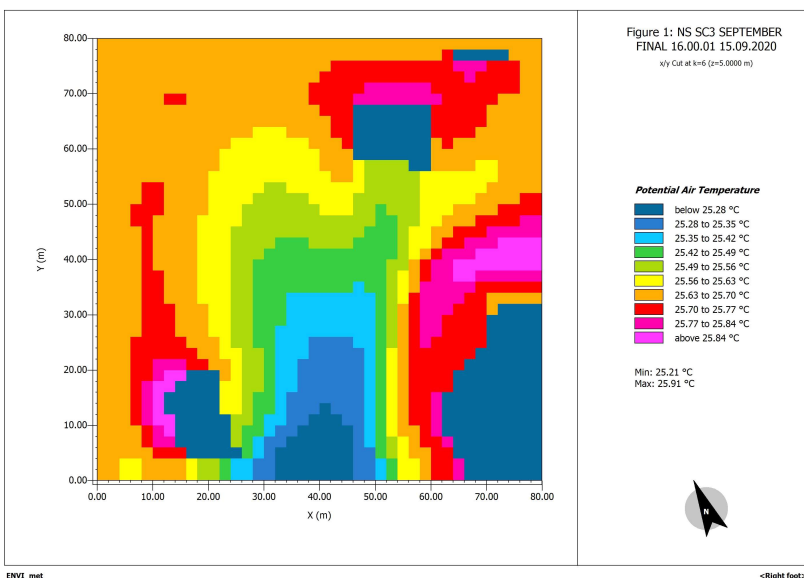
58. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



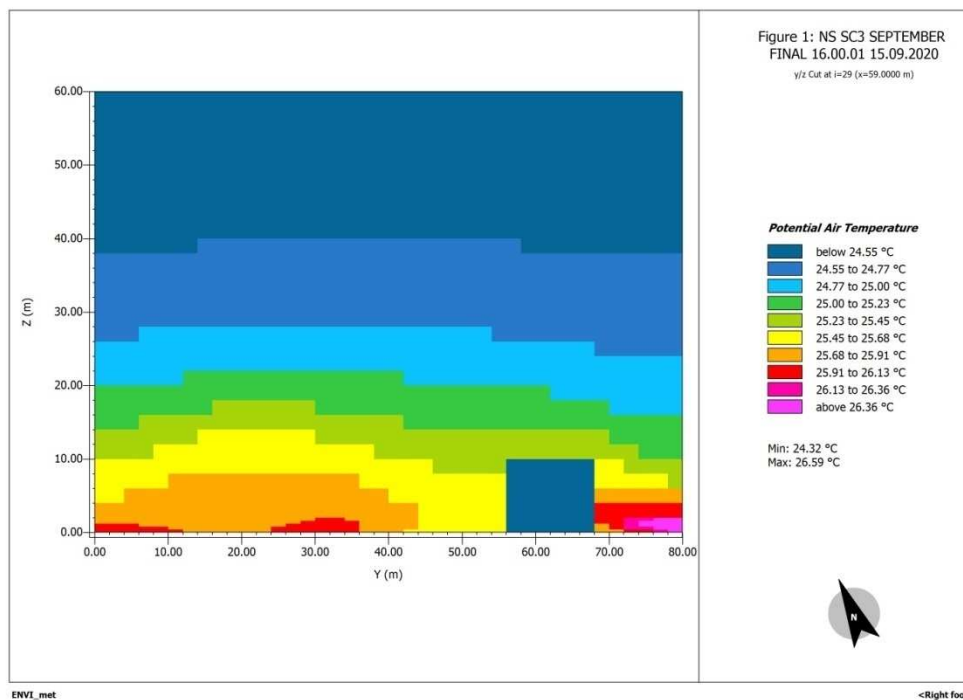
59. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



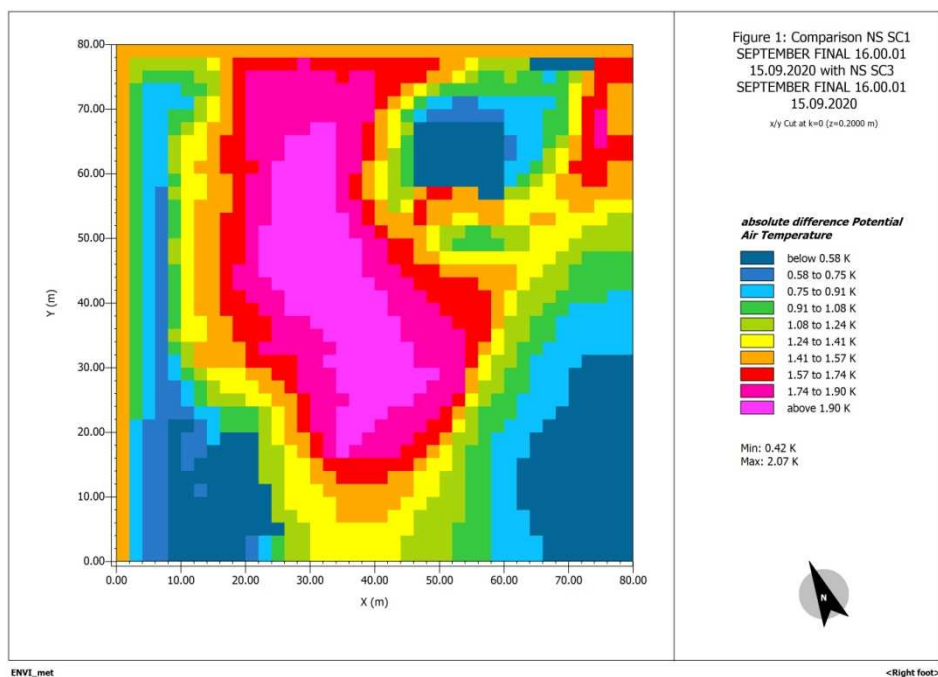
60. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



