

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Μεταπτυχιακή διατριβή
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΗ ΛΕΜΕΣΟ

Μαρία Μαρασίνου

Λεμεσός 2012

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΗ ΛΕΜΕΣΟ

της
Μαρίας Μαρασίνου

Λεμεσός 2012

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Μαρία Μαρασίνου, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Χαραλαμπίδη Αλέξανδρο, για τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε κατά την πραγματοποίηση αυτής της διατριβής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη και τη βοήθεια που μου πρόσφεραν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα εξαρτώνται σημαντικά από τη μορφή και λειτουργία της πόλης καθώς και από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η ρύθμιση των επιπτώσεων τους είναι επιτακτική ανάγκη δεδομένης της ραγδαίας αύξησης του αστικού πληθυσμού και της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Στα πλαίσια αυτής της διατριβής γίνεται μελέτη στο αστικό κέντρο της Λεμεσού. Στην περιοχή αυτή εξετάζεται η ροή του αέρα, η ατμοσφαιρική ρύπανση που δημιουργείται από τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα των αυτοκινήτων που κινούνται σε ανοικτούς χώρους στάθμευσης καθώς και η θερμική επιβάρυνση από τη χρήση κλιματιστικών συστημάτων στα κτίρια. Όλα αυτά επιτυγχάνονται με τη χρήση του αριθμητικού υπολογιστικού μοντέλου Flovent 9.1, στο οποίο γίνεται η προσομοίωση των κτιρίων, των δρόμων και των χώρων στάθμευσης της περιοχής και εξάγονται τρισδιάστατα αποτελέσματα. Τα υπό μελέτη μεγέθη ορίζονται να είναι η κατανομή της ταχύτητας, η συγκέντρωση CO και η κατανομή της θερμοκρασίας. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της μελέτης, η ροή του αέρα επηρεάζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αστικού μοντέλου. Επιπλέον, μικρές συγκεντρώσεις CO από τα αυτοκίνητα των χώρων στάθμευσης διαδίδονται στην αστική περιοχή. Παράλληλα συμπεραίνεται ότι τα κλιματιστικά συστήματα μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του αστικού περιβάλλοντος γύρω από τα σημεία τοποθέτησης τους. Τέλος, προτείνονται αλλαγές που αφορούν τον αστικό σχεδιασμό και τη βελτίωση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον της πόλης κατά τη θερινή περίοδο. Επίσης, γίνονται εισηγήσεις που μπορούν να ακολουθηθούν σε μελλοντικές μελέτες ώστε να βελτιωθεί και να αναβαθμιστεί το αστικό περιβάλλον της πόλης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	ix
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xii
1. ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	1
1.1 Αστικό περιβάλλον και κλίμα	2
1.2 Κυκλοφορία αέρα στον αστικό χώρο.....	3
1.3 Βιωσιμότητα στο αστικό περιβάλλον	4
2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ.....	6
2.1 Εφαρμογές.....	6
2.2 Στάδια προσομοίωσης CFD	7
2.3 Μαθηματικό υπόβαθρο	8
2.4 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της χρήσης CFD.....	9
2.5 Εμπορικός κώδικας FLOVENT.....	10
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	11
3.1 Περιγραφή της υπό μελέτη περιοχής	11
3.2 Μεθοδολογία προσομοίωσης της αστικής περιοχής με τη χρήση υπολογιστικού κώδικα FloVent9.1.....	14
3.2.1 Σχεδιασμός γεωμετρίας-τριδιάστατο μοντέλο της αστικής περιοχής	15
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Α ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	18
4.1 Εισαγωγή.....	18

4.2	Ανάλυση αποτελεσμάτων Α περίπτωσης για τον άξονα y και z.....	19
4.3	Ανάλυση αποτελεσμάτων Α περίπτωσης άξονας x	26
5.	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ- ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	32
5.1	Εισαγωγή.....	32
5.2	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	33
5.3	Εκπομπές CO στην Κύπρο.....	34
5.4	Εφαρμογές CFD για έλεγχο των εκπομπών CO	35
6.	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ	37
6.1	Μεθοδολογία.....	37
6.2	Αποτελέσματα Β περίπτωσης	39
6.3	Ανάλυση αποτελεσμάτων Β περίπτωσης.....	44
7.	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	45
7.1	Εισαγωγή.....	45
7.2	Ανθρωπογενής θερμότητα.....	46
7.3	Προσομοίωση Γ περίπτωσης- μεθοδολογία.....	47
7.4	Προσομοίωση Γ περίπτωσης- ανάλυση αποτελεσμάτων.....	48
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	58
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	60
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κλιματολογικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό Δημόσιου Κήπου στη Λεμεσό.....	13
Πίνακας 2: Πηγές CO σε χώρους στάθμευσης.....	39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: Κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του αέρα. Η συνεχής καμπύλη εκφράζει το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα πάνω από τα κτίρια και η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει το αέριο στρώμα ανάμεσα στο έδαφος και το ύψος των κτιρίων.	4
Εικόνα 2: Αστική περιοχή στην πόλη Λεμεσό που επιλέχτηκε για την προσομοίωση με χρήση του προγράμματος FloVent	12
Εικόνα 3: Συντεταγμένες της κτισμένης περιοχής και του χώρου που την περιβάλλει.	16
Εικόνα 4: Προσομοίωση στον κάθε άξονα (x,y,z). Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζετε η πλευρά που ρέει ο άνεμος προς την αστική περιοχή.	16
Εικόνα 5 : Τρισδιάστατη προσομοίωση αστικής περιοχής στην πόλη Λεμεσό.	17
Εικόνα 6: Τρισδιάστατο μοντέλο της αστικής περιοχής	17
Εικόνα 7: Ροή του ανέμου σε αστικές χαράδρες με διαφορετικές γεωμετρικές αναλογίες: α. μικρή αναλογία H/W β. μέτρια αναλογία H/W και γ. μεγάλη αναλογία H/W	19
Εικόνα 8: α) Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε ύψος 20m (άξονας -y), β) κατανομή της ταχύτητας σε χαμηλότερο ύψος (14.1 m) εντός της αστικής περιοχής (άξονας -y).....	20
Εικόνα 9: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα στο αστικό μοντέλο σε ύψος 8.1 m (άξονας - y). 21	
Εικόνα 10: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 250 m (Άξονας -z).....	21
Εικόνα 11: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 210 m και β) 225m (Άξονας -z).	22
Εικόνα 12: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 220m (Άξονας -z).....	22
Εικόνα 14: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 310 m (Άξονας- z).....	23
Εικόνα 13: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α)220 m και β)230m (Άξονας- z) 23	
Εικόνα 15: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α)240 m και β)260m (Άξονας -z)24	
Εικόνα 16: Αστικές χαράδρες: α) μέτρια αναλογία H/W, β) μεγάλη αναλογία H/W, γ)μεγάλη αναλογία H/W (άξονας -z).....	25
Εικόνα 17: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 420 m, β) 355 m γ) 275 m (Άξονας -x)	27
Εικόνα 18: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 355 m και β) 360 m (Άξονας - x)	28

Εικόνα 19: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 227 m (Άξονας - x).....	28
Εικόνα 20: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 260 m και β) 310 m (Άξονας - x)	29
Εικόνα 21: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 140 m (Άξονας - x)	29
Εικόνα 22: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 380 m (Άξονας - x).....	30
Εικόνα 23: Εκπομπές Μονοξειδίου του Άνθρακα (σε ktn) ανά Τομέα.....	35
Εικόνα 24: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.01 ppm.....	40
Εικόνα 25: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.03 ppm.....	41
Εικόνα 26: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.08 ppm.....	42
Εικόνα 27: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.1 ppm.....	42
Εικόνα 28: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.5 ppm.....	43
Εικόνα 29: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 1 ppm.....	43
Εικόνα 30: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30 μέχρι 30,4°C σε ύψος 5,2m.....	49
Εικόνα 31: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30°C μέχρι 30,7°C σε ύψος 12,3m.....	49
Εικόνα 32: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30°C μέχρι α) 30,9°C και β) 31,3°C σε ύψος 12,3m.	50
Εικόνα 33: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30°C μέχρι 31°C άξονας y.....	50

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΥΤΑ:	Αρχή Τηλεπικοινωνιών Κύπρου
CO:	Μονοξείδιο του Άνθρακα
CFD:	Computational Fluid Dynamics (Υπολογιστική ρευστοδυναμική)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αστικό κέντρο της πόλης της Λεμεσού είναι ένας πυκνοδομημένος χώρος με πολυώροφα κτίρια που λειτουργούν κατά βάση ως γραφεία και καταστήματα, ενώ η δομή του έχει δημιουργηθεί χωρίς ουσιώδη προγραμματισμό με βάση κυρίως τη δομή του παραδοσιακού οδικού δικτύου. Το κέντρο της πόλης εξυπηρετείται κυρίως από στενούς δρόμους περιορισμένης χωρητικότητας. Η οργάνωση αυτή οδηγεί σε υπερφόρτωση των οδικών αρτηριών και σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο επανασχεδιασμός του αστικού ιστού δεν είναι πλέον εφικτός, γίνεται επιτακτική η ανάγκη για μελέτη διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι, θα βρεθούν κατάλληλες λύσεις για την προστασία του αστικού χώρου και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Πρώτος σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει την κυκλοφορία του αέρα στο αστικό περιβάλλον. Η γνώση αυτή είναι απαραίτητη τόσο για την αξιολόγηση των συνθηκών άνεσης όσο και για τη βελτίωση του περιβάλλοντος. Κατόπιν, διερευνήθηκε το πρόβλημα της αστικής ρύπανσης από εκπομπές CO των αυτοκινήτων σε χώρους στάθμευσης. Η εξασφάλιση της ποιότητας του αέρα είναι απαραίτητη για την υγεία των πολιτών. Τέλος εξετάστηκε η θερμότητα που παράγεται στο εξωτερικό περιβάλλον από τη χρήση κλιματιστικών συστημάτων και η μεταβολή της θερμοκρασίας που προκαλούν. Η εξέταση των περιπτώσεων αυτών θα βοηθήσει στη βαθύτερη κατανόηση των αστικών προβλημάτων και στην εξεύρεση λύσεων για βελτίωση του αστικού μικροκλίματος ώστε να αναβαθμιστεί το περιβάλλον της πόλης.

Στη διατριβή αυτή χρησιμοποιείται η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics-CFD). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, γίνεται προσομοίωση της αστικής περιοχής σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον. Γίνεται χρήση της μεθόδου αυτής, αφού η υπολογιστική ρευστοδυναμική έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες και παρέχει μια ευέλικτη λύση. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί μια αξιόπιστη μέθοδος, αφού λύνει επαναληπτικά τις εξισώσεις διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας σε ένα πεπερασμένο όγκο. Δηλαδή, χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα, οι εξισώσεις λύνονται αρκετές φορές ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τη χρήση της μεθόδου αυτής να είναι πιο ολοκληρωμένα. Επίσης, για κάθε σημείο στον υπό μελέτη χώρο μπορεί να υπολογιστεί η ροή του αέρα, οι αλλαγές στη θερμοκρασία και οι εκπομπές ρύπων. Τέλος, η προσομοίωση μπορεί να προβλέψει πολύπλοκα

φαινόμενα, τα οποία δεν μπορούν να απομονωθούν ή να υπολογιστούν στις πραγματικές συνθήκες.

1. ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι πόλεις και γενικότερα το αστικό περιβάλλον ορίζονται ως το φυσικό περιβάλλον που αποτελείται από ένα σύνθετο συνδυασμό φυσικών στοιχείων όπως ο αέρας, το νερό, το έδαφος, το κλίμα, η χλωρίδα, η πανίδα και το δομημένο περιβάλλον που κατασκευάζεται ή μεταβάλλεται από τον άνθρωπο για να ικανοποιήσει τις δραστηριότητες του και περιλαμβάνει κτίρια, υποδομές και κοινόχρηστους ανοικτούς χώρους.

Σήμερα οι πόλεις καλούνται να ικανοποιήσουν τις ανθρώπινες οικιστικές ανάγκες χωρίς να προκαλέσουν βλάβες στο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, η ραγδαία ανάπτυξη των πόλεων κατά τα τελευταία χρόνια δημιούργησε σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον. Τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα στις πόλεις των ανεπτυγμένων κρατών είναι η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, η αλλοίωση του μικροκλίματος, η ρύπανση του νερού και του εδάφους, καθώς και η συσσώρευση αποβλήτων. Η αύξηση του πληθυσμού στις υπό ανάπτυξη χώρες καθώς και η βελτίωση του επιπέδου ζωής σε αυτές, αναμένεται να επιβαρύνουν πιο πολύ τα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Η ιδιαίτερα ταχεία εξέλιξη των αστικών συνόλων, ιδίως στην Ευρώπη, όπου το 80% του πληθυσμού ζει σε αυτά, επιβάλλει να δοθεί μια προτεραιότητα στα συστήματα των πόλεων. Οι μεγαλύτερες στρατηγικές προτεραιότητες στις πόλεις του ανεπτυγμένου κόσμου στοχεύουν κυρίως στη μείωση της υπερκατανάλωσης ενέργειας, στην αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη μείωση της παραγωγής αποβλήτων και ρύπανσης τόσο ώστε να είναι δυνατή η φυσική απορρόφηση από το τοπικό οικοσύστημα [1].

1.1 Αστικό περιβάλλον και κλίμα

Οι κλιματικές παράμετροι που επηρεάζονται από το αστικό περιβάλλον είναι η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η νέφωση.

Τα φαινόμενα που κατά κύριο λόγο συντελούν στη μεταβολή της θερμικής και αεροδυναμικής συμπεριφοράς των πόλεων, και γενικότερα στην αλλαγή του μικροκλίματος στις αστικές περιοχές είναι:

α) Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας που σχετίζεται με την ανάπτυξη ψηλότερων θερμοκρασιών στο κέντρο των πόλεων.

β) Το φαινόμενο της αστικής χαράδρας που αφορά τη μείωση της ταχύτητας και την αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου καθώς και τη θερμοκρασιακή στρωμάτωση του αέρα στους δρόμους των πόλεων.

Επιπλέον, η αυξημένη ρύπανση του αέρα στους αστικούς χώρους μειώνει την ένταση και μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια πόλη. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα μειώνει την προσπίπτουσα ακτινοβολία έως και 20% [1].

Η μεγάλη ανάπτυξη των πόλεων έχει σημαντικές συνέπειες στο αστικό κλίμα. Έχει παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές είναι αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη θερμοκρασία των γειτονικών περιοχών [1]. Αυτό οφείλεται τόσο στα χαρακτηριστικά του πολεοδομικού ιστού, τη γεωμετρία των κτιρίων και των αστικών δρόμων, καθώς και στο είδος των υλικών που χρησιμοποιούνται στα κτήρια στις πόλεις, ανάλογα με τις θερμικές και οπτικές τους ιδιότητες. Λόγω των ιδιοτήτων των υλικών, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία καθώς και αυτή που υπάρχει υπό μορφή θερμότητας αποθηκεύεται σε σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια της μέρας και απελευθερώνεται τη νύκτα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τόσο κατά τη διάρκεια της μέρας όσο και της νύκτας. Παράλληλα, η αντικατάσταση του φυσικού εδάφους και του πρασίνου, στις πόλεις, από επιφάνειες ασφάλτου και τσιμέντου μειώνει τη δυνατότητα απώλειας θερμότητας με εξάτμιση και διαπνοή.

Επιπλέον, η ανθρωπογενής θερμότητα που παράγεται κυρίως λόγω της χρήσης καυσίμων από τα αυτοκίνητα και άλλα συστήματα καύσης, συμβάλει στη θέρμανση του περιβάλλοντος. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας έχει σαν συνέπεια τη δραματική αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης

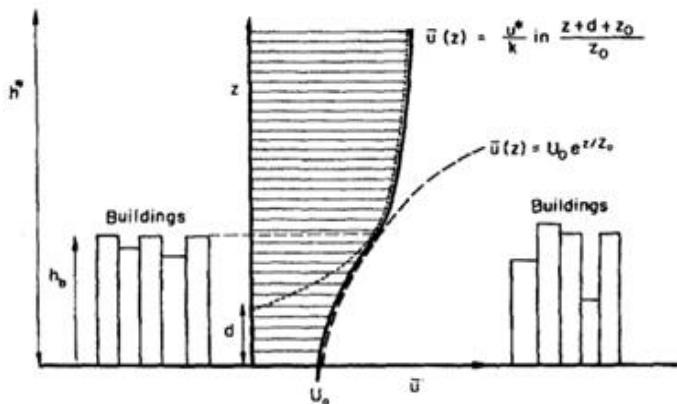
των κτιρίων και την υποβάθμιση της θερμικής άνεσης στις πόλεις. Είναι απαραίτητη η εξεύρεση λύσεων για βελτίωση του αστικού μικροκλίματος ώστε να αναβαθμιστεί το περιβάλλον στις πόλεις [1].

1.2 Κυκλοφορία αέρα στον αστικό χώρο

Η κυκλοφορία του αέρα στο αστικό περιβάλλον καθώς και η κατανομή της θερμοκρασίας αποτελούν απαραίτητες πληροφορίες για τον ορθό ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων, τον υπολογισμό της κατανομής της ρύπανσης γύρω από τα κτίρια και στο σχεδιασμό συστημάτων αερισμού.

Η κίνηση του αέρα στον αστικό χώρο είναι ιδιαίτερα σύνθετο φαινόμενο. Ο αέρας ρέει από τις παραπλήσιες περιοχές προς την πόλη και προσαρμόζεται στις νέες οριακές συνθήκες που συναντά, αυτό οδηγεί στην δημιουργία κατακόρυφων στρωμάτων αέρα στην ατμόσφαιρα. Οι κατακόρυφες όψεις που περιβάλλουν έναν αστικό δρόμο δρουν όπως τα πλευρικά τοιχώματα μιας φυσικής χαράδρας που μεταβάλλει τη στρωμάτωση των θερμοκρασιών και τα δεδομένα του ανέμου ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της.

Η ροή του αέρα ανάμεσα στο έδαφος και το ύψους των κτιρίων ρυθμίζεται από τα χαρακτηριστικά της ροής του αέρα πάνω από τα κτίρια καθώς και από την τοπογραφία των δρόμων, την ύπαρξη δέντρων, το είδος και το ύψος των κτιρίων. Η κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του αέρα ανάμεσα στο έδαφος και το ύψος των κτιρίων ακολουθεί εκθετική κατανομή (Εικόνα 1) και χαρακτηρίζεται από μικρή ταχύτητα σε σχέση με αυτή πάνω από τα κτίρια [1].



Εικόνα 1: Κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του αέρα. Η συνεχής καμπύλη εκφράζει το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα πάνω από τα κτίρια και η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει το αέριο στρώμα ανάμεσα στο έδαφος και το ύψος των κτιρίων[1].

Η γνώση της κυκλοφορίας του αέρα στους αστικούς δρόμους είναι απαραίτητη τόσο για την αξιολόγηση των συνθηκών άνεσης στις πόλεις, καθώς και για τη διερεύνηση των προβλημάτων ρύπανσης. Επομένως, γίνεται ολοένα και πιο σημαντική η μελέτη του κλίματός στο αστικό περιβάλλον και η εφαρμογή της γνώσης αυτής για τη βελτίωση και αναβάθμιση του περιβάλλοντος των πόλεων [1].

1.3 Βιωσιμότητα στο αστικό περιβάλλον

Οι πόλεις παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα και δε θα πρέπει να θεωρούνται σαν χώροι που απλά επιβαρύνουν το περιβάλλον. Μπορούν να εξασφαλίσουν υψηλή ποιότητα ζωής με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, αποβλήτων, ρύπανσης και γενικότερα μικρότερες βλάβες στο περιβάλλον. Υπάρχουν όμως δυο βασικά κριτήρια για τη βιώσιμη ανάπτυξη των πόλεων, η κατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας και πόρων πρέπει να είναι τόση ώστε να μην υπερβαίνει το όριο παραγωγής της φύσης, ενώ η παραγωγή υποβαθμισμένης μορφής ενέργειας και ύλης από τις πόλεις δε θα πρέπει να υπερβαίνει τη φυσική ικανότητα απορρόφησης από τα τοπικά οικοσυστήματα. Οι πόλεις θα πρέπει λοιπόν, να ικανοποιούν γενικούς περιβαλλοντικούς

κανόνες προσφέροντας έτσι περιβαλλοντικές συνθήκες ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η υγεία και η άνεση των πολιτών.

Για να υπάρχει βιωσιμότητα στις πόλεις απαιτείται να τεθούν κάποιες προτεραιότητες που να βοηθούν και να αναβαθμίζουν το αστικό περιβάλλον. Με τη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος, την εφαρμογή κατάλληλων μεθοδολογιών αστικού σχεδιασμού κατά την ανάπτυξη νέων οικισμών και πόλεων, καθώς επίσης και με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ενσωμάτωση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων στο κέλυφος των κτιρίων, θα οδηγήσουν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στις πόλεις του ανεπτυγμένου κόσμου. Επιπλέον θα συνεισφέρει η αύξηση των χώρων πράσινου, καθώς και η χρήση ενεργειακά αποδοτικών οχημάτων που κινούνται με εναλλακτικά καύσιμα.

Ταυτόχρονα, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν θεσμικά, οικονομικά και ρυθμιστικά μέτρα, έτσι ώστε να αναπτυχθεί μια ενεργειακή νομοθεσία που θα εξασφαλίζει υψηλή ενεργειακή απόδοση και μικρή ενεργειακή κατανάλωση, σε συνδυασμό με την υιοθέτηση των αρχών της πράσινης κατανάλωσης από τους κατοίκους των πόλεων. Όλα τα παραπάνω μπορούν να αποτελέσουν κοινές δράσεις, με κύριο στόχο την αειφορία στο αστικό περιβάλλον [1].

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Η υπολογιστική ρευστοδυναμική (CFD: Computational Fluid Dynamics) είναι η τεχνολογία πρόβλεψης της ροής του αέρα, της μετάδοσης θερμότητας και άλλων σχετικών φαινομένων χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό υπολογιστή [2]. Πιο συγκεκριμένα είναι ένα εργαλείο σχεδιασμού που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση φυσικών συστημάτων τα οποία περικλείουν ροές ρευστών, μετάδοση θερμότητας και άλλες φυσικές και χημικές διεργασίες.

2.1 Εφαρμογές

Το 1974, ο Nielsen ήταν ένας από τους πρώτους που πρόβλεψε την κίνηση του αέρα και τη μεταφορά θερμότητας σε εσωτερικούς χώρους, χρησιμοποιώντας την υπολογιστική ρευστοδυναμική πραγματοποίησε πολλές μελέτες με προσομοιώσεις [3]. Το 1986, ο Svensson [4] χρησιμοποίησε την υπολογιστική ρευστοδυναμική σε προβλήματα ρύπανσης του αέρα συγκεκριμένα με τη μοντελοποίηση CFD μελέτησε τη μεταφορά θερμότητας και χημικών σωματιδίων. Οι Fletcher et al. [5], το 2001 απέδειξαν ότι η χρήση CFD είναι ένα βοηθητικό εργαλείο στο σχεδιασμό κτιρίων, αναλύοντας διαφορετικές καταστάσεις έδειξαν τις δυνατότητες της προσομοίωσης CFD. Εκτός από τη μελέτη της ροής του αέρα και τη μεταφορά θερμότητας σε κτίρια, η υπολογιστική ρευστοδυναμική έχει εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως στην ιατρική, στη μετεωρολογία, σε βιομηχανικές εφαρμογές και στη μελέτη της αεροδυναμικής μεταφορικών μέσων [6].

Τα προγράμματα CFD ξεκίνησαν να αναπτύσσονται στις αρχές της δεκαετία του 1970, ωστόσο οι κώδικες δεν ήταν τόσο φιλικό προς το χρήστη, χρειαζόταν πολύ χρόνο για να αλλάξει τις μεταβλητές και τις παραμέτρους ώστε να έχει αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα. Με την πάροδο των χρόνων υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη στις ικανότητες των υπολογιστών, καθιστώντας την υπολογιστική ρευστοδυναμική ως ένα οικονομικό και πρακτικό σχεδιαστικό εργαλείο [7]. Σήμερα με την εξέλιξη τους μπορούν να παρέχουν λεπτομερείς και αξιόπιστες προβλέψεις για τη θερμική άνεση και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, αναλύοντας την κατανομή της ταχύτητας

του αέρα, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και τη συγκέντρωση ρύπων [7]. Τα πιο συνηθισμένα εμπορικά λογισμικά πραγματοποιούν προσομοιώσεις κτιρίων, με βάση τα γεωμετρικά στοιχεία και άλλες πληροφορίες που εισάγονται μέσω γραφικών διεπαφών και υποστηρίζονται από βάσεις δεδομένων [7]. Τα εξερχόμενα αποτελέσματα παρουσιάζονται με διάφορους τρόπους, όπως η τρισδιάστατη απεικόνιση ή σε γραφικές παραστάσεις. Τα πιο διαδεδομένα λογισμικά είναι οι κώδικες FLOVENT, PHOENICS, STAR-CD, FLUENT, MICROFLO [7, 8].

Η μοντελοποίηση της υπολογιστικής ρευστομηχανικής είναι μια διαδικασία που αναπαριστά τη ροή ενός ρευστού με μαθηματικές εξισώσεις, βάση των θεμελιωδών νόμων της φυσικής, και επιλύει τις εξισώσεις αυτές για να προβλέψει τη μεταβολή σχετικών παραμέτρων όπως η ταχύτητα, η πίεση, η θερμοκρασία και συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων [2].

Μοντέλα τα οποία βασίζονται στην υπολογιστική ρευστοδυναμική, χρησιμοποιούνται ως αποτελεσματικά εργαλεία για τη μελέτη της ροής του αέρα, της θερμικής άνεσης, της διασποράς ρύπων και για σκοπούς πυρασφάλειας [8]. Έχουν γίνει έρευνες για τη ροή του αέρα τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον. Οι Chan et al. [9], το 2001 μελέτησαν τη διασπορά των ρύπων στο δρόμο μιας αστικής χαράδρας. Ακόμη το 2001 οι Bonneaud et al. [10], μελέτησαν την κίνηση του αέρα σε αστικούς δρόμους. Οι Xie et al. [11], το 2005 μελέτησαν τις εκπομπές ρύπων σε μια αστική χαράδρα.

2.2 Στάδια Προσομοίωσης CFD

Για να πραγματοποιηθεί μια προσομοίωση με τη μέθοδο CFD ακολουθούνται τρία διαφορετικά στάδια, η προ-επεξεργασία, η επίλυση και η επεξεργασία αποτελεσμάτων.

Το πρώτο στάδιο της προ-επεξεργασίας περιλαμβάνει την κατανόηση του προβλήματος, το σχεδιασμό της γεωμετρίας και του πλέγματος (κελία), και τη δημιουργία του υπολογιστικού μοντέλου. Η γεωμετρία υποδιαιρείται σε πολυάριθμα κελία και έπειτα ο μελετητής ορίζει τις τιμές των μεταβλητών που μαζί με άλλες φυσικές παραμέτρους καθορίζουν το πρόβλημα.

Μετά από την εισαγωγή των δεδομένων στο πρώτο στάδιο, ακολουθεί το δεύτερο στάδιο της επίλυσης όπου ο υπολογιστής λύνει εξισώσεις διατήρησης σε κάθε επιμέρους κελί μέχρι να επιτευχθεί μια αποδεκτή σύγκλιση. Η επιθυμητή σύγκλιση προκύπτει όταν η λύση της πεπερασμένης διαφορικής εξίσωσης προσεγγίζει τη λύση της μερικής διαφορικής εξίσωσης. Σε περίπτωση όπου το πρόβλημα εξαρτάται άμεσα από τις οριακές συνθήκες, τότε η σύγκλιση ελέγχεται χρησιμοποιώντας αριθμητικά πειράματα, δηλαδή επανάληψη των υπολογισμών σε μια σειρά υπολογιστικών πλεγμάτων. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ χρονοβόρα και ο υπολογιστής λύνει πολλές χιλιάδες εξισώσεις.

Στο τελευταίο στάδιο του προβλήματος γίνεται απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε 2 ή 3 διαστάσεις. Ανάλογα με την επιλογή του μελετητή, τα αποτελέσματα μπορούν να αναλυθούν αριθμητικά, γραφικά ή ακόμα και σε μορφή βίντεο, στο οποίο παρουσιάζεται η μεταβολή ενός μεγέθους. Όταν τα αποτελέσματα αναλύονται σε γραφήματα, χρησιμοποιούνται διάφοροι χρωματισμοί για τη διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών τιμών των μεγεθών βοηθώντας έτσι στην καλύτερη κατανόηση και επεξήγηση [2, 12].

2.3 Μαθηματικό υπόβαθρο

Για την επίλυση προβλημάτων ρευστοδυναμικής χρησιμοποιούνται τρεις θεμελιώδεις εξισώσεις Διατήρησης της Ενέργειας (Α' Νόμος της θερμοδυναμικής), της Διατήρησης της Μάζας (Εξίσωση συνέχειας) και Διατήρηση της Ορμής (Β' Νόμος του Νεύτωνα) [7].

Η γενικευμένη εξίσωση διατήρησης έχει τη μορφή:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi * \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi$$

Όπου,

t	ο χρόνος,
ρ	η πυκνότητα ρευστού,
φ	οποιαδήποτε εξαρτημένη μεταβλητή όπως η ταχύτητα του αέρα, η θερμική ενέργεια, τυρβώδης ενέργεια
Γ_φ	ο συντελεστής διάχυσης,
S_φ	ο όρος πηγής ή κατανάλωσης για κάθε εξίσωση των φ ,
X_j	οι συντεταγμένες,
u_j	οι συνιστώσες ταχύτητας στις κατευθύνσεις X_j [13].

Για την επίλυση ενός προβλήματος CFD, το πρώτο βήμα είναι να διαχωριστεί ο χώρος της ροής σε δίκτυο κελίων όπου ολοκληρώνονται και διακριτοποιούνται οι εξισώσεις διατήρησης. Με τον τρόπο αυτό οι διαφορικές εξισώσεις μετατρέπονται σε αλγεβρικές εξισώσεις οι οποίες εμπλέκουν τις άγνωστες τιμές της μεταβλητής φ , και στη συνέχεια επιλύονται διαδοχικά μέσα στα τρισδιάστατα κελία του πλέγματος. Απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός επαναλήψεων, μέχρι να λειφθεί λύση με σύγκλιση.

2.4 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της χρήσης CFD

Οι Xia & Sun το 2002 [12] αναφέρουν ότι το CFD εξελίχθηκε από μια μαθηματική εφεύρεση σε ένα σημαντικό εργαλείο για σχεδόν όλους τους κλάδους της ρευστοδυναμικής. Παρέχει μια λεπτομερή κατανόηση της κατανομής της ροής, της μεταφοράς θερμότητας και μάζας σε κάθε σημείο του συστήματος με απεικονίσεις. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα να εξεταστούν διάφορα σενάρια σε ένα πρόβλημα, που σε πειραματικές συνθήκες η πραγματοποίησή τους θα ήταν δύσκολη και θα είχε μεγάλο κόστος [7].

Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης CFD δε μπορούν να είναι πάντοτε αξιόπιστα, λόγω των παραδοχών που γίνονται κατά τη μοντελοποίηση και επίσης λόγω της

απλοποίησης που μπορεί να γίνει σε πολύπλοκα πραγματικά προβλήματα. Αν και η προσομοίωση CFD μπορεί να δώσει πάντα ένα αποτέλεσμα, μπορεί να μην είναι απαραίτητως το σωστό [7]. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα και πρακτικότητα μιας προσομοίωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ο καθορισμός της γεωμετρίας και των οριακών συνθηκών είναι δύσκολος και χρονοβόρος και για την ανάλυση των δεδομένων απαιτούνται μεγάλα ποσά μνήμης [14].

2.5 Εμπορικός κώδικας FLOVENT

Ο εμπορικός κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τις προσομοιώσεις της μελέτης αυτής είναι το λογισμικό FLOVENT. Το FLOVENT είναι μέρος μιας ομάδας προγραμμάτων της εταιρείας FLOMERICS, έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει και να προβλέπει με τρισδιάστατα γραφικά την κίνηση του αέρα, τη μεταφορά θερμότητας και τη διασπορά των ρύπων τόσο σε εσωτερικούς χώρους μέσα στα κτίρια, όσο και σε εξωτερικούς χώρους γύρω από τα κτίρια [7, 15].