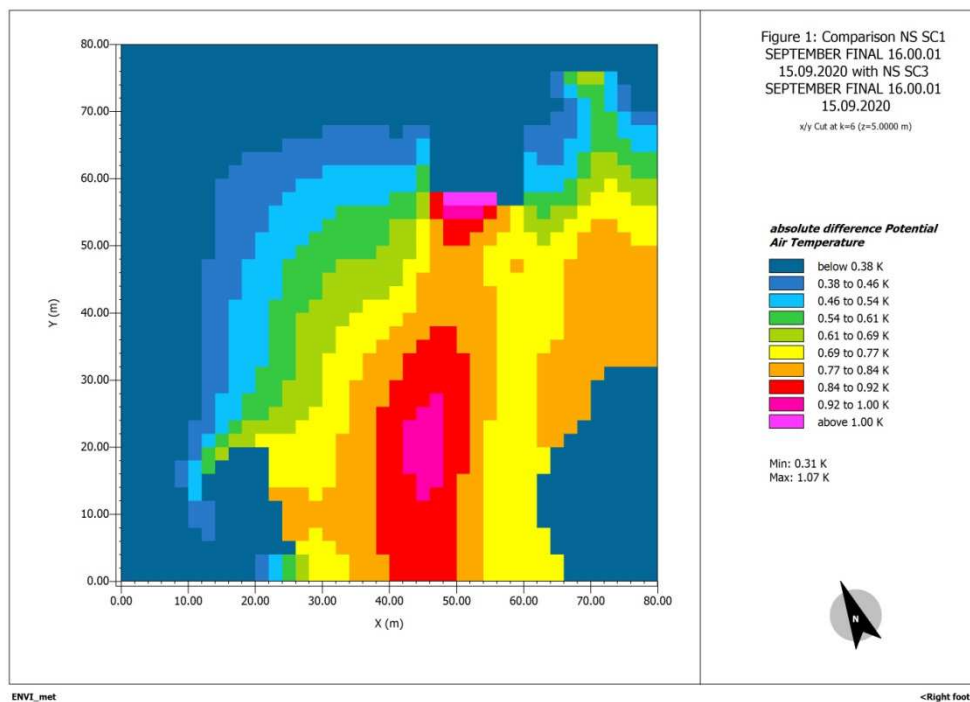
61. Σενάριο (SC3). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Σεπτέμβριο**.



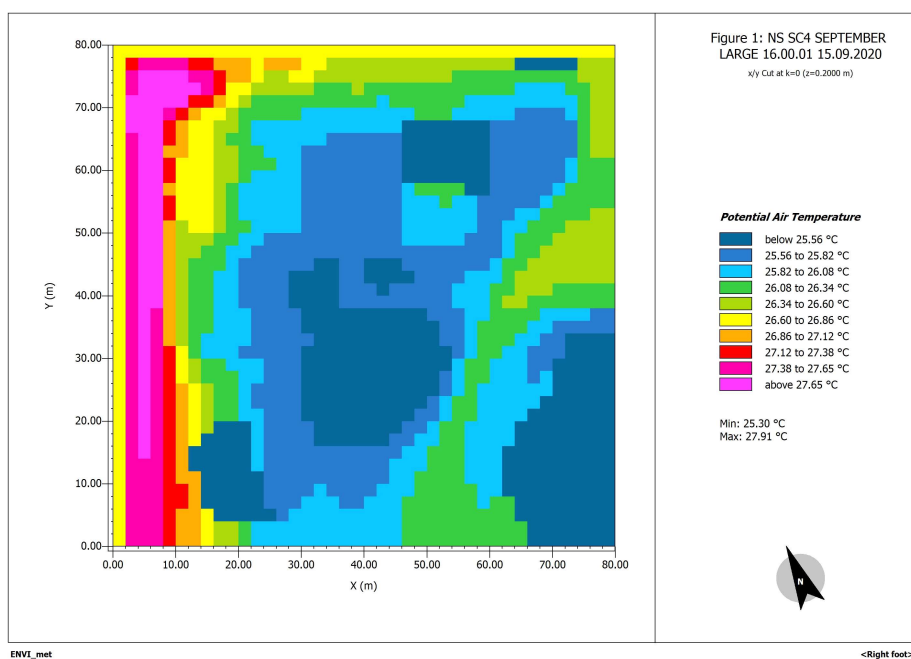
62. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



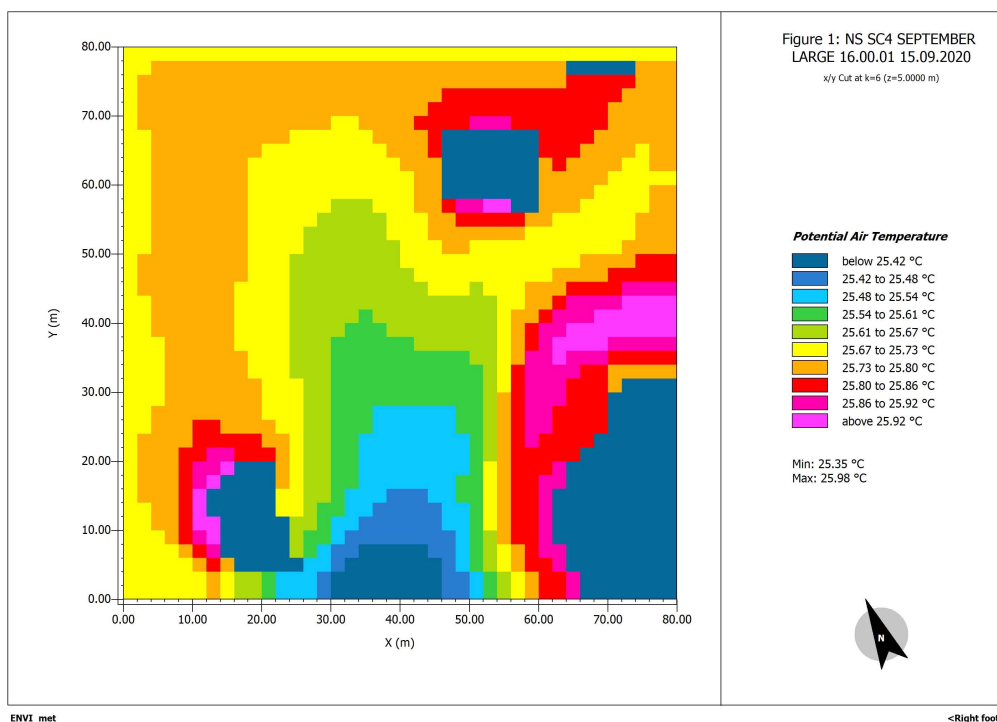
63. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα Σεπτέμβριο σε ύψος 5.0m από το έδαφος



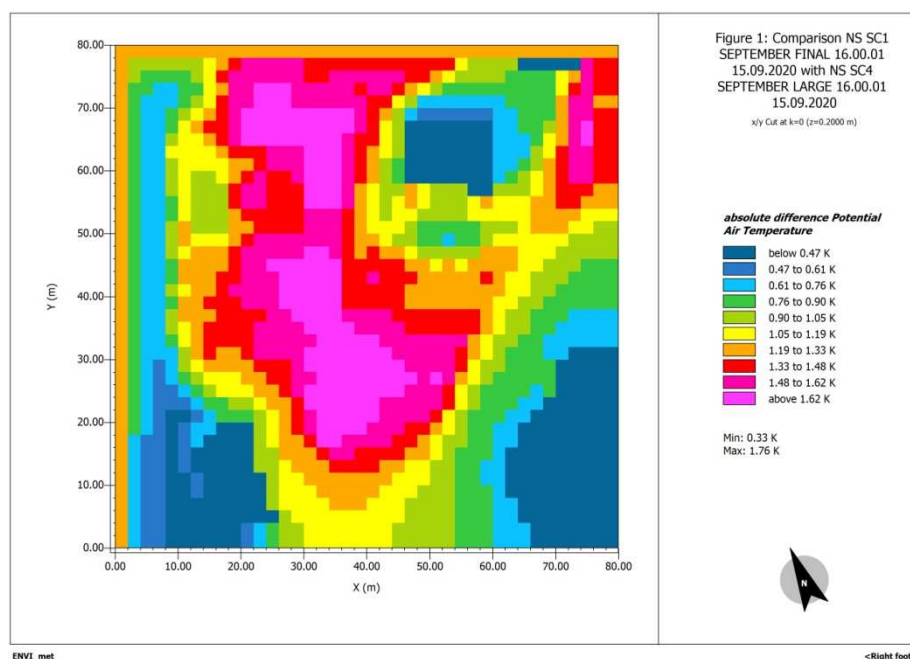
64. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Σεπτέμβριο σε ύψος 0.2m από το έδαφος



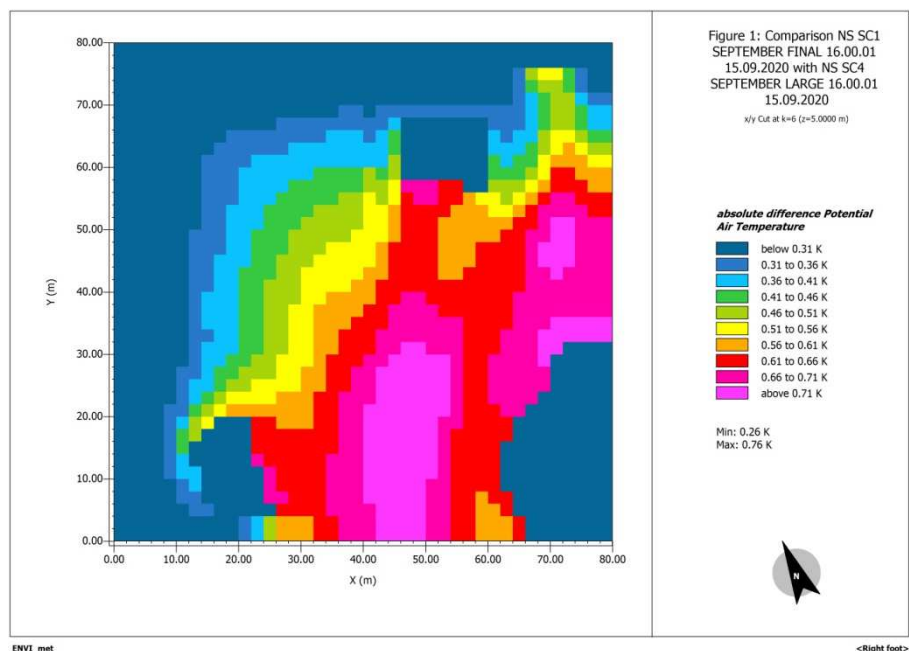
65. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



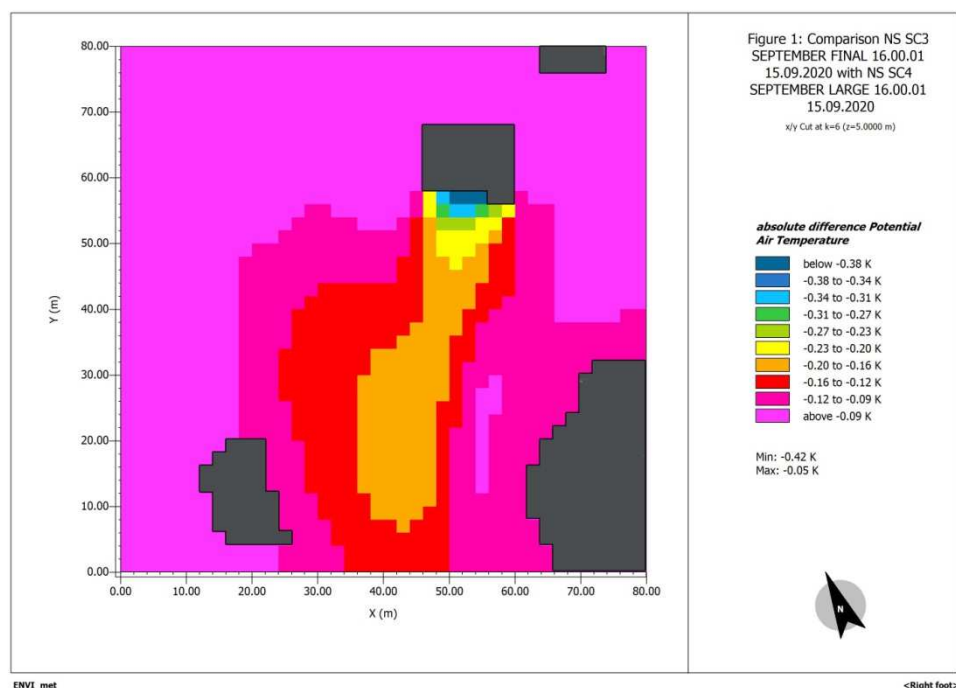
66. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα **Σεπτέμβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



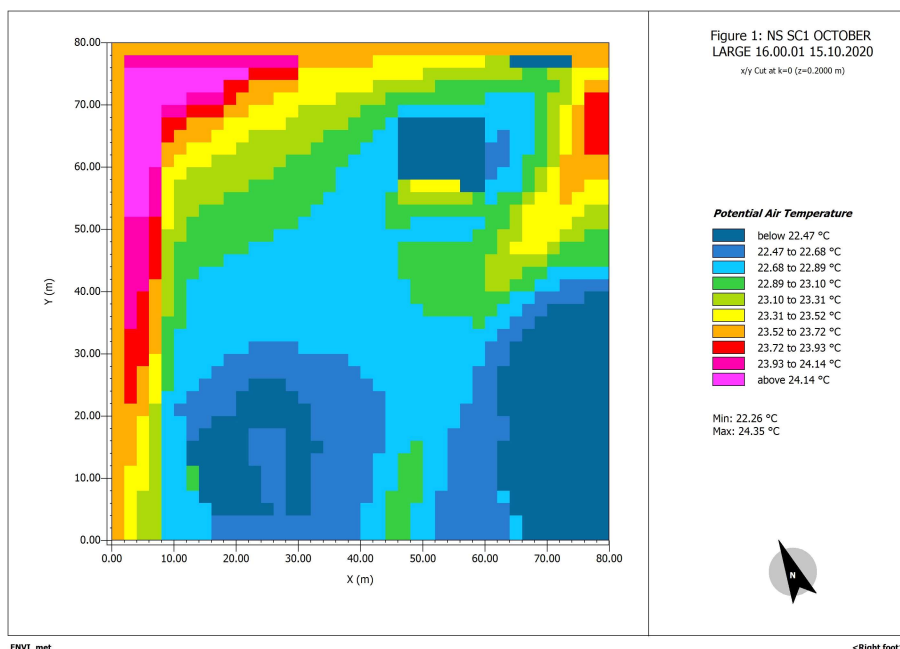
67. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα Σεπτέμβριο σε ύψος 5.0m από το έδαφος.