Το FLOVENT μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τύπους κτιρίων όπως εμπορικά κέντρα και γραφεία. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεταφορικά μέσα για την άνεση των επιβατών καθώς και σε μελέτες ελέγχου της ποιότητας του αέρα και των ρύπων σε εργαστήρια, νοσοκομεία και υπόγειους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων [15].

Το λογισμικό FLOVENT δημιουργεί μια <εικονική> βάση δεδομένων με μια λεπτομερή τρισδιάστατη απεικόνιση της ροής του αέρα και της θερμοκρασίας σε κάθε σημείο. Έτσι ο μελετητής μπορεί να κατανοήσει καλύτερα το πρόβλημα, να εξετάσει διαφορετικές περιπτώσεις και να επιλέξει τη βέλτιστη λύση [15].

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

<<Προσομοίωση είναι μια μέθοδος μελέτης ενός συστήματος με τη βοήθεια ενός άλλου συστήματος το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ηλεκτρονικός υπολογιστής>>. Πρόκειται ουσιαστικά για μια απλή μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων, όπου η προσομοίωση αποτελεί ένα πείραμα με μοντέλο που αντικαθιστά το πείραμα με το πραγματικό σύστημα [16].

Η προσομοίωση του αστικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει σημαντικές παραδοχές και απλοποιήσεις και δε μπορεί να αναπαραστήσει ακριβώς την πολυπλοκότητα του αστικού χώρου και των φυσικών διεργασιών που πραγματοποιούνται μέσα σε αυτόν. Για την αναλυτική διερεύνηση μέσω προσομοίωσης είναι απαραίτητη η αξιολόγηση και ιεράρχηση των σημαντικότερων παραμέτρων και η επιλογή των κατάλληλων εργαλείων [16].

Στη υπάρχουσα διατριβή γίνεται μοντελοποίηση πολυσύχναστης αστικής περιοχής χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής και συγκεκριμένα τον εμπορικό κώδικα FloVent 9.1. Ο κώδικας αυτός χρησιμοποιεί τεχνικές της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για να προβλέψει τη ροή του αέρα, τη μεταφορά θερμότητας και τον έλεγχο της ρύπανσης. Για παράδειγμα ο κώδικας FloVent χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα σε διάφορα ύψη ενός φαραγγιού στο κεντρικό Λονδίνο, το 1998 από τους Riain et al. [13].

3.1 Περιγραφή της υπό μελέτη περιοχής

Η περιοχή που επιλέχθηκε σε αυτή τη διατριβή βρίσκεται στην πόλη Λεμεσό. Η Λεμεσός είναι η δεύτερη μεγαλύτερη επαρχία της Κύπρου και βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα του νησιού. Ο πληθυσμός της ανέρχεται στους 100.952 κατοίκους εντός των δημοτικών ορίων και στους 180.000 κατοίκους στην ευρύτερη αστική περιοχή [17]. Η υπό μελέτη περιοχή είναι μια πυκνά δομημένη αστική περιοχή κοντά στη θάλασσα. Στη περιοχή αυτή βρίσκεται το κεντρικό κτίριο και άλλα κτίρια του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου καθώς και το κτίριο της Αρχής

Τηλεπικοινωνιών Κύπρου (CYTA). Η περιοχή είναι πολυσύχναστη λόγω των καταστημάτων, του πανεπιστημίου και των γραφείων υπάρχει αυξημένη κυκλοφορία στους δρόμους (Εικόνα 2) [18].

Το κλίμα της Λεμεσού είναι γενικά ήπιο μεσογειακό με άφθονη ηλιοφάνεια ακόμη και το χειμώνα και λιγοστή βροχόπτωση. Χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ζεστά-ξηρά καλοκαίρια. Οι άνεμοι είναι κυρίως ελαφροί και σπάνια ισχυροί, λόγω της παράλιας θέσης της περιοχής παρατηρούνται θαλάσσιες και απόγειες αύρες. Αυτό το σύστημα κυκλοφορίας του αέρα οφείλεται βασικά στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ξηράς από τη μια και του νερού της θάλασσας από την άλλη, που δημιουργεί διαφορές στην ατμοσφαιρική πίεση πάνω από την ξηρά και τη θάλασσα. Οι θαλάσσιες αύρες έχουν μεγαλύτερη ένταση κατά τους μήνες του καλοκαιριού, ενώ οι απόγειες αύρες έχουν μεγαλύτερη ένταση κατά τους χειμερινούς μήνες [19].



Εικόνα 2: Αστική περιοχή στην πόλη Λεμεσό που επιλέχτηκε για την προσομοίωση με χρήση του προγράμματος FloVent [18].

Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής που εξετάζεται παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι τιμές της μέσης μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας καθώς και οι τιμές της υγρασίας, είναι μετρήσεις από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό του Δημόσιου Κήπου της Λεμεσού που βρίσκεται πολύ κοντά στην υπό μελέτη αστική περιοχή. Η μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία της περιοχής φτάνει τους 34°C και η μέση ελάχιστη είναι 9.3°C [19].

Πίνακας 1: Κλιματολογικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό Δημόσιου Κήπου στη Λεμεσό [19].

CLIMATOLOGICAL DATA 2001-2010												
Station name: LEMESOS(PUBLIC GARDEN)												
Latitude: 34° 41'												
Longitude: 33° 03'												
Elevation: 8 m												
Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
Mean Daily Max Temp	18.0	18.3	21.2	23.7	27.6	31.4	33.9	34.0	31.8	28.9	24.2	19.7
Mean Daily Min Temp	9.3	9.4	11.3	13.8	17.1	20.8	23.0	23.6	21.4	18.4	14.0	10.9
0800 HRS	76	73	69	68	69	71	74	75	69	69	69	75
1300 HRS	59	59	56	56	56	56	56	57	55	53	54	59

3.2 Μεθοδολογία προσομοίωσης της αστικής περιοχής με τη χρήση υπολογιστικού κώδικα FloVent 9.1

Για την προσομοίωση της πολυσύχναστης αστικής περιοχής, αρχικά πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σχετικά με τη γεωμετρία των κτιρίων, των δρόμων και των χώρων στάθμευσης που υπάρχουν. Συνολικά στην περιοχή που έγινε η προσομοίωση υπάρχουν 70 κτίρια, 4 χώροι στάθμευσης, δυο κύριοι δρόμοι, ο παραλιακός δρόμος και η οδός Ανεξαρτησίας, καθώς και 8 μικρότεροι δρόμοι. Ωστόσο για να είναι πιο αντιπροσωπευτική η προσομοίωση με την πραγματική περιοχή που εξετάστηκε έχουν γίνει μετρήσεις των αποστάσεων μεταξύ των κτιρίων, των δρόμων και των χώρων στάθμευσης, ώστε να είναι πιο ρεαλιστική η θέση που τοποθετήθηκαν στο μοντέλο.

Οι μετρήσεις των τριών διαστάσεων του ύψους, του μήκους και πλάτους των κτιρίων, έγιναν με τη βοήθεια τρισδιάστατου χάρτη [18], ο οποίος έχει δυνατότητα μεγάλης ανάλυσης. Επίσης, μετρήθηκε το μήκος και το πλάτος των δρόμων και των χώρων στάθμευσης, το ύψος τους ορίστηκε να είναι λίγο πιο πάνω από το έδαφος. Το τμήμα αυτό της Λεμεσού έχει συνολική έκταση 10.962 m² και ο παραλιακός δρόμος απέχει από τη θάλασσα 50m. Το ύψος των κτιρίων ξεκινά από 6m και φτάνει τα 25m. Το μοντέλο της αστικής περιοχής κατασκευάστηκε με βάση τις διαστάσεις που μετρήθηκαν.

Με την εισαγωγή των δεδομένων της γεωμετρίας στο πρόγραμμα, ορίστηκε το υλικό κατασκευής των κτιρίων να είναι από σκυρόδεμα και από άσφαλτο οι δρόμοι και οι χώροι στάθμευσης. Επιπλέον, στο στάδιο της προεπεξεργασίας καθορίστηκε η ροή του ανέμου να είναι από τα παράλια προς την πόλη, δηλαδή από τα Νότια. Οι κλιματικές συνθήκες έχουν σημαντικό ρόλο αφού επηρεάζουν τη θερμοκρασία κάθε περιοχής. Για το λόγο αυτό έγινε εισαγωγή της παραμέτρου αυτής στο υπολογιστικό πρόγραμμα. Η θερμοκρασία στις προσομοιώσεις του αστικού χώρου ορίστηκε να είναι στους 30°C κοντά στη μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία που επικρατεί από το μήνα Ιούνιο μέχρι τον Οκτώβριο σύμφωνα με τις θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στην πόλη (Πίνακας 1).

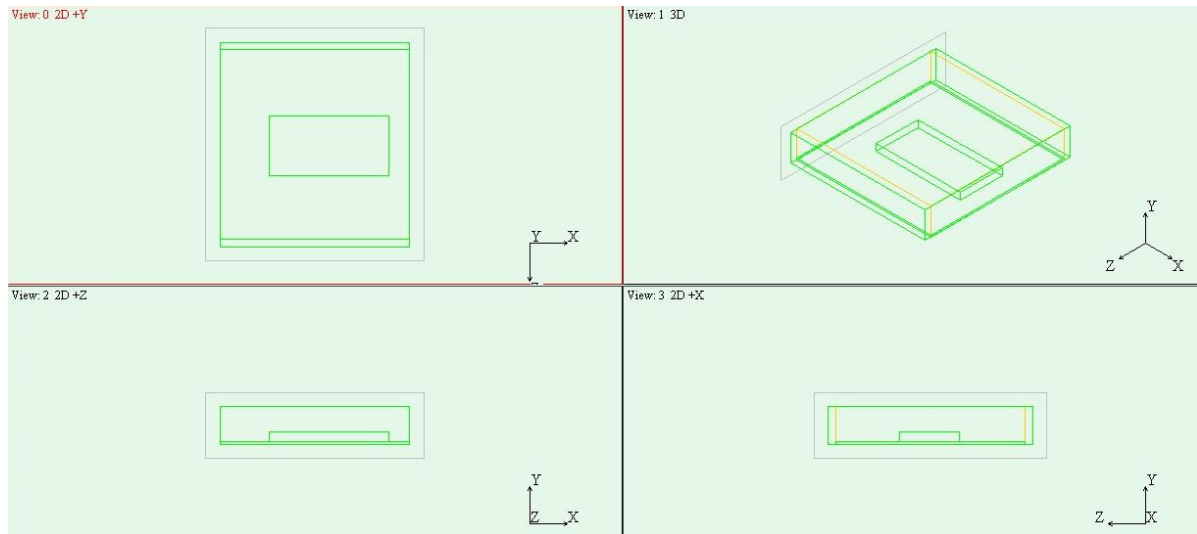
Η ροή του ανέμου και η διανομή της θερμοκρασίας στην περιοχή της πόλης ρυθμίζεται από τους νόμους διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας. Το πλέγμα (κελιά) για το οποίο θα λύνονται οι εξισώσεις, καθορίζεται επίσης πριν τη λειτουργία του υπολογιστικού προγράμματος. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση το μοντέλο της τυρβώδους ροής που επιλέχθηκε είναι το K-Epsilon. Ακόμη, η αστική περιοχή χωρίστηκε σε 724.127 κελιά, όπου για κάθε κελί ορίστηκε η επαναληψιμότητα των εξισώσεων σχετικά με τις μεταβλητές. Έτσι στην προσομοίωση αυτή ορίστηκε ότι οι υπολογισμοί θα επαναλαμβάνονται 50 φορές.

Για την ολοκλήρωση της μελέτης εξετάστηκαν οι ακόλουθες περιπτώσεις στο μοντέλο της αστικής περιοχής που κατασκευάστηκε:

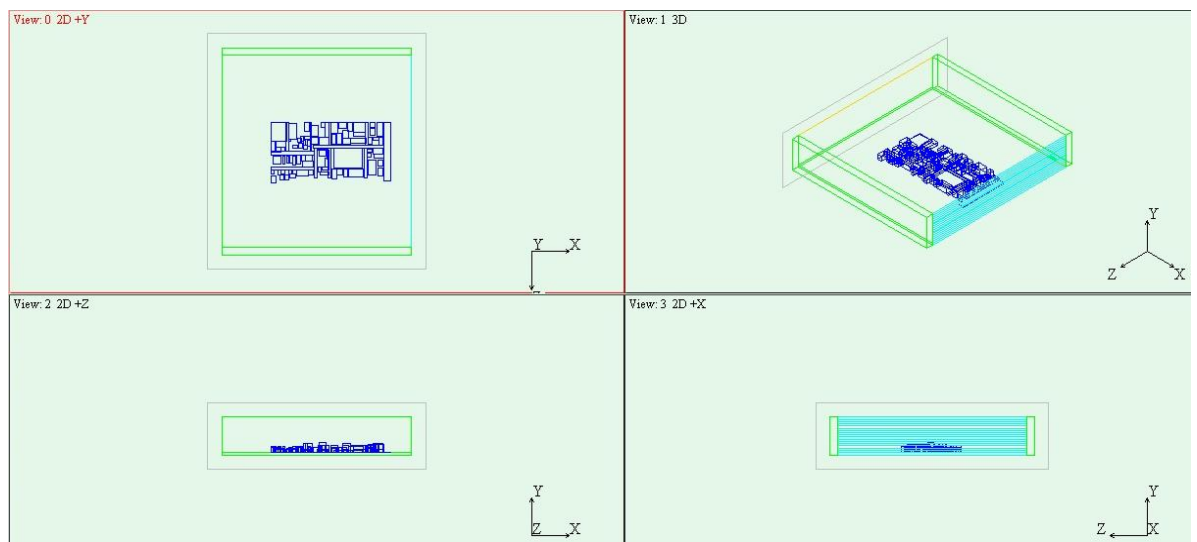
- α) Η ροή του ανέμου στην τρισδιάστατη περιοχή της πόλης.
- β) Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα από τα αυτοκίνητα που κινούνται στους χώρους στάθμευσης.
- γ) Η αύξηση της θερμοκρασίας από τα συστήματα κλιματισμού (air-conditions).

3.2.1 Σχεδιασμός γεωμετρίας-Τρισδιάστατο μοντέλο της αστικής περιοχής

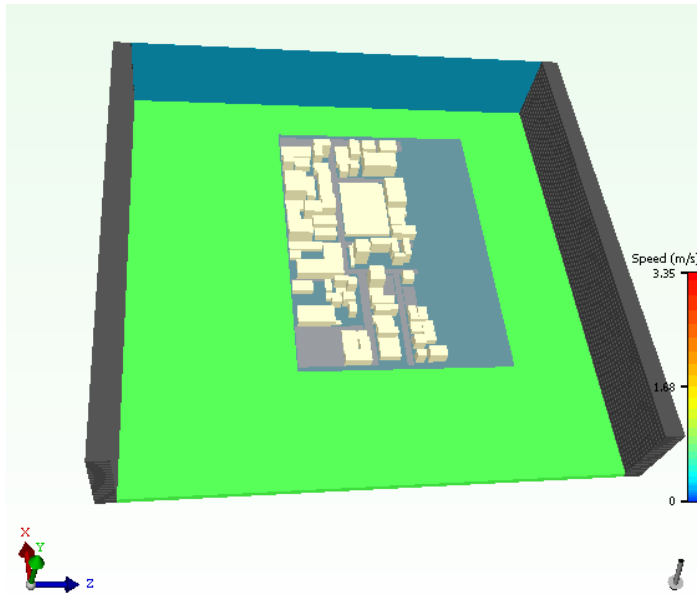
Μετά από την εισαγωγή της γεωμετρίας στον υπολογιστικό κώδικα FloVent 9.1, δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής της Λεμεσού, όπως φαίνεται στις Εικόνες 3 - 6. Οι άξονες x και y παριστάνουν το μήκος και το πλάτος των στοιχείων που κατασκευαστήκαν, ενώ ο άξονας z το ύψος τους. Ακόμη γύρω από την κτισμένη περιοχή στην προσομοίωση φαίνεται το έδαφος με πράσινο χρώμα (Εικόνα 5). Η ροή του ανέμου στο τρισδιάστατο μοντέλο καθορίστηκε από την πλευρά της θάλασσας προς την αστική περιοχή, όπως φαίνεται με μπλε χρώμα στην Εικόνα 5.



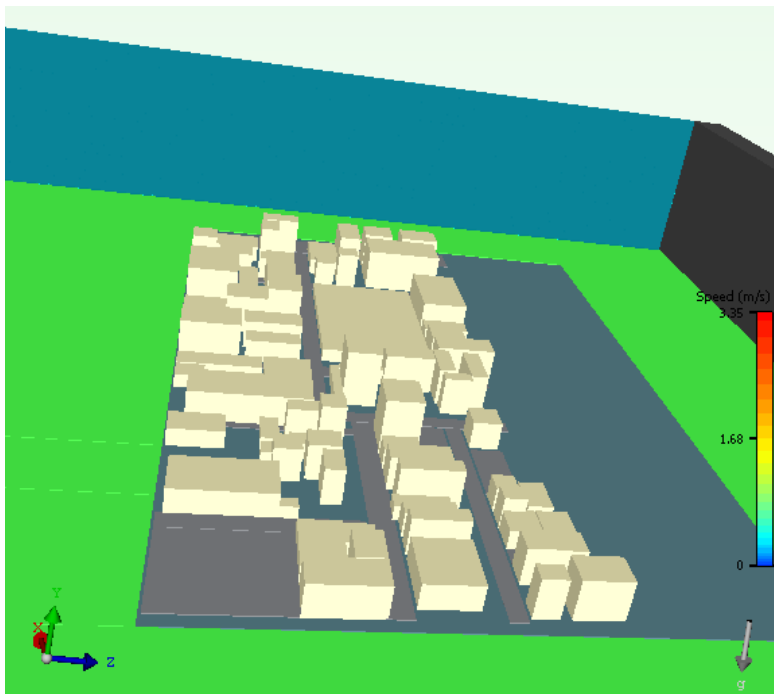
Εικόνα 3: Συντεταγμένες της κτισμένης περιοχής και του χώρου που την περιβάλλει.



Εικόνα 4: Προσομοίωση στον κάθε άξονα (x,y,z). Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζετε η πλευρά που ρέει ο άνεμος προς την αστική περιοχή.



Εικόνα 5 : Τρισδιάστατη προσομοίωση αστικής περιοχής στην πόλη Λεμεσό.



Εικόνα 6: Τρισδιάστατο μοντέλο της αστικής περιοχής.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Α ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

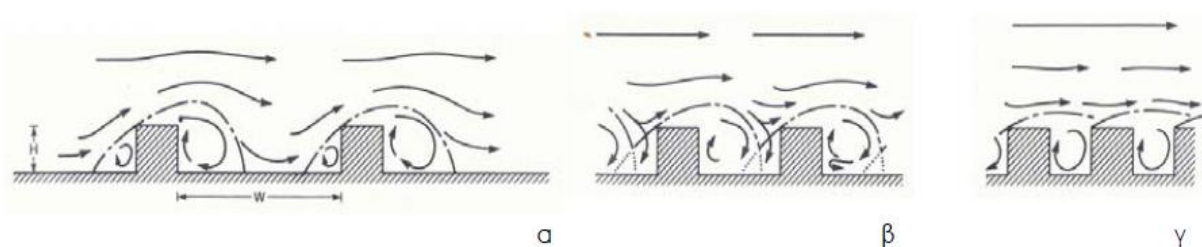
Με τη βοήθεια του υπολογιστικού κώδικα Flovent 9.1 αναλύθηκαν όλα τα δεδομένα που είχαν εισαχθεί στο πρόγραμμα και τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε γραφήματα. Στην πρώτη περίπτωση εξετάστηκε η ροή του ανέμου εντός της αστικής περιοχής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για κάθε σημείο του χώρου αναπαραστάθηκαν σε τρισδιάστατα γραφικά όπου φαίνεται η κίνηση του αέρα.

Τα κτίρια μεταβάλλουν τη ροή του αέρα καθώς λειτουργούν σαν εμπόδια στον άνεμο. Με βάση τις παρατηρήσεις του Givoni (1998) [20] η ροή του ανέμου είναι το κλιματικό στοιχείο που μεταβάλλεται περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο στο κτισμένο περιβάλλον.

Η ευνοϊκή χρησιμοποίηση των ανέμων (θαλάσσιας αύρας) τη θερινή περίοδο, συμβάλει στο φυσικό δροσισμό και στην κυκλοφορία του αέρα στο επιβαρημένο με ρύπους και υπερθερμασμένο κέντρο της πόλης. Από περιβαλλοντικής πλευράς μεγάλο ρόλο παίζει και η χωροθέτηση του οδικού δικτύου.

Συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά του ανέμου σε ένα δρόμο είναι συνάρτηση του μήκους (L) και πλάτους του χώρου (W), του ύψους των περιμετρικών κατασκευών (H) και της διεύθυνσης του ανέμου. Τα χαρακτηριστικά αυτά διαμορφώνουν τη ροή του ανέμου. Στην περίπτωση όπου η διεύθυνση του ανέμου πάνω από τα κτίρια είναι περίπου κάθετη προς τον άξονα του δρόμου, το είδος της ροής εντός του δρόμου ποικίλει ανάλογα με τις γεωμετρικές αναλογίες των κτιρίων και του δρόμου. Ειδικότερα όταν το πλάτος του δρόμου είναι μεγάλο και το ύψος των κτιρίων μικρό, ($H/W < 0.3-0.4$), ο άνεμος που ρέει πάνω από τα κτήρια διεισδύει στο δρόμο, διατρέχει ένα μέρος του και στη συνέχεια εξέρχεται, η ροή μοιάζει με αυτήν που δημιουργείται γύρω από ένα μεμονωμένο κτίσμα (Εικόνα 7α), έτσι επιτυγχάνεται ιδιαίτερα καλός αερισμός του χώρου περίξ των κτιρίων. Όταν το πηλίκο του ύψους των κτιρίων ως προς το πλάτος του δρόμου παραμένει μικρότερο του 0.7 (Εικόνα 7β), τότε ο αέρας εισέρχεται μερικά εντός του δρόμου, σαρώνει κατακόρυφα την επιφάνεια του υπήνεμου κτιρίου και εξέρχεται στο ύψος περίπου του μέσου του δρόμου. Η ροή του αέρα πίσω από κάθε κτίριο εμπλέκεται με την κίνηση του ανέμου μπροστά

από το επόμενο. Τέλος όταν το πηλίκο ως προς το πλάτος του δρόμου είναι μεγαλύτερο από 0.7 (Εικόνα 7γ) η κίνηση του αέρα δημιουργεί μια δευτερογενή σπειροειδή ροή χαμηλής ταχύτητας στο χώρο ανάμεσα στα κτήρια. Στην περίπτωση αυτή το δυναμικό φυσικού αερισμού των κτιρίων είναι σχετικά μικρό και η ταχύτητα του αέρα κατά το ύψος του υπήνεμου κτιρίου είναι σχετικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ταχύτητα κατά ύψος του προσήνεμου κτιρίου.[1]



Εικόνα 7: Ροή του ανέμου σε αστικές χαράδρες με διαφορετικές γεωμετρικές αναλογίες: α. μικρή αναλογία H/W β. μέτρια αναλογία H/W και γ. μεγάλη αναλογία H/W [1].

4.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων A περίπτωσης για τον άξονα y και z

Η τρισδιάστατη προσομοίωση του αστικού χώρου παρουσιάζεται για τους άξονες y και z στις Εικόνες 8-16. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν παρουσιάζουν τη ροή του αέρα με ταχύτητα να κυμαίνεται από 0 m/s μέχρι 3,35 m/s όπως ορίστηκε στο πρόγραμμα. Γενικότερα κάτω από τις οροφές των κτιρίων που αντιστοιχεί το στρώμα του αστικού ιστού κυριαρχούν χαμηλές ταχύτητες με διαφοροποιήσεις της ροής καθ' ύψος. Ενώ επάνω από τις οροφές των κτιρίων αντιστοιχεί το στρώμα του αστικού ορίου και παρατηρείται μια απότομη αύξηση της ταχύτητας του ανέμου μέχρι το όριο της αστικής ατμόσφαιρας δηλαδή την κορυφή του αστικού θόλου. Περισσότερα αποτελέσματα για την A περίπτωση παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.

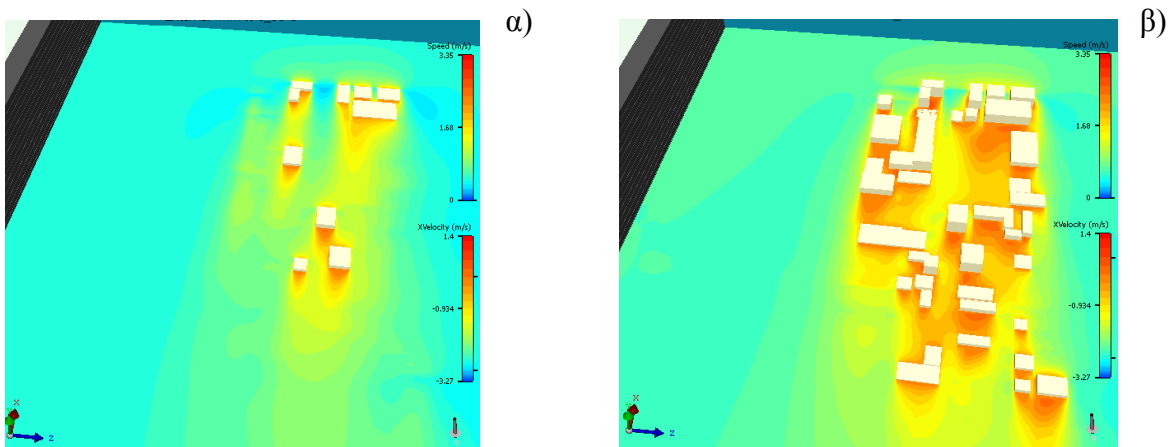
Στις Εικόνες 8 - 9 απεικονίζεται η ροή του αέρα για την κάτοψη της αστικής περιοχής (άξονας y). Όπως φαίνεται η ροή του αέρα είναι ελεύθερη και ανεμπόδιστη πάνω από το ύψος των κτιρίων του αστικού χώρου και κατανέμεται ομοιόμορφα. Αντίθετα, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στη ροή του ανέμου σε χαμηλότερα ύψη εντός της αστικής περιοχής. Οι αλλαγές αυτές,

εξαρτώνται από τη γεωμετρία των κτιρίων, των δρόμων και των ελεύθερων χώρων στο αστικό μοντέλο.

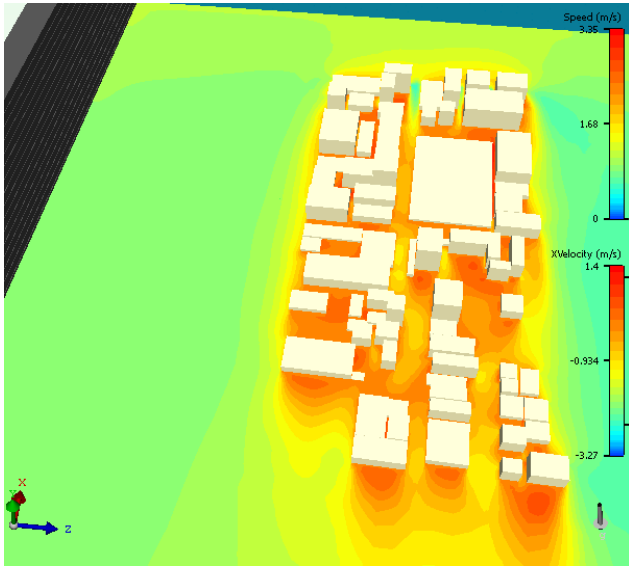
Η ροή του ανέμου μέσα στην αστική περιοχή μελετήθηκε σε διαφορές αποστάσεις στον άξονα z. Για τον άξονα z τα αποτελέσματα φαίνονται στις Εικόνες 10-16 για αποστάσεις από z =210 m μέχρι z = 310 m. Σύμφωνα με την εικόνα 10, η ροή του αέρα είναι έντονη κοντά στο κτίριο σε σχέση με τον ανοικτό χώρο στάθμευσης που βρίσκεται δίπλα. Στις πραγματικές συνθήκες τα όρια της πόλης εκτείνονται, έτσι το αποτέλεσμα της ροή μπορεί να είναι διαφορετικό λόγω της ύπαρξης κτιρίων δίπλα από την περιοχή που έγινε η προσομοίωση.

Παρατηρήθηκε, ακόμη ότι σε περιπτώσεις όπου υπήρχαν πολύ ψηλά κτήρια προκαλούσαν κατακόρυφο ρεύμα αέρα κατά μήκος των όψεων με δυνατή ροή προς τα κάτω. Ο αέρας εγκλωβίζεται μεταξύ των κτιρίων και παρατηρούνται στροβιλισμοί. Στην εικόνα 13 φαίνεται να παρουσιάζονται στροβιλισμοί του ανέμου μεταξύ ενός ψηλότερου και ενός χαμηλότερου κτιρίου. Έντονες συνθήκες ανέμου παρατηρήθηκαν γενικότερα γύρω από τη βάση και στις γωνίες των κτιρίων.

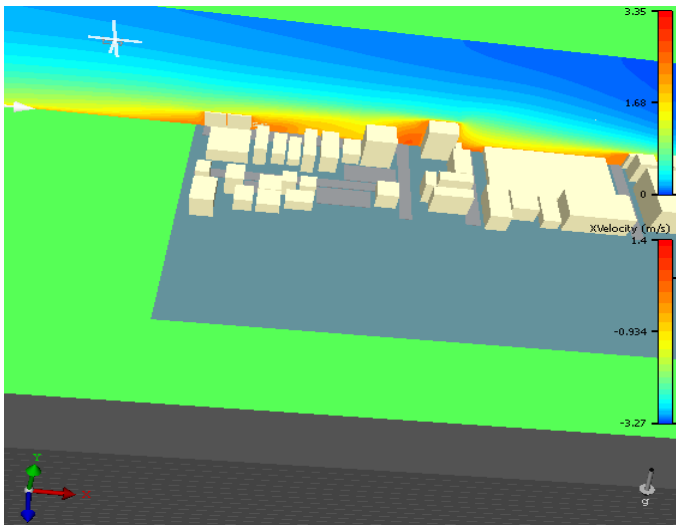
Επιπλέον από τις εικόνες 12 και 13 β) παρουσιάζονται δρόμοι μικρού πλάτους 8m με παράπλευρα ψηλά κτίρια. Ο αέρας ρέει κυρίως υπεράνω των κτιρίων, δημιουργώντας δευτερογενή σπειροειδή ροή χαμηλής ταχύτητας μεταξύ των κτιρίων, η ροή αυτή δεν είναι επαρκής για το φυσικό αερισμό των κτιρίων και των δρόμων, ενώ παράλληλα δημιουργεί δυσάρεστη αίσθηση στον πεζό.



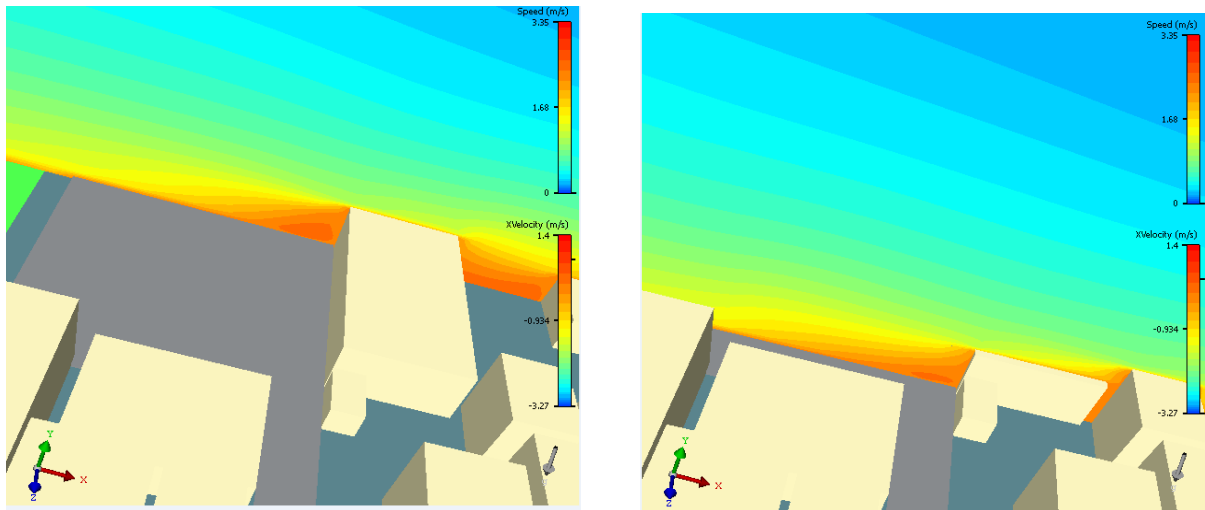
Εικόνα 8: α) Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε ύψος 20m (άξονας -y), β) κατανομή της ταχύτητας σε χαμηλότερο ύψος (14.1 m) εντός της αστικής περιοχής (άξονας -y).