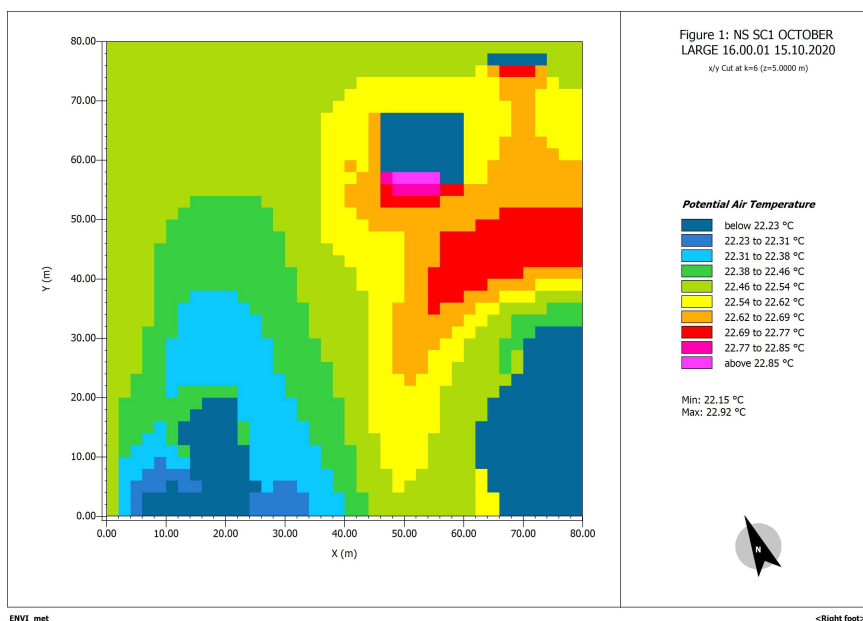
68. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC3-SC4 για τον μήνα Σεπτέμβριο σε ύψος 5.0m από το έδαφος.



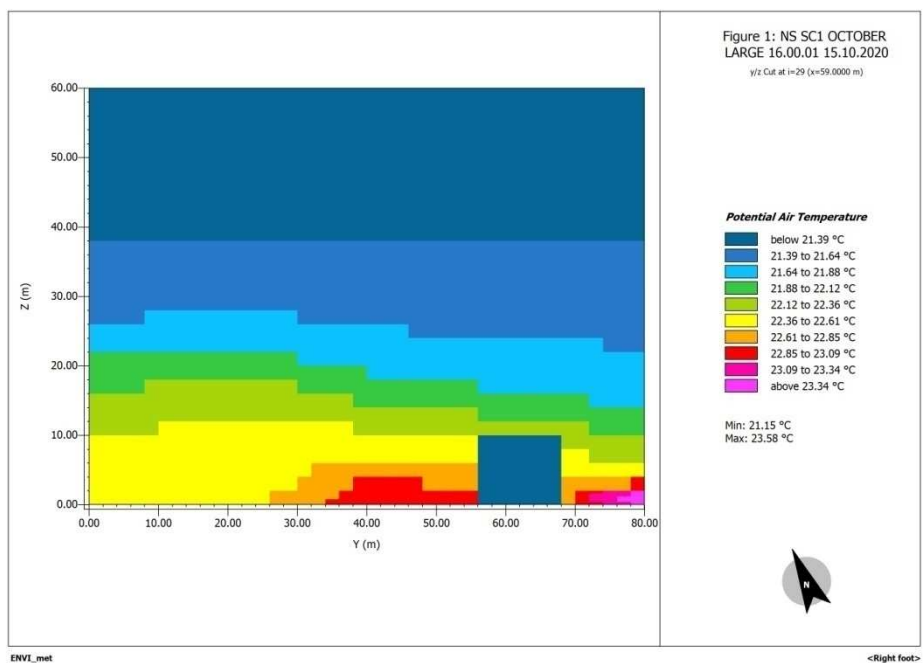
69. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



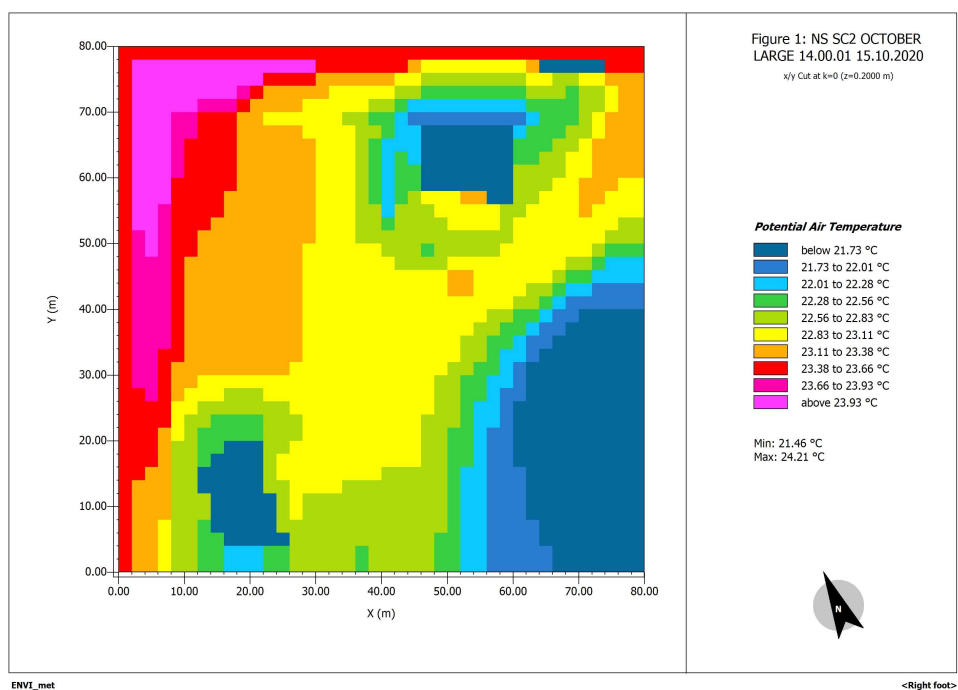
70. Σενάριο (SC1). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