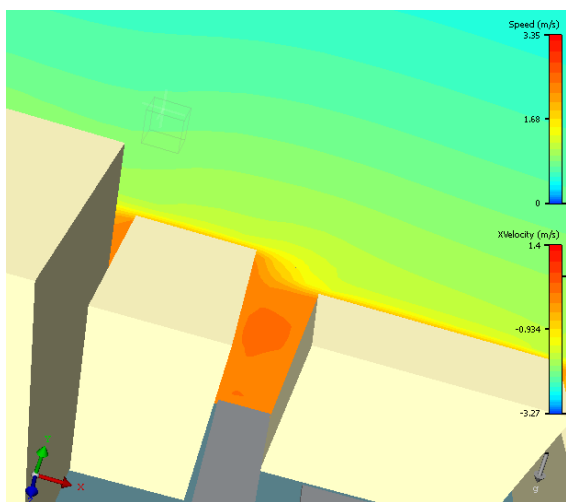
Εικόνα 9: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα στο αστικό μοντέλο σε ύψος 8.1 m (άξονας -y).



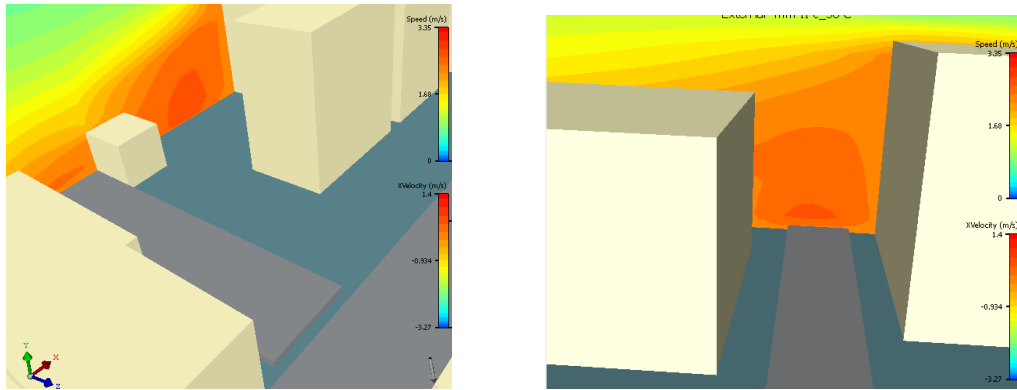
Εικόνα 10: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 250 m (Άξονας -z).



Εικόνα 11: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 210 m και β) 225m (Άξονας -z).

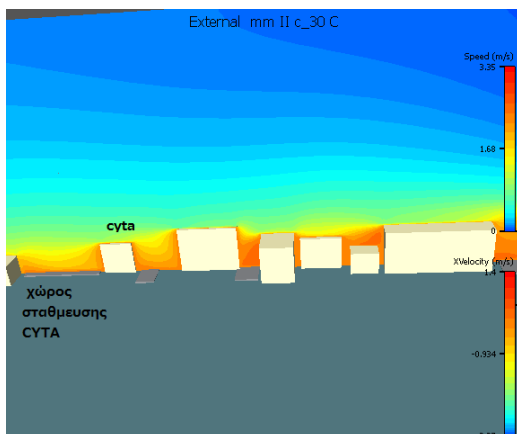


Εικόνα 12: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 220m (Άξονας -z).



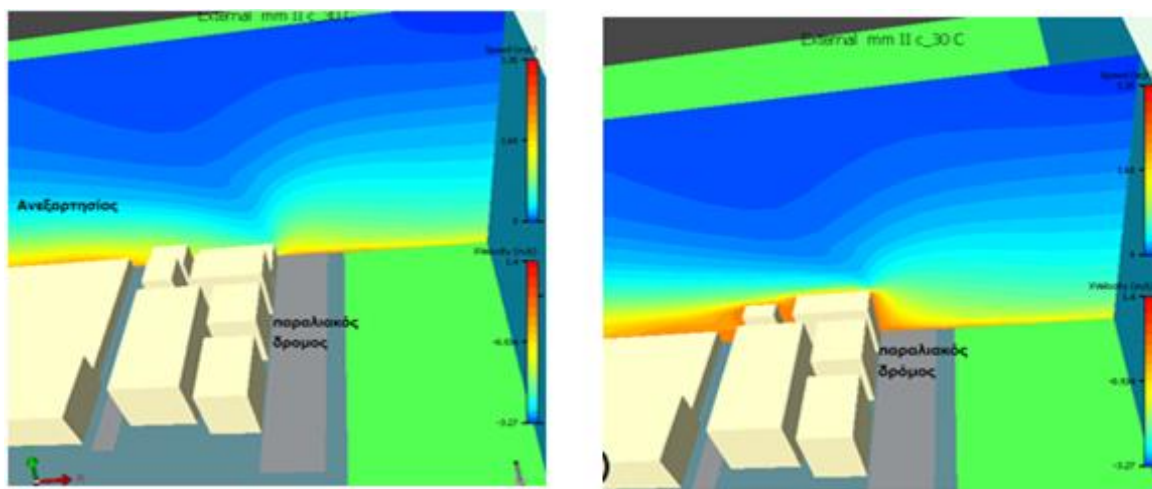
Εικόνα 13: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α)220 m και β)230m (Άξονας- z).

Τα αποτελέσματα από την κατανομή της ταχύτητας στα όρια του μοντέλου της αστικής περιοχής που κατασκευάστηκε παριστάνονται στην Εικόνα 14. Τα όρια της πόλης εκτίνονται καθώς το <κομμάτι> της αστικής περιοχής που μελετήθηκε συνορεύει στη μια μεριά με τη θάλασσα και στις υπόλοιπες μεριές υπάρχει πυκνοδομημένος αστικός χώρος. Η ροή του αέρα μεταξύ του κτιρίου της CYTA και του ιδιωτικού χώρου στάθμευσης (Εικόνα 14) φαίνεται να κατανέμεται πιο ομοιόμορφα σε σχέση με τα διπλανά κτίρια, αυτό συμβαίνει λόγω της μεγάλης απόστασης που υπάρχει μεταξύ του χώρου στάθμευσης και του κτιρίου της CYTA. Η απόσταση του κτιρίου της CYTA με το διπλανό είναι πολύ μικρότερη και παρατηρείται η ροή του αέρα να είναι αυξημένη στις γωνίες των κτιρίων και κατά μήκος των κάθετων πλευρών τους.



Εικόνα 14: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 310 m (Άξονας- z).

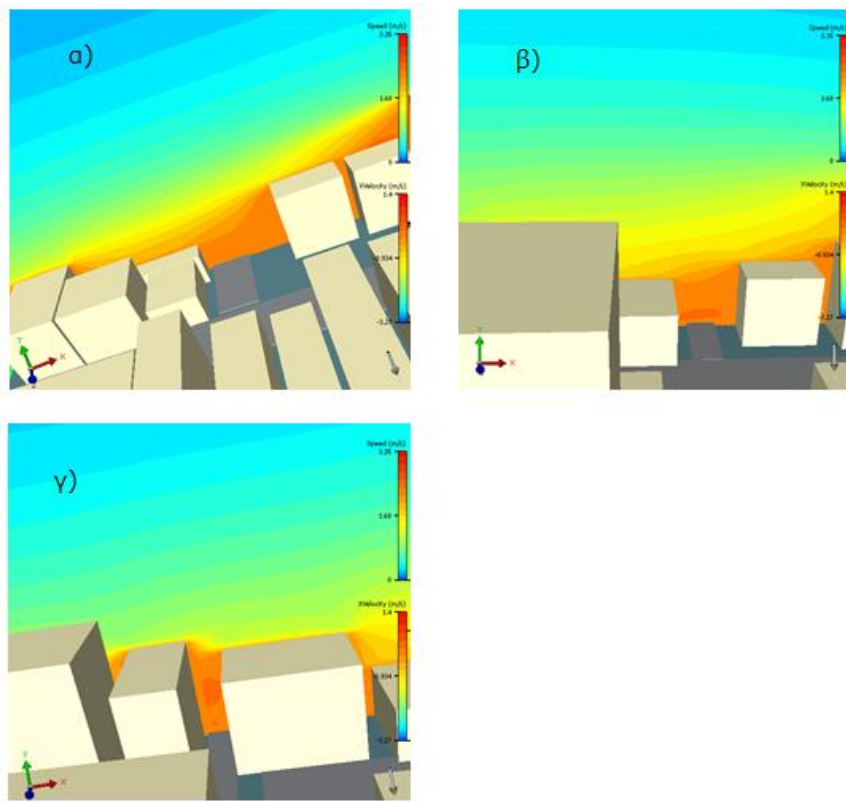
Ακόμη παρατηρήθηκε ότι ο αέρας καθώς κατευθύνεται από τη θάλασσα, περνά τον παραλιακό δρόμο και εισέρχεται ανεμπόδιστος στην οδό Ανεξαρτησίας (εικόνα 15 α). Ενώ σε αντίθετη περίπτωση φαίνεται στην Εικόνα 15 β) να εμποδίζεται όταν συνάντα τα κτίρια μετά τον παραλιακό δρόμο και η ροή του εντός της πυκνοδομημένης περιοχής γίνεται πιο σύνθετη και πολύπλοκη.



Εικόνα 15: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α)240 m και β)260m (Άξονας -z).

Στη συνέχεια έγινε σύνοψη και εξετάστηκαν περιπτώσεις αστικής χαράδρας. Οι κατακόρυφες όψεις που περιβάλλουν τους δρόμους της υπό μελέτη περιοχής δημιουργούν φυσικές χαράδρες. Πιο συγκεκριμένα διερευνήθηκε η αναλογία του ύψους των κτιρίων (H) και του πλάτους των δρόμων (W). Ο αέρας κατευθυνόταν κάθετα ως προς τους δρόμους που μελετήθηκαν μέσα στην αστική περιοχή. Στην Εικόνα 16 παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις αστικής χαράδρας. Αρχικά απεικονίζεται μια αστική χαράδρα με αναλογία $H/W < 0.7$ (Εικόνα 16 α). Η ροή του αέρα μεταξύ των κτιρίων παρατηρήθηκε να είναι αυξημένη, η χαράδρα αυτή χαρακτηρίζεται από μέτρια αναλογία ύψους-πλάτους. Στην προσομοίωση της αστικής περιοχής που μελετήθηκε δεν υπάρχουν πλατιές αστικές χαράδρες με μεγάλο πλάτος δρόμου και μικρό ύψος ($H/W < 0.3-0.4$) αν υπήρχαν θα βοηθούσαν στον καλό αερισμό του χώρου. Στις εικόνες 16 β) και 16 γ) απεικονίζονται στενές αστικές χαράδρες με μεγάλη αναλογία ύψους πλάτους ($H/W > 0.7$). Οι δρόμοι είναι πιο στενή και η απόσταση μεταξύ των κτιρίων είναι πολύ μικρή στην

Εικόνα 16 β) είναι 5m και στην 16 γ) είναι 4m. Ο αέρα, στις στενές αστικές χαράδρες, περνάει πάνω από τα κτίρια και μόνο ένας στρόβιλος δημιουργείται ανάμεσα στα κτίρια εξαιτίας της εκτροπής του ανέμου η δυνατότητα φυσικού αερισμού σε αυτές τις περιπτώσεις είναι περιορισμένη.

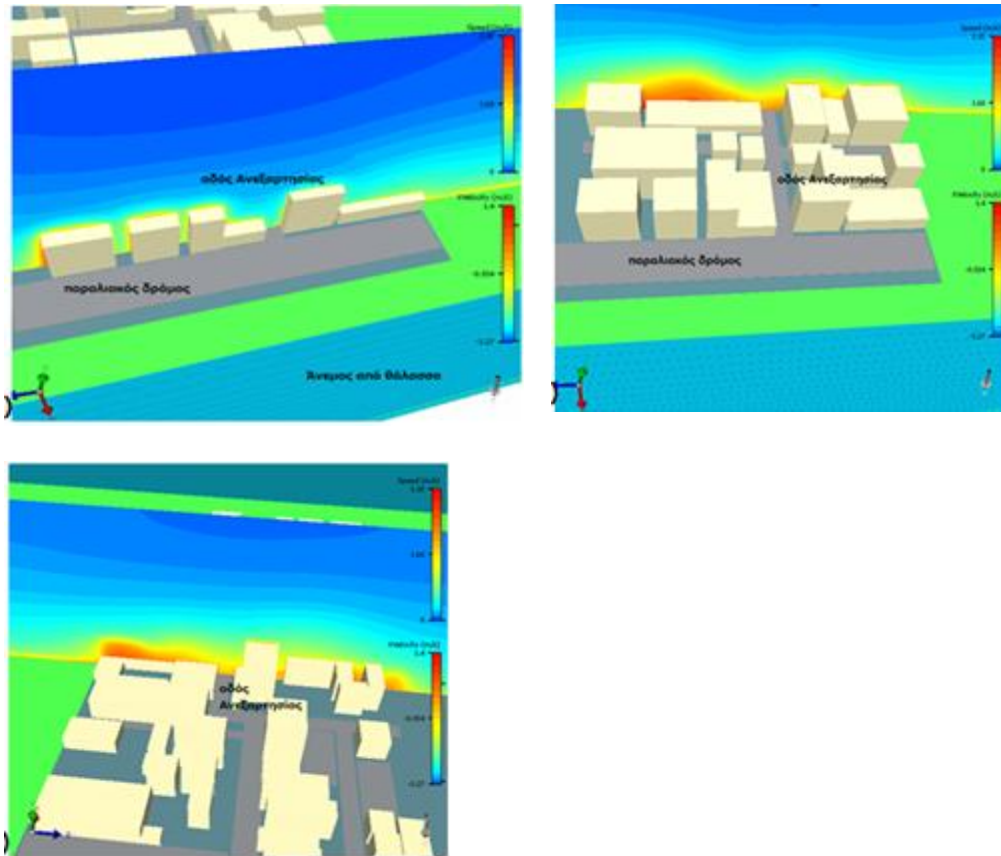


Εικόνα 16: Αστικές χαράδρες: α) μέτρια αναλογία H/W, β) μεγάλη αναλογία H/W, γ)μεγάλη αναλογία H/W (άξονας -z).

4.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων Α περίπτωσης άξονας x

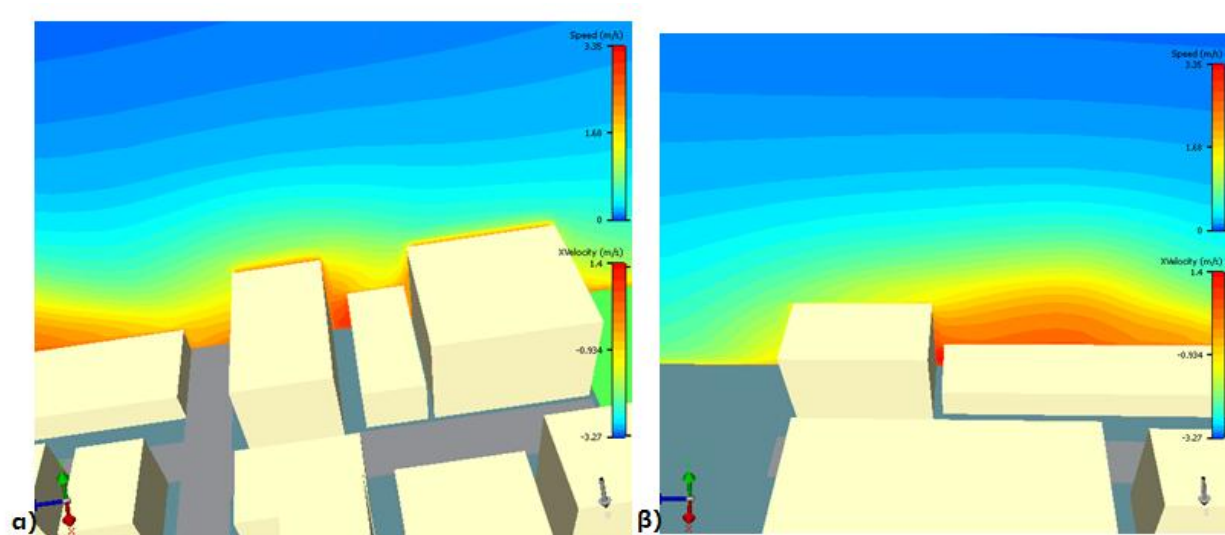
Η κατανομή του αέρα μελετήθηκε και στον άξονα x σε διάφορες αποστάσεις γύρω και διαμέσου των κτιρίων. Στις εικόνες 17-22 φαίνονται διαφορετικές περιπτώσεις της ροής του αέρα εντός του αστικού χώρου. Τα αποτελέσματα του άξονα x παρουσιάζονται για αποστάσεις από 140 m μέχρι 420 m.