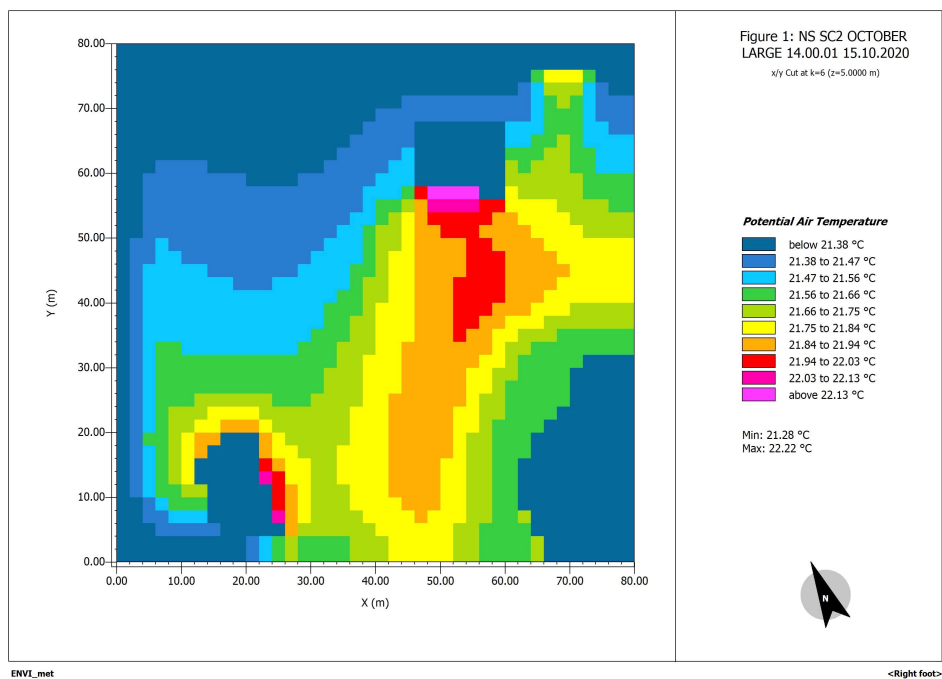
71. Σενάριο (SC1). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Οκτώβριο**.



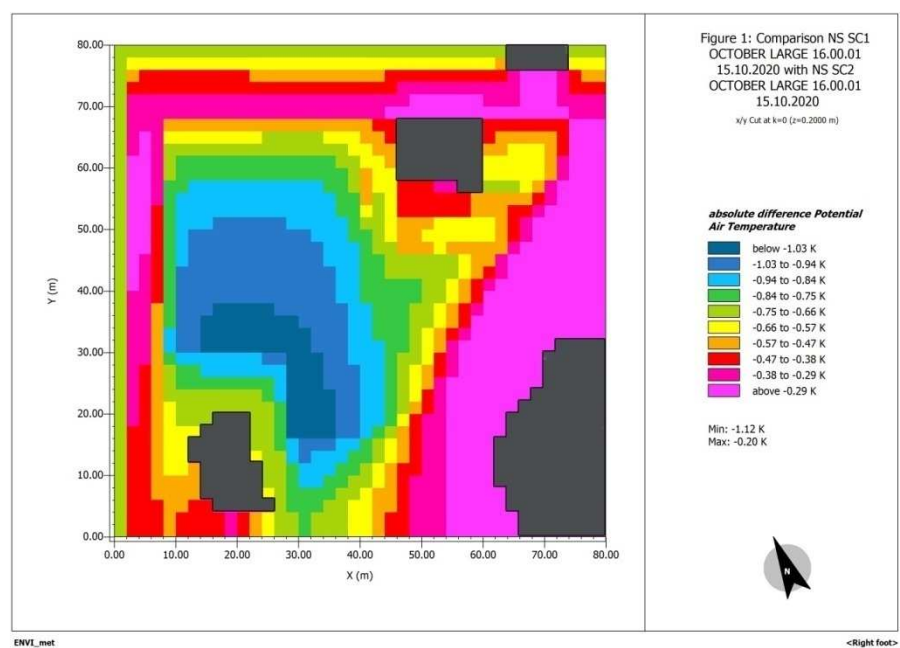
72. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



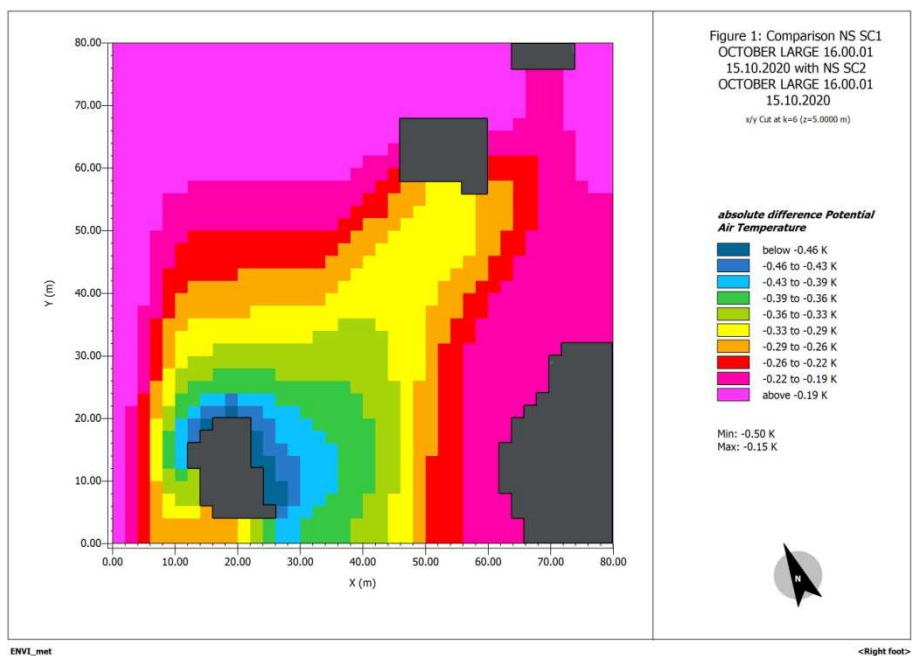
73. Σενάριο (SC2). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



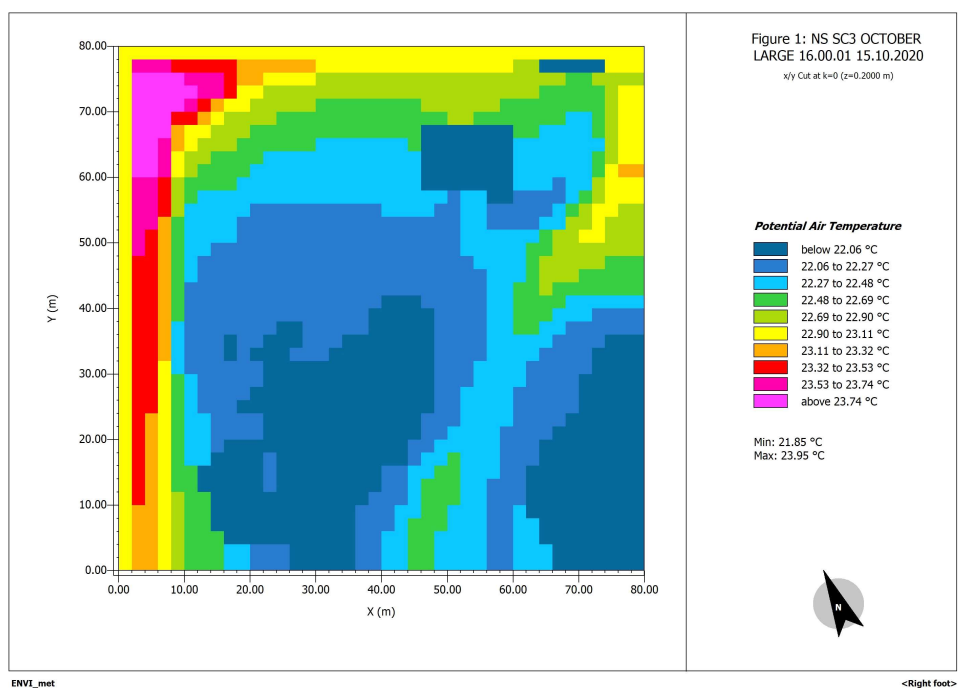
74. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



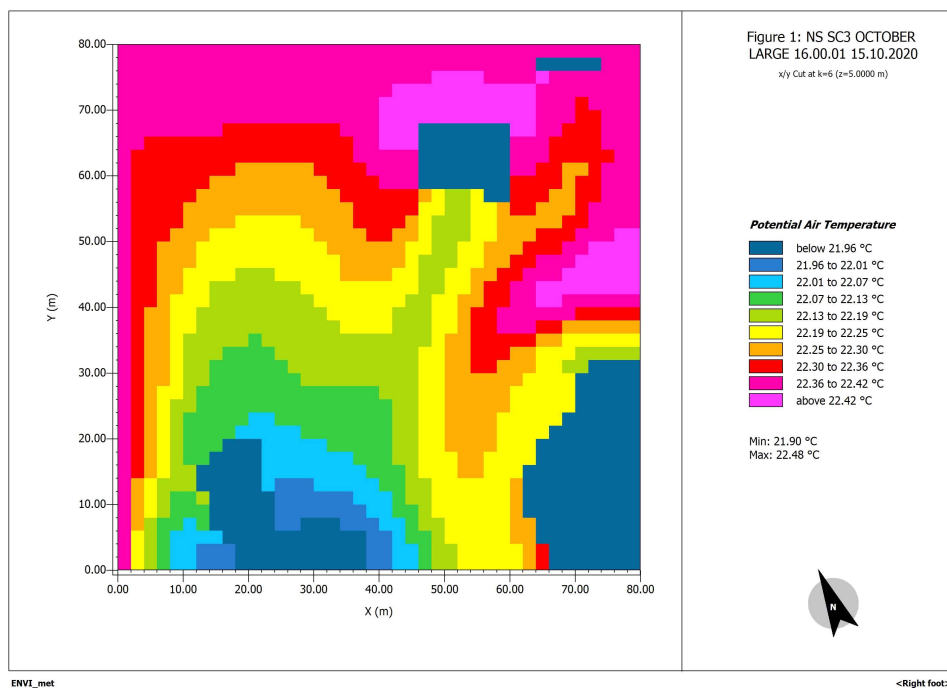
75. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC2 για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



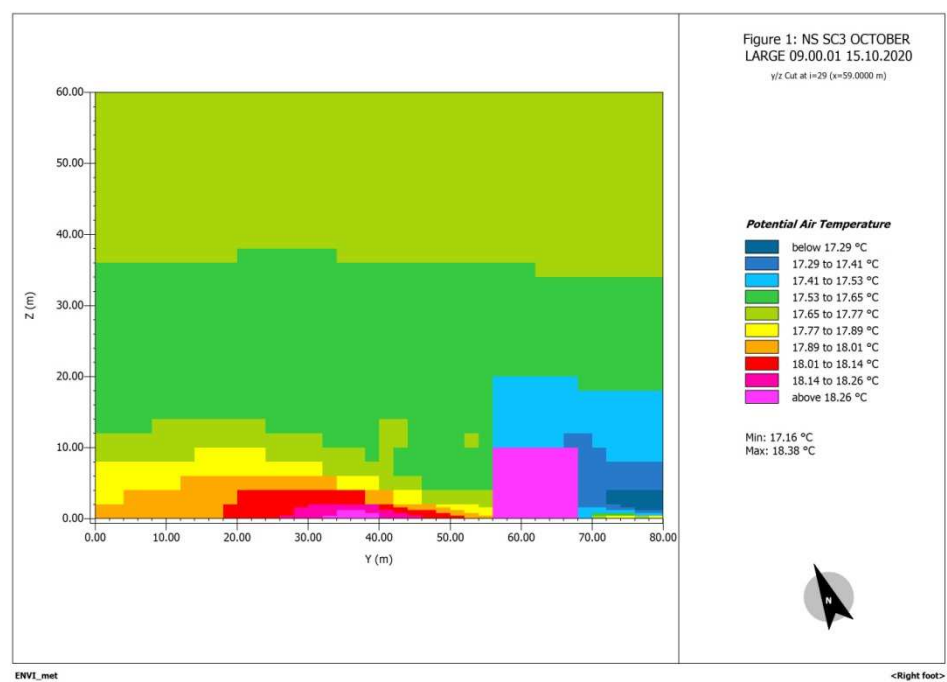
76. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



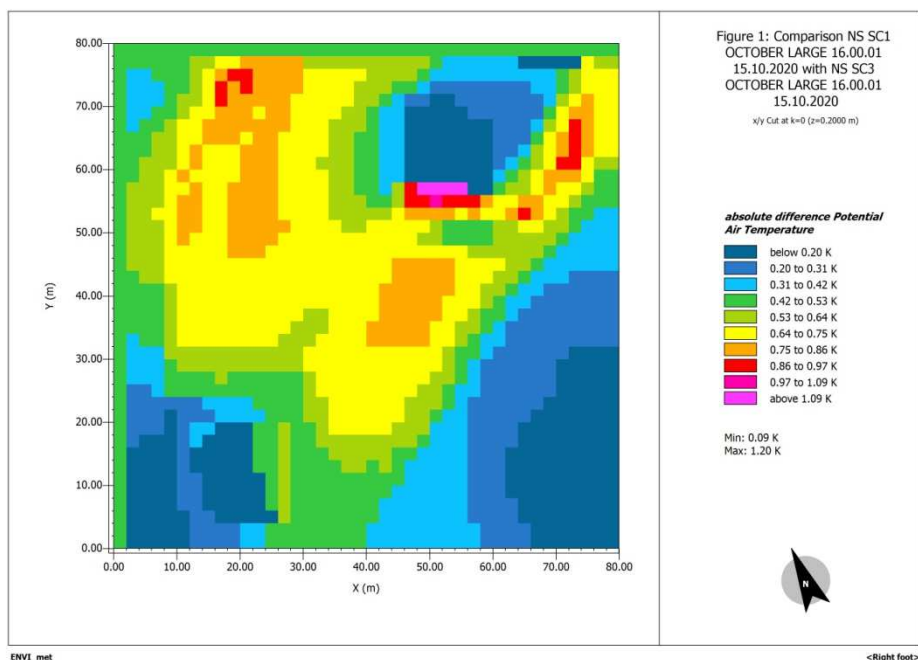
77. Σενάριο (SC3). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