Από τις Εικόνες 17 α), 17 β) και 17 γ) παρατηρείται η κίνηση του αέρα στην παραθαλάσσια πλευρά του αστικού μοντέλου. Ο αέρας περνά μέσα στην οδό Ανεξαρτησίας και ρέει σε παράλληλη κατεύθυνση σε σχέση με την οδό. Στην αρχή της πορείας του φαίνεται να είναι ομαλή η κατανομή της ταχύτητας του αέρα, αυτό συμβαίνει λόγω του ότι ο χώρος είναι ελεύθερος μετά το δρόμο (Εικόνα 17 α). Στη συνέχεια πλησιάζοντας προς τον αστικό χώρο, η κίνηση του αέρα γίνεται λίγο πιο έντονη μεταξύ των κτιρίων που βρίσκονται κατά μήκος της οδού Ανεξαρτησίας (Εικόνα 17 β, 17γ). Αν ο δρόμος είχε μεγαλύτερο πλάτος σε ορισμένα σημεία τότε θα υπήρχε καλύτερος αερισμός κατά μήκος ολόκληρης της οδού Ανεξαρτησίας. Σε θερμά-υγρά κλίματα, όπως της πόλης Λεμεσού, ένας τέτοιος άνεμος θα βοηθούσε στο δροσισμό της πόλης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

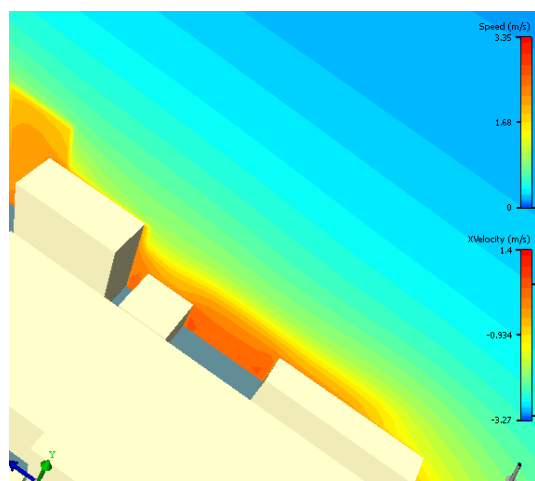


Εικόνα 17: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 420 m, β) 355 m γ) 275 m (Άξονας -x).

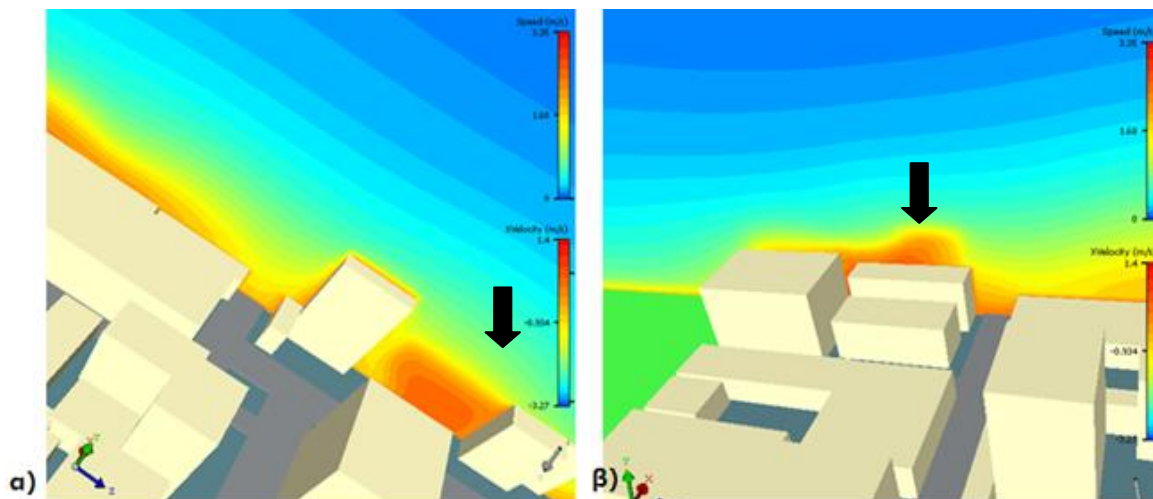
Όσον αφορά την κατακόρυφη κατανομή του αέρα σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ των κτιρίων στον αστικό χώρο, τα αποτελέσματα φαίνονται στις Εικόνες 18-19. Όσο πιο μικρή η μεταξύ τους απόσταση (Εικόνες 18 α, β) η ταχύτητα του αέρα φαίνεται να είναι λίγο μεγαλύτερη. Στην Εικόνα 19 παρατηρείται να εγκλωβίζεται ο αέρας μεταξύ των δύο κτιρίων, η απόσταση στην περίπτωση αυτή είναι μεγαλύτερη και κοντά στη βάση και στις κατακόρυφες πλευρές εμφανίζονται ψηλότερες ταχύτητες.



Εικόνα 18: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 355 m και β) 360 m (Άξονας - x).

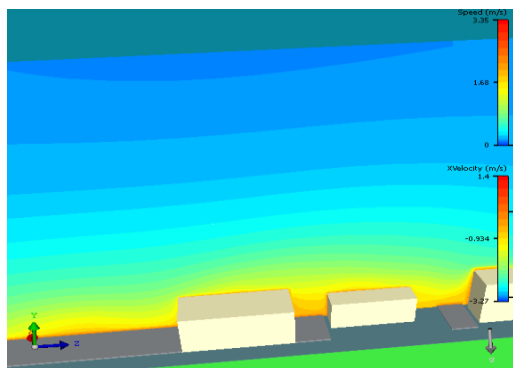


Εικόνα 19: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 227 m (Άξονας - x).



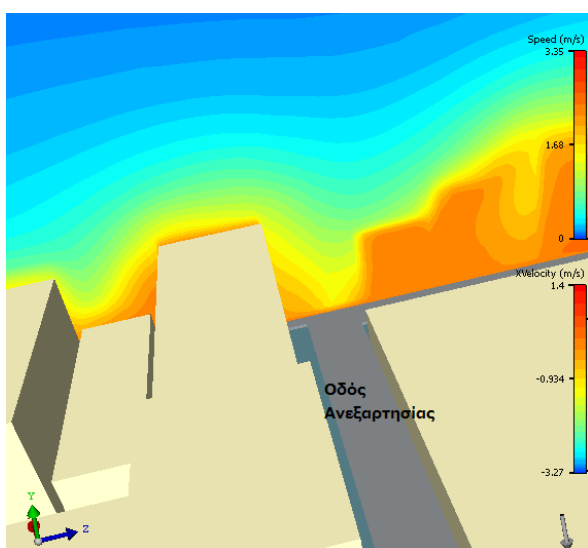
Εικόνα 20: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 260 m και β) 310 m (Άξονας - x).

Στην Εικόνα 20 α) παρουσιάζεται η ροή του αέρα μεταξύ των κτιρίων στον ενδιάμεσο χώρο. Σε συνδυασμό με τα πυκνοδομημένα κτίρια που βρίσκονται πίσω, ο κενός χώρος που δημιουργείται φαίνεται να εγκλωβίζει τον αέρα και να αναπτύσσονται μεγαλύτερες ταχύτητες κοντά στη βάση και πίσω από το κτίριο που βρίσκεται μετά από την τρισδιάστατη απεικόνιση της ροής. Στην Εικόνα 20 β) παριστάνεται η ροή πίσω από ένα ψηλό κτίριο της αστικής περιοχής που δημιουργήθηκε, ο αέρας παγιδεύεται και η ροή φαίνεται να είναι μεγαλύτερη μεταξύ των δύο κτιρίων.



Εικόνα 21: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση α) 140 m (Άξονας - x).

Σύμφωνα με την Εικόνα 21 η κίνηση του αέρα κατά μήκος του μεγάλου δημόσιου χώρου στάθμευσης είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη λόγω της μεγάλης ελεύθερης έκτασης, για απλούστευση του μοντέλου δε λήφθηκαν υπόψη στην προσομοίωση τα δέντρα που υπάρχουν μέσα και γύρω από το χώρο στάθμευσης, σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα αυτό θα ήταν διαφορετικό καθώς τα δέντρα θα ήταν εμπόδιο στη ροή του αέρα. Πιο δεξιά απεικονίζεται το τέλος της οδού Ανεξαρτησίας, σύμφωνα με τον αστικό χώρο που μελετήθηκε, η απόσταση μεταξύ των κτιρίων φαίνεται να είναι επαρκής και ο αέρας μπορεί να διαφύγει ελεύθερα από τον δρόμο.



Εικόνα 22: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 380 m (Άξονας- x).

Η κίνηση του αέρα στην οδό Ανεξαρτησίας απεικονίζεται στην Εικόνα 22, στο σημείο που μελετήθηκε. Λόγω του κάθετου δρόμου που υπάρχει, η ροή μεταξύ των κτιρίων στην οδό Ανεξαρτησίας είναι πιο ελεύθερη και ελαφρώς αυξημένες ταχύτητες του αέρα παρατηρούνται στις κατακόρυφες όψεις των κτιρίων. Η ταχύτητα φαίνεται επίσης να είναι αυξημένη πίσω από τα κτίρια που εκκλίνονται στον κάθετο δρόμο.

Γενικότερα η διεύθυνση του ανέμου υπεράνω των κτιρίων είναι παράλληλη με τον άξονα του δρόμου στην οδό Ανεξαρτησίας. Η ροή μέσα στο δρόμο χαρακτηρίζεται αφενός από μια κίνηση

του ανέμου παράλληλη προς τον άξονα του δρόμου καθώς και από ανοδική κίνηση του ανέμου δίπλα από τα κτίρια.

Σε θερμές περιοχές, όπως είναι και η περίπτωση της Λεμεσού, ο προσανατολισμός των κύριων δρόμων κυκλοφορίας, προς την διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων, θα διευκόλυνε τον δροσισμό και την ταχύτερη απαγωγή των ρύπων και των θερμικών αποβλήτων από ανθρωπογενείς παράγοντες (οχήματα, συστήματα κλιματισμού κ.α.).

5. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ- ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

5.1 Εισαγωγή

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται, η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, σε συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε δυο είδη τους πρωτογενείς και τους δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς ρύποι εκπέμπονται άμεσα από τις πηγές ρύπανσης όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, μόλυβδος κ.α. ενώ οι δευτερογενείς σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα σαν αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων μεταξύ των πρωτογενών ρύπων όπως το όζον [21].

Οι ρύποι δημιουργούν προβλήματα λόγω της υψηλής συγκέντρωσης τους σε τοπικό επίπεδο, κυρίως στις πυκνοδομημένες πόλεις. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας του αστικού χώρου προέρχεται από τη λειτουργία κτιρίων και την κίνηση οχημάτων και έχει ποικίλες επιπτώσεις στο αστικό κλίμα. Σύμφωνα με τον Steemers (2003) [22] παρόλο που τα κτίρια καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από τις μεταφορές, η τοπική ρύπανση από τα οχήματα είναι άμεσα αντιληπτή σε αντίθεση με αυτήν από τα κτίρια και τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται εκτός πόλης. Ακόμη, οι επεμβάσεις στον τομέα των μεταφορών έχουν καταστεί πιο επείγουσες γιατί η αντικατάσταση παλαιών οχημάτων με καινούρια πιο αποτελεσματικά και οι αλλαγές στα μέσα μαζικής μεταφοράς μπορούν να έχουν ταχύτερα αποτελέσματα, σε σχέση με την αντικατάσταση κτιρίων.

Η κύρια πηγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η καύση στερεών και υγρών καυσίμων από οχήματα, βιομηχανίες και βιοτεχνίες, θέρμανση κτιρίων, οικοδομικές εργασίες, εγκαταστάσεις καύσης απορριμμάτων, δραστηριότητες διακίνησης υγρών καυσίμων κ.ά. και οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε οξείδια του άνθρακα (CO , CO_2), οξείδια του αζώτου,

οξειδία του θείου, αιωρούμενα σωματίδια και αέριους υδρογονάνθρακες που είναι πτητικά συστατικά υγρών καυσίμων ή προϊόντα ατελούς καύσης [23].

Σύμφωνα με τον Αραβαντινό (1997) [23], τα στοιχεία για την Ευρωπαϊκή Ένωση φανερώνουν ότι μεγάλο μέρος των ατμοσφαιρικών ρύπων προέρχονται από την κυκλοφορία οχημάτων για μεταφορές και αναπτύσσονται αρχικά σε τοπικό επίπεδο, στο περιβάλλον της πόλης, μέσα στους δρόμους. Όμως ακόμη και στην περίπτωση που είναι δυνατή η άμεση διάχυση της ρύπανσης, οι πεζοί που κυκλοφορούν στους υπαίθριους χώρους κοντά στην κίνηση οχημάτων, είναι εκτεθειμένοι στους παραγόμενους ρύπους. Παράλληλα οι ρύποι που διαχέονται στην ατμόσφαιρα έχουν συνολική και μακροπρόθεσμη επίδραση στο περιβάλλον του πλανήτη.

Η μείωση της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί τοπικά, καθώς θα πρέπει να αντιμετωπιστεί συνολικά για μια ευρύτερη περιοχή. Παρόλα αυτά, υπάρχουν τεχνικές που συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Οι τεχνικές αυτές εστιάζουν τόσο στον περιορισμό των πηγών ρύπων, όσο και στην αύξηση της απορρόφησης των εκπεμπόμενων ρύπων, ώστε να παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή παρέμβασης. Η κατάλληλη ρύθμιση της κυκλοφορίας μπορεί να συντελέσει στον περιορισμό των εκπομπών. Παράλληλα η βλάστηση μπορεί να συμβάλει θετικά στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, λόγω της δυνατότητάς να απορροφά κάποιους από τους ρύπους. Τέλος με τη χρήση φωτοκαταλυτικών υλικών, τα οποία αποτελούνται από νανοσωματίδια οξειδίου του τιτανίου (TiO_2) εμπλουτισμένα με Οξείδιο του Μαγγανίου (MnO_2), μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο περίβλημα των κτιρίων και σε ελεύθερους χώρους μέσα στην πόλη συμβάλλοντας στην αποδόμηση τόσο ανόργανων ρύπων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO_x), όσο και πτητικών οργανικών ρύπων [24].

5.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα, CO , είναι ένας από τους σημαντικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους, καθώς εκπέμπεται άμεσα από τις πηγές ρύπανσης. Είναι ένα άχρωμο, άοσμο, άγευστο αέριο και είναι ελάχιστα ελαφρύτερο από τον αέρα [25]. Το CO παράγεται από την ατελή καύση ανθρακούχων ενώσεων (καυσίμων) και εκπέμπεται από όλες τις μονάδες (σταθερές και κινητές)

που χρησιμοποιούν ανθρακούχα καύσιμα. Ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα είναι 36 μέρες [26].

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι δηλητήριο για τον άνθρωπο και σε υψηλές συγκεντρώσεις (>100 ppm) μπορεί να προκαλέσει άμεσο θάνατο από ασφυξία. Επίσης παρατεταμένη έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις (<100 ppm) CO μπορεί να προκαλέσει πονοκέφαλους, ναυτίες, ζαλάδες, εξασθένηση του μυοκαρδίου και ανωμαλίες στο κεντρικό νευρικό σύστημα [26].

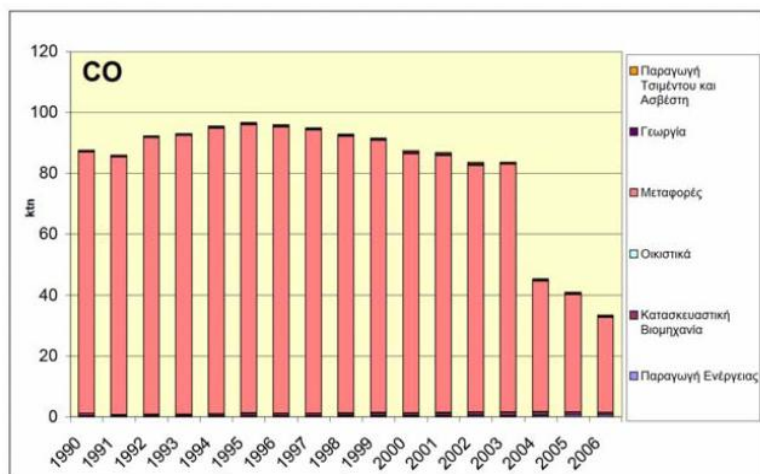
Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει μεγάλο συντελεστή διάχυσης, δηλαδή διαχέεται στο χώρο πολύ γρήγορα και είναι εύφλεκτο αέριο. Το γεγονός ότι το CO είναι ελαφρύτερο του αέρα έχει ως αποτέλεσμα να διαχέεται σε όλα τα ύψη του χώρου που καταλαμβάνει και να μην ανέρχεται μόνο στα υψηλότερα επίπεδα όπως ο καπνός. Η συγκέντρωση του CO εκτιμάται σε ppm (parts per million, δηλαδή μέρη όγκου αερίου ανά εκατομμύριο μέρη όγκου αέρα).

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν βενζίνη είναι η κύρια πηγή μονοξειδίου του άνθρακα σε πόλεις. Εντούτοις, οι εκπομπές είναι πολύ χαμηλότερες από τα σύγχρονα οχήματα που διαθέτουν καταλυτικούς μετατροπείς. Οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στις αστικές περιοχές συσχετίζονται πολύ με την πυκνότητα της κυκλοφορίας και με τις καιρικές συνθήκες. Οι συγκεντρώσεις μπορούν να ποικίλουν πολύ κατά τη διάρκεια της ημέρας, ως συνάρτηση των επιπέδων και της ταχύτητας κυκλοφορίας [25]. Παρατηρήθηκε ότι τα οχήματα παράγουν το περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα όταν είναι σε ακινησία ή κατά την επιβράδυνση τους. Υψηλές συγκεντρώσεις έχουν παρατηρηθεί σε χώρους στάθμευσης και κατά μήκος των δρόμων σε περιόδους κυκλοφοριακής αιχμής [21].

5.3 Εκπομπές CO στην Κύπρο

Στην Κύπρο, οι εκπομπές Μονοξειδίου του Άνθρακα προέρχονται κυρίως από τα αυτοκίνητα. Στο Σχήμα 23, φαίνονται οι συνολικές εκπομπές CO και οι εκπομπές CO ανά τομέα σε χιλιάδες τόνους (ktn) για την περίοδο 1990–2006. Οι συνολικές εκπομπές CO στην Κύπρο κατά το 2006 ανήλθαν στους 33,5 χιλιάδες τόνους σε σύγκριση με 87,4 χιλιάδες τόνους το 2000, σημειώνοντας μείωση της τάξης του 61,7%. Ιδιαίτερα αισθητή είναι η μείωση εκπομπών CO

μετά το 2004, αυτό οφείλεται κυρίως στη βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων, στην εισαγωγή οχημάτων νέας τεχνολογίας εξοπλισμένων με καταλυτικό μετατροπέα και στην περιοδική επιθεώρηση των οχημάτων. Η μείωση των εκπομπών CO επιβεβαιώνεται και από τις συνεχείς μετρήσεις της συγκέντρωσης CO στην ατμόσφαιρα στις αστικές περιοχές, όπου δεν παρατηρήθηκαν οποιεσδήποτε υπερβάσεις της δωρης οριακής τιμής ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [27].



Εικόνα 23: Εκπομπές Μονοξειδίου του Άνθρακα (σε kt) ανά Τομέα.

5.4 Εφαρμογές CFD για έλεγχο των εκπομπών CO

Με τη βοήθεια των λογισμικών υπολογιστικής ρευστοδυναμικής έχουν γίνει πολλές μελέτες που αφορούν την κατανομή των ρύπων. Συγκεκριμένα, οι Parakostantinou et al. [28] μελέτησαν τη συσσώρευση μονοξειδίου του άνθρακα σε συνεργείο αυτοκινήτων σε μια αστική περιοχή στην Αθήνα, διερεύνησαν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και επικεντρώθηκαν στον εντοπισμό κατάλληλου συστήματος εξαερισμού, χρησιμοποίησαν το λογισμικό PHOENICS για τη δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης των επιπέδων CO. Ακόμη το 2000 οι Xue et al. [29]

ερεύνησαν με προσομοίωση την κατανομή της θερμοκρασίας και τη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα από κινούμενα αυτοκίνητα σε ένα υπόγειο χώρο στάθμευσης.

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Στη Β περίπτωση της μελέτης αυτής εξετάστηκαν οι εκπομπές CO από κινούμενα αυτοκίνητα στους χώρους στάθμευσης της αστικής περιοχής που μελετήθηκε. Στον αστικό χώρο που δημιουργήθηκε υπάρχουν τέσσερις χώροι στάθμευσης. Ο μεγαλύτερος χώρος στάθμευσης είναι ιδιωτικός και βρίσκεται δίπλα από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου με συνολική έκταση 2058 m². Οι άλλοι δύο ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης ανήκουν στη CYTA και έχουν έκταση 420 m² αντίστοιχα. Ενώ ο τρίτος ιδιωτικός χώρος στάθμευσης είναι πολύ μικρότερος (80 m²).

Όλοι οι χώροι στάθμευσης παρουσιάζουν αυξημένη χρήση τις πρωινές ώρες και τα απογεύματα και λιγότερο το βράδυ. Ειδικότερα οι δυο ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης της CYTA χρησιμοποιούνται μόνο για την εξυπηρέτηση των πελατών και των εργαζομένων, έτσι δεν γίνεται χρήση τις βραδινές ώρες.

6.1 Μεθοδολογία

Για την επίτευξη της προσομοίωσης έγιναν κάποιες παραδοχές. Στο τρισδιάστατο μοντέλο του τμήματος της πόλης που δημιουργήθηκε στη Α περίπτωση, έγινε τοποθέτηση πηγών μονοξειδίου του άνθρακα στους τέσσερις χώρους στάθμευσης (Πίνακας 2). Τοποθετήθηκαν περισσότερες πηγές στο μεγαλύτερο χώρο στάθμευσης λόγω της συχνής του χρήσης και λιγότερες στους χώρους που έχουν μειωμένη χρήση. Κάθε πηγή παριστάνει την προσομοίωση ενός αυτοκινήτου που κινείται στο χώρο στάθμευσης. Οι διαστάσεις των πηγών ορίστηκαν με βάση το σημείο εξόδου των εκπομπών που παράγει ένα αυτοκίνητο να είναι $x=0.08\text{m}$, $y=0.08\text{m}$, $z=0.08\text{m}$. Οι πηγές τοποθετήθηκαν σε ύψος 30cm από το έδαφος. Η τιμή της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα για κάθε πηγή που τοποθετήθηκε στους χώρους στάθμευσης υπολογίστηκε από δυο αναλογίες ως εξής:

Αρχικά για το μεγαλύτερο χώρο στάθμευσης (2058 m²), υπολογίστηκε η μάζα του αέρα σε ύψος 2,5 m από την σχέση 6.1.2. με τη βοήθεια της σχέσης 6.1.1.

$$\boxed{V = \alpha * \beta * \gamma} \quad (6.1.1)$$

$$V = 42 \text{ m} * 49 \text{ m} * 2,5 \text{ m} = 5145 \text{ m}^3$$

$$\boxed{m = \rho * V} \quad (6.2.1)$$

$$m = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5145 \text{ m}^3 = 6174 \text{ kg}$$

Όπου:

m = μάζα του αέρα στο χώρο στάθμευσης σε ύψος 2,5 m

$\rho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ πυκνότητα του αέρα κοντά στο έδαφος [30]

V = όγκος σε ύψος 2,5 m στον 1^ο χώρο στάθμευσης

Στη συνέχεια έγινε μια αναλογία μεταξύ της συγκέντρωσης CO που εκπέμπεται από κάθε αυτοκίνητο όταν διανύσει απόσταση ενός χιλιομέτρου και της μάζας του αέρα στο χώρο στάθμευσης. Η συγκέντρωση που ελευθερώνεται από ένα επιβατικό αυτοκίνητο είναι $13,06 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{km}}$ [31].

Η αναλογία συγκέντρωσης CO (σε $\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$) για κάθε χιλιόμετρο που διανύει ένα αυτοκίνητο στο μεγάλο χώρο στάθμευσης (2058 m²) είναι:

$$\frac{\text{CO από κάθε αυτοκίνητο ανά km}}{\text{Μάζα του αέρα στον χώρο σταθμευσης}} = \frac{13,06 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{km}}}{6174 \text{ kg}} = 2 * 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{kg*km}}$$

Ακόμη υπολογίστηκε και μια δεύτερη αναλογία με τον ίδιο τρόπο για τους τρεις μικρότερους χώρους στάθμευσης:

$$V = 30 \text{ m} * 14 \text{ m} * 2,5 \text{ m} = 1050 \text{ m}^3$$

$$m = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1050 \text{ m}^3 = 1260 \text{ kg}$$

$$\frac{\text{CO από κάθε αυτοκίνητο ανά km}}{\text{Μάζα του αέρα στο χώρο στάθμευσης}} = \frac{13,06 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{km}}}{1260 \text{ kg}} = 1 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = 10 * 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{kg} * \text{km}}$$

Λόγω του μικρότερου όγκου, η τιμή της αναλογίας που προκύπτει για τις πηγές στους τρεις μικρότερους χώρους στάθμευσης είναι πιο μεγάλη.

Με βάση τις παραδοχές που έγιναν στο μεγαλύτερο χώρο στάθμευσης τοποθετήθηκαν 3 πηγές οι οποίες αντιπροσωπεύουν τρία αυτοκίνητα που κινούνται 3 km μέσα στο χώρο στάθμευσης. Για τον ιδιωτικό χώρο στάθμευσης της CYTA για πελάτες τοποθετήθηκαν δυο πηγές, δηλαδή 2 αυτοκίνητα που καλύπτουν 2 km. Αντίστοιχα για τους άλλους δύο χώρους θεωρήθηκε ότι κινείται ένα αυτοκίνητο που καλύπτει απόσταση 1 km. Όλα τα δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 και αντιπροσωπεύουν τις εκπομπές κατά την διάρκεια μιας μέρας.

Πίνακας 2: Πηγές CO σε χώρους στάθμευσης.

Χώροι στάθμευσης	Χώροι στάθμευσης (m ²)	Αριθμός Πηγών CO σε κάθε χώρο στάθμευσης	Συγκέντρωση CO σε ppm ανά πηγή
Δημόσιος χώρος	2058	3	2
Ιδιωτικός χώρος CYTA για πελάτες	420	2	10
Ιδιωτικός χώρος CYTA για εργαζόμενους	420	1	10
Ιδιωτικός χώρος	80	1	10

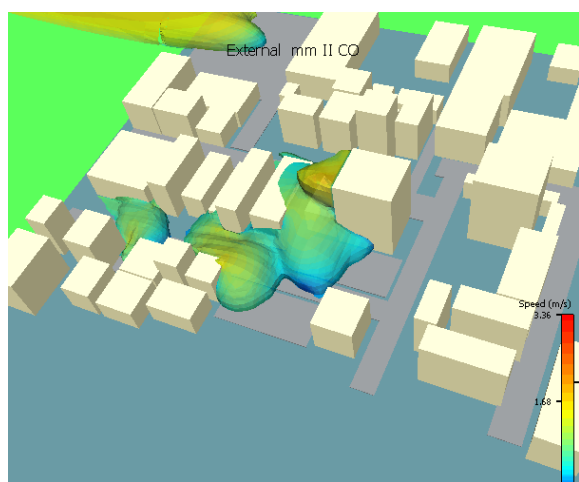
6.2 Αποτελέσματα Β περίπτωσης

Με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο που μελετήθηκε στην Α' περίπτωση της αστικής περιοχής στη Λεμεσό, έγινε τοποθέτηση πηγών στους χώρους στάθμευσης σύμφωνα με τις παραδοχές που αναφέρθηκαν και καταχωρήθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για τις πηγές μονοξειδίου του

άνθρακα. Στη συνέχεια ο υπολογιστικός κώδικας Flovent 9.1 ανέλυσε όλα τα δεδομένα που είχαν εισαχθεί στο πρόγραμμα και τα αποτελέσματα της διασποράς του μονοξειδίου του άνθρακα που προέκυψαν απεικονίστηκαν σε τρισδιάστατα γραφήματα.

Τα αποτελέσματα για τις τιμές των συγκεντρώσεων CO που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τα αυτοκίνητα στους χώρους στάθμευσης του αστικού μοντέλου που μελετήθηκε παρουσιάζονται στις Εικόνες 24-29, σε κάθε σημείο του χώρου για 0.01 ppm μέχρι 7 ppm.

Στην Εικόνα 24 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της κατανομής του CO για 0.01 ppm στον αστικό χώρο. Επιπλέον, φαίνονται τα σημεία του χώρου που επηρεάζονται από τις πηγές που τοποθετήθηκαν. Τα κτίρια και οι δρόμοι που βρίσκονται πιο κοντά στους χώρους στάθμευσης επηρεάζονται περισσότερο. Σύμφωνα με την προσομοίωση που έγινε η διασπορά του CO σε συγκέντρωση 0.01 ppm φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αυξημένη στο δρόμο όπου υπάρχουν οι δύο χώροι στάθμευσης της CYTA και ο μικρός ιδιωτικός χώρος.



Εικόνα 24: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.01 ppm.

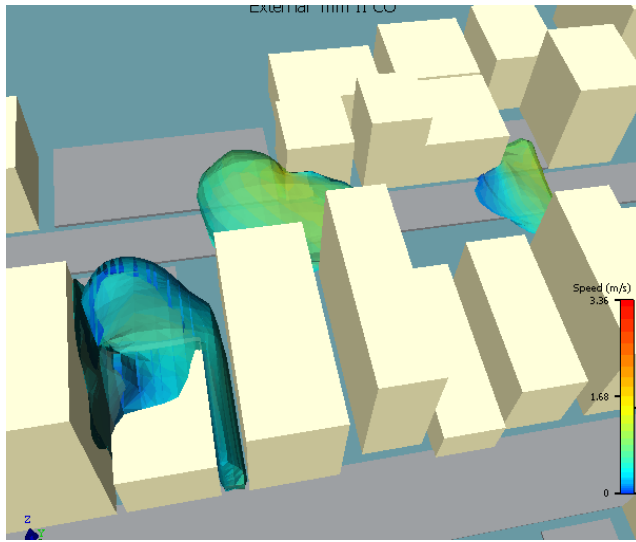
Η κατανομή της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα για 0.03 ppm παριστάνεται στην Εικόνα 25. Η ροή φαίνεται να είναι μεγάλη εντός των χώρων στάθμευσης και στους γύρω χώρους που συνορεύουν με αυτά. Οι συγκεντρώσεις CO που εκπέμπονται από τις πηγές παρουσιάζονται να διαφεύγουν και να φτάνουν μέχρι την οδό Ανεξαρτησίας ενώ επηρεάζεται πιο πολύ ο παράλληλος δρόμος που είναι δίπλα από τους τρεις χώρους στάθμευσης. Στο μεγαλύτερο χώρο στάθμευσης λόγω του ότι βρίσκεται στα όρια της αστικής περιοχής που έγινε

η μοντελοποίηση, η ροή της συγκέντρωσης διαφεύγει από τα όρια του μοντέλου. Τα όρια της περιοχής εκτίνονται και δίπλα από το μεγαλύτερο χώρο στάθμευσης υπάρχει δρόμος και κτίρια, έτσι το αποτέλεσμα αυτό δεν αντιπροσωπεύει τις πραγματικές συνθήκες.