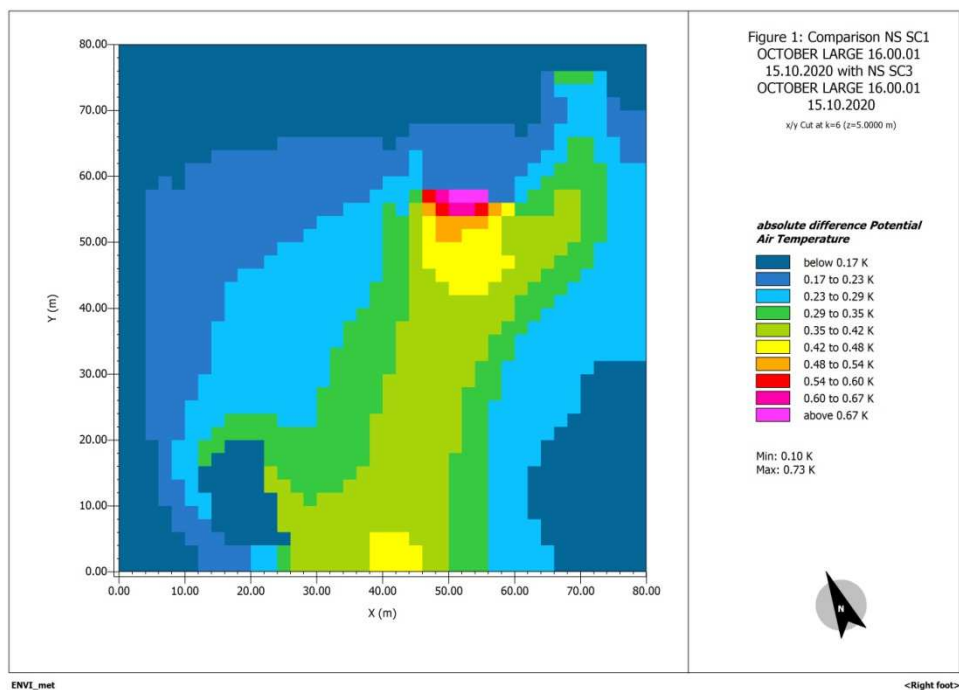
78. Σενάριο (SC3). Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα καθ' ύψος για τον μήνα **Οκτώβριο**.



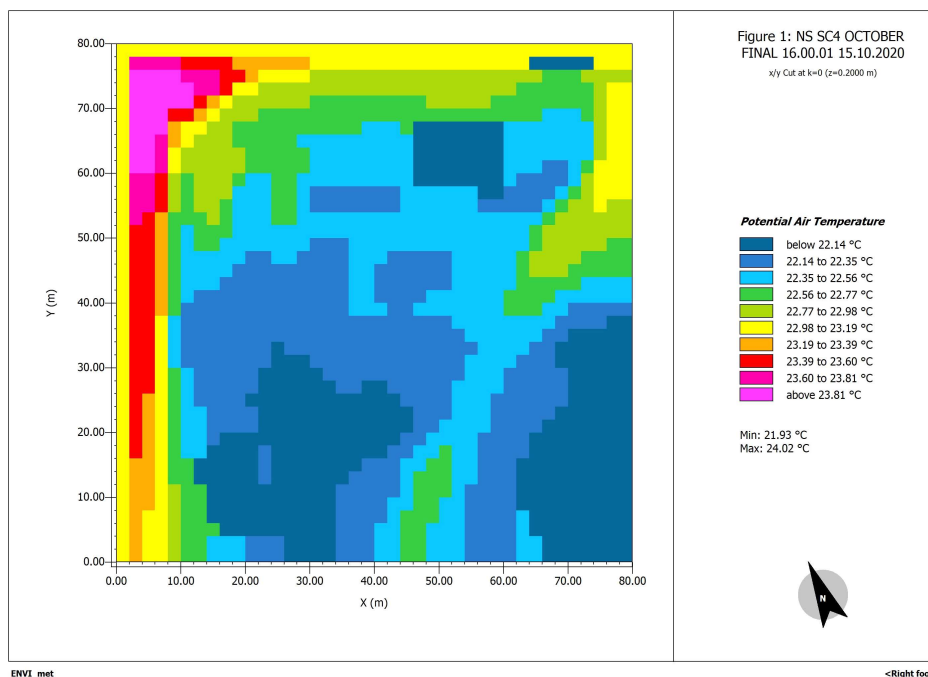
79. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



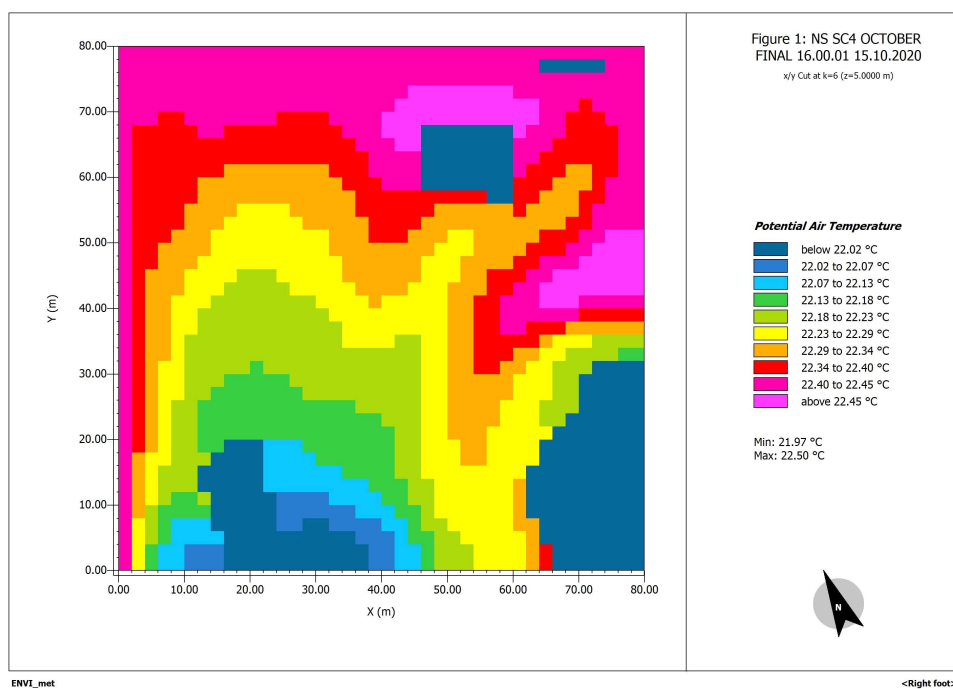
80. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC3 για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