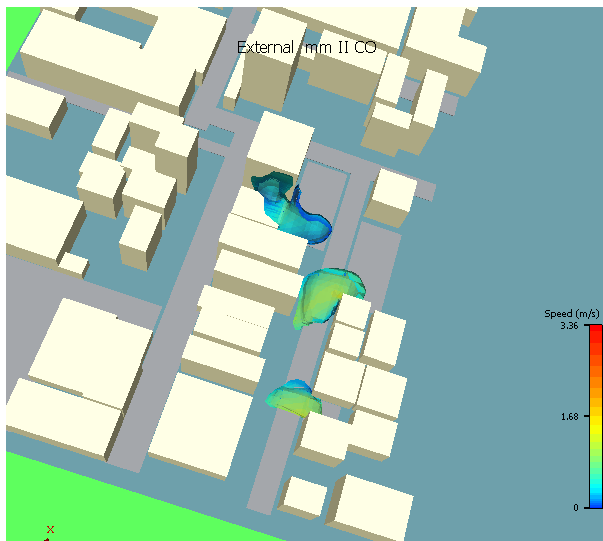


Εικόνα 25: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.03 ppm.

Όπως φαίνεται από τις Εικόνες 26 και 27 η διασπορά του μονοξειδίου του άνθρακα για συγκεντρώσεις από 0.08-0.1 ppm είναι ελαφρώς μειωμένη. Παρατηρείτε επίσης, ότι η ροή δεν φτάνει μέχρι την οδό Ανεξαρτησίας για αυτές τις τιμές της συγκέντρωσης CO. Φαίνεται να διανέμεται γύρω από τα κτίρια και σε τμήματα του δρόμου δίπλα από τους χώρους στάθμευσης.



Εικόνα 26: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.08 ppm.



Εικόνα 27: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.1 ppm.

Για μεγαλύτερες τιμές της συγκέντρωσης CO (0.5-8 ppm), τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στις Εικόνες 28-29 και στο παράρτημα Β. Παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλώνει η συγκέντρωση CO, η διασπορά της στο χώρο είναι μικρότερη και κυρίως γύρω από την κάθε πηγή.

Για συγκεντρώσεις CO μεγαλύτερες από 2 ppm, η κατανομή μέσα στον αστικό χώρο παρουσιάζεται μόνο στους χώρους στάθμευσης της CYTA και στο μικρό ιδιωτικό χώρο γύρω από τις πηγές. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι πηγές CO σε αυτούς τους χώρους ορίστηκαν να είναι 10 ppm. Ενώ στο μεγαλύτερο δημόσιο χώρο στάθμευσης η τιμή της συγκέντρωσης κάθε πηγής ορίστηκε στα 2 ppm.



Εικόνα 28: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 0.5 ppm.



Εικόνα 29: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για 1 ppm.

6.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων Β περίπτωσης

Από τα αποτελέσματα που λήφθηκαν στο δεύτερο μέρος της μελέτης έγινε σύγκριση με τα επιτρεπτά όρια της τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα στην Κύπρο. Σύμφωνα με τη νομοθεσία η παρακολούθηση και διαχείριση της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού αέρα στην Κύπρο γίνεται μέσα από τις πρόνοιες του περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Νόμου του 2010 (Ν. 77(I)/2010) και δυο σειρών των Κανονισμών που καθορίζουν όρια ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα για συγκεκριμένους ρύπους [32]. Σύμφωνα με τις οδηγίες που καθορίζουν τις οριακές τιμές για τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ρύπων στην ατμόσφαιρα, η δωρη μέγιστη οριακή τιμή της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα πρέπει να είναι 10 mg/m^3 για να εξασφαλίζεται η προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Για να γίνει η σύγκριση της μέγιστης οριακής τιμής (10 mg/m^3) με τα αποτελέσματα από τις πηγές στους χώρους στάθμευσης έγινε μετατροπή της μονάδας μέτρησης από mg/m^3 σε ppm. Σε κάθε 1 mg/m^3 μονοξειδίου του άνθρακα αντιστοιχεί $0,873 \text{ ppm}$ για θερμοκρασία 25°C και πίεση 1 atm [33]. Οπότε τα 10 mg/m^3 μονοξειδίου του άνθρακα αντιστοιχούν σε $8,73 \text{ ppm}$ που είναι η μέγιστη δωρη τιμή.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη μέγιστη δωρη τιμή φαίνεται να μην ξεπερνούν το επιτρεπόμενο όριο των εκπομπών CO. Επίσης, προέκυψε ότι εξαπλώνονται μέσα στο αστικό μοντέλο μικρές συγκεντρώσεις CO μέχρι 1 ppm . Παρόλα αυτά για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης έγιναν παραδοχές και εξετάστηκε μεμονωμένα η περίπτωση παραγωγής CO από τα αυτοκίνητα στους χώρους στάθμευσης, η συχνότητα της χρήσης τους ορίστηκε με βάση τη διάρκεια μιας μέρας. Ωστόσο, για την εξαγωγή πιο αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων θα μπορούσε να εξεταστούν και οι εκπομπές CO από την κυκλοφορία οχημάτων εντός των αστικών δρόμων της περιοχής που μελετήθηκε.

7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΟ

7.1 Εισαγωγή

Οι πόλεις σήμερα με τις λειτουργίες τους, την πυκνή τους δόμηση και την έλλειψη επαρκούς βλάστησης προκαλούν μια οριακή αύξηση των θερμοκρασιών. Το χειμώνα αυτό συνεπάγεται στη μείωση της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση των κτιρίων αλλά το καλοκαίρι οδηγεί στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για δροσισμό (ψύξη). Η πιο συνηθισμένη πρακτική για την αντιμετώπιση της ζέστης, είναι η χρήση συσκευών κλιματισμού. Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια καταγράφεται σημαντική αύξηση της χρήσης τους σε κτίρια και ιδιαίτερα σε μεγάλα αστικά κέντρα. Η εκτεταμένη χρήση τους εκτός από εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προκαλεί και την αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας των αστικών περιοχών, ενώ παράλληλα καταναλώνονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Η θερμική επιβάρυνση του εξωτερικού περιβάλλοντος (λόγω του ότι οι εξωτερικές κλιματιστικές μονάδες αποβάλλουν θερμότητα προς το περιβάλλον) επιβαρύνει αρνητικά τη βιωσιμότητα των πόλεων και συντελεί στην αύξηση των αστικών θερμοκρασιών.

Ένα σύστημα ψύξης (ή αλλιώς δροσισμού), σχεδιάζεται για να αφαιρεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτίριο. Αυτό είναι ανάγκη να γίνεται προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία του αέρα, χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή που θα επικρατούσε λόγω της αναπόφευκτης ροής θερμότητας τόσο από τις εσωτερικές πηγές, όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου [34].

Σύμφωνα με τα παραπάνω επιβάλλεται να δοθεί προτεραιότητα σε στρατηγικές που βελτιώνουν τη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων το καλοκαίρι, μέσω τεχνικών παθητικής ψύξης των κτιρίων που θα συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας του κλίματος στο εσωτερικό των κτιρίων και του μικροκλίματος γύρω από αυτά.

7.2 Ανθρωπογενής θερμότητα

Ανθρωπογενής είναι η θερμότητα που προέρχεται κυρίως από τη λειτουργία των κτιρίων και από την κίνηση των οχημάτων. Η θερμότητα που εκλύεται από τα κτίρια εξαρτάται από το σχεδιασμό και την κατασκευή τους και η θερμότητα από τα οχήματα εξαρτάται από το είδος των μεταφορικών μέσων και των οχημάτων που χρησιμοποιούνται στον αστικό χώρο, καθώς και από την ποιότητα και τη λειτουργία των αστικών συγκοινωνιών.

Η επίδραση της ανθρωπογενούς θερμότητας στο αστικό περιβάλλον εξαρτάται και από τον τρόπο κατανάλωσης της ενέργειας. Σύμφωνα με τους Erell et al. 2005, τα κλιματιστικά σε μεγάλα κτίρια γραφείων εκπέμπουν θερμότητα από την οροφή στον ουρανό και τη μεταφέρουν στο στρώμα του αστικού ορίου, ενώ τα κλιματιστικά σε τοίχους και παράθυρα την αποβάλλουν μέσα στο στρώμα του αστικού ιστού και εντείνουν το φαινόμενο της θερμικής νησίδας [35].

Ο Taha το 1997, υπολόγισε την επίδραση της ανθρωπογενούς θερμότητας στις θερμοκρασίες αέρα δημιουργώντας ένα μοντέλο ημερήσιας παραγωγής ανθρωπογενούς θερμότητας με βάση τους υπολογισμούς αποβολής θερμότητας από κτίρια και οχήματα. Οι προσομοιώσεις με το συγκεκριμένο μοντέλο έδειξαν ότι σε μια μεγάλη πόλη η ανθρωπογενής θερμότητα μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία αέρα κατά 2-3°C την ημέρα και τη νύχτα [36].

Σύμφωνα με τον Akbari et al. (2001) και τον Taha (1997) [36], με βάση τα αποτελέσματα προσομοιώσεων σε κλίμακα πόλης, η αύξηση της ανακλαστικότητας των επιφανειών και η φύτευση δέντρων στο αστικό περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ρύπων και βελτίωση της ποιότητας του αέρα μέσω της μείωσης των θερμοκρασιών περιβάλλοντος και επομένως και της κατανάλωσης ενέργειας από τα κτίρια. Ειδικότερα οι Akbari et al. (2001) αναφέρουν ότι για κάθε 1°C αύξηση της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας επάνω από ένα όριο 15-20°C, σε μια αστική περιοχή, αυξάνεται η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 2-4 % εξαιτίας της επιπλέον χρήσης των κλιματιστικών.

7.3 Προσομοίωση Γ περίπτωσης- Μεθοδολογία

Στην τρίτη προσομοίωση μελετήθηκε η αποβολή θερμότητας από τις εξωτερικές μονάδες κλιματισμού που είναι τοποθετημένες σε οροφές κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα με βάση το τρισδιάστατο αστικό μοντέλο της περιοχής της Λεμεσού που εξετάστηκε στις προηγούμενες περιπτώσεις έγινε τοποθέτηση πηγών θερμότητας, που αναπαριστούν τα κλιματιστικά συστήματα, σε ορισμένα κτίρια. Συνολικά τοποθετήθηκαν 9 πηγές και εξετάστηκε η μεταβολή της θερμοκρασίας σε κάθε σημείο του αστικού χώρου. Η θερμοκρασία στο χώρο της πόλης διατηρήθηκε όπως είχε οριστεί στους 30°C.

Για την προσομοίωση των πηγών θερμότητας έγιναν κάποιες παραδοχές. Κάθε πηγή είχε διαστάσεις όμοιες με ένα πραγματικό εξωτερικό σύστημα κλιματισμού. Το μήκος, το ύψος και το πλάτος της κάθε πηγής ορίστηκαν να είναι 70 cm, 30 cm, 80 cm αντίστοιχα. Η τοποθέτηση τους έγινε στις οροφές των 9 κτιρίων που επιλέχθηκαν. Τα κριτήρια για την επιλογή των κτιρίων ήταν το ύψος τους, τα κτίρια που μελετήθηκαν είχαν χαμηλό ύψος σε σχέση με το συνολικό μέγιστο ύψος των κτιρίων που δημιουργήθηκαν στο αστικό μοντέλο της προσομοίωσης. Ο λόγος της επιλογής αυτής είναι για να εξεταστούν οι μεταβολές της θερμοκρασίας μέσα στον αστικό χώρο (στρώμα αστικού ιστού) όταν οι πηγές αποβάλλουν θερμότητα. Η θερμοκρασία που εκπεμπόταν από κάθε πηγή ορίστηκε να είναι στους 40°C.

Επιπλέον τα ύψη των κτιρίων που επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν οι πηγές θερμότητας κυμαίνονταν από 6m μέχρι 11m. Τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται στην οδό Ανεξαρτησίας και λειτουργούν ως καταστήματα ή γραφεία.

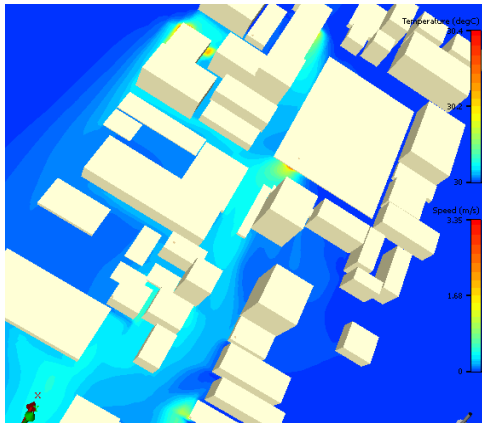
Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη της Γ περίπτωσης δεν μπορούν να γενικευτούν. Οι παραδοχές που έγιναν εκφράζουν μερικά από τα συστήματα των πηγών θερμότητας (κλιματιστικών συστημάτων) που υπάρχουν στα κτίρια της υπό μελέτη περιοχής. Ωστόσο η αστική περιοχή που μελετήθηκε αποτελείται κυρίως από πολυώροφα γραφεία και καταστήματα, τα κλιματιστικά συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι περισσότερα από ένα σε κάθε κτίριο για να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες δροσισμού κάθε ορόφου. Επιπλέον οι εκπομπές θερμότητας στο επίπεδο μιας πόλης μπορεί να προέρχονται και από άλλες

λειτουργίες των κτιρίων καθώς και από την κυκλοφορία οχημάτων και μέσων μαζικής μεταφοράς.

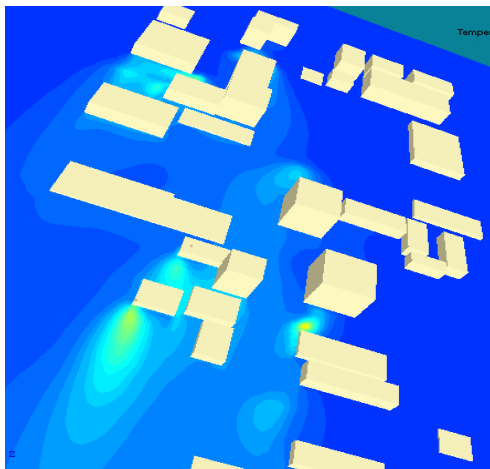
7.4 Προσομοίωση Γ περίπτωσης- Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο της αστικής περιοχής που μελετήθηκε στις προηγούμενες περιπτώσεις έγινε εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων για τη δημιουργία πηγών θερμότητας, που αναπαριστούν τα κλιματιστικά συστήματα, στις οροφές 9 κτιρίων εντός του αστικού μοντέλου. Τα αποτελέσματα που εξήχθηκαν από την ανάλυση της προσομοίωσης στον υπολογιστικό κώδικα Flovent 9.1 απεικονίζονται με τρισδιάστατα γραφήματα. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας στο αστικό μοντέλο που μελετήθηκε παριστάνονται στις Εικόνες 30-33. Επιπλέον αποτελέσματα από τη μεταβολή της θερμοκρασίας λόγω της ύπαρξης πηγών θερμότητας παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.

Τα αποτελέσματα της μεταβολής της θερμοκρασίας της περιοχής που προσομοιώθηκε αναπαριστώνται για διάφορες θερμοκρασίες. Στην Εικόνα 30 παριστάνεται η κατανομή της θερμοκρασίας από 30 ως 30,4°C εντός του αστικού μοντέλου. Η θερμοκρασία φαίνεται να αυξάνεται περισσότερο στην περιοχή γύρω από τις πηγές. Με σκούρο μπλε χρώμα παρουσιάζεται η σταθερή θερμοκρασία στους 30°C όπως ορίστηκε στην προσομοίωση του αστικού μοντέλου ενώ με γαλάζιο χρώμα φαίνεται η αύξηση στη θερμοκρασία κατά μήκος της οδού Ανεξαρτησίας λόγω των πηγών θερμότητας που τοποθετήθηκαν σε κτίρια κατά μήκος του δρόμου. Μικρότερες μεταβολές στη θερμοκρασία παρατηρούνται σχεδόν σε όλη την κτισμένη περιοχή. Στην Εικόνα 31 φαίνεται η κατανομή της θερμότητας μέχρι 30,7°C. Οι πηγές που βρίσκονται σε κτίρια με ύψος κοντά στα 12 m φαίνεται ότι όταν δεν εμποδίζονται