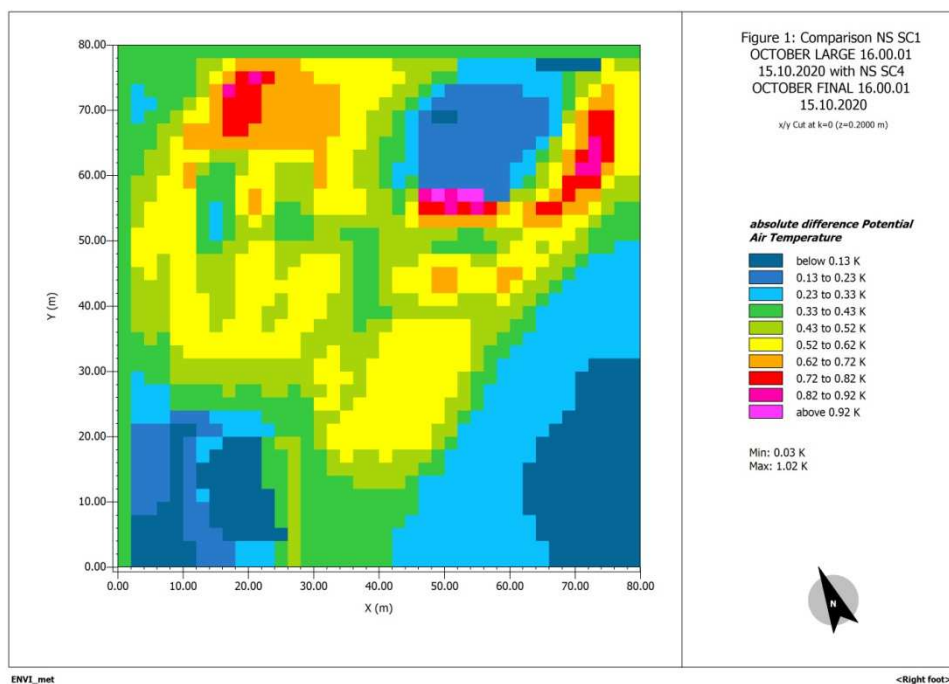
81. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος



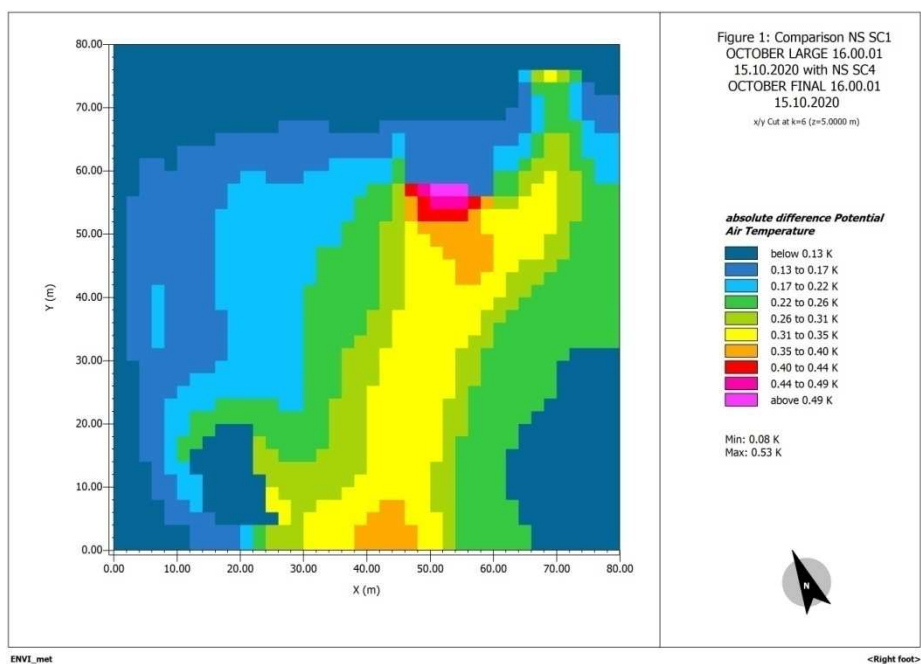
82. Σενάριο (SC4). Θερμοκρασία αέρα για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος



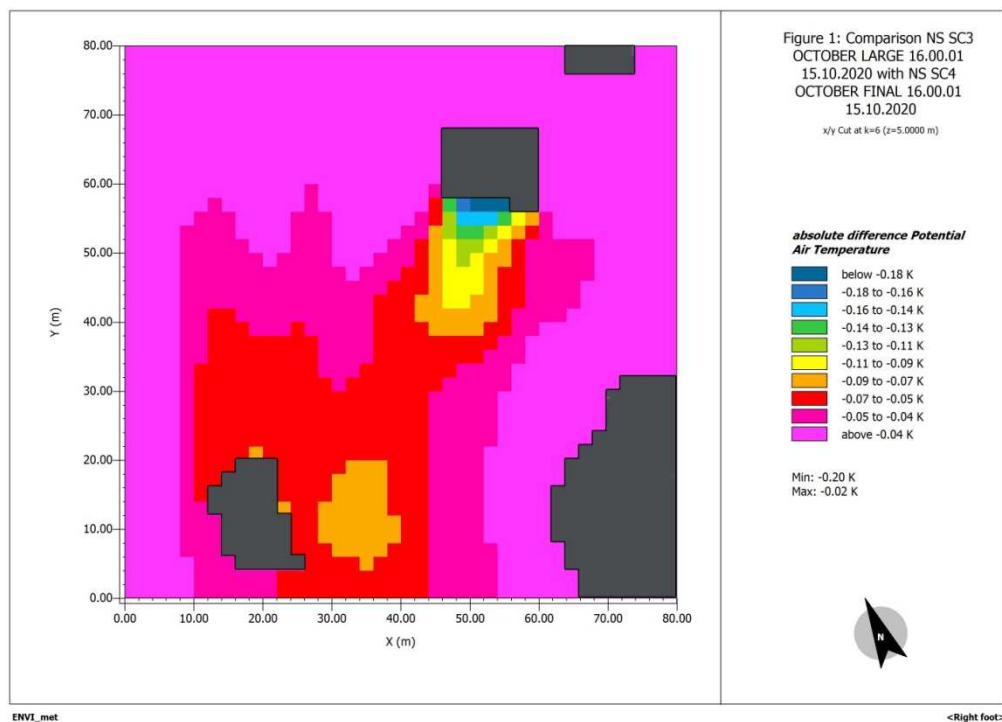
83. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **0.2m** από το έδαφος.



84. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC1-SC4 για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



85. Διαφοροποίηση θερμοκρασίας μεταξύ SC3-SC4 για τον μήνα **Οκτώβριο** σε ύψος **5.0m** από το έδαφος.



Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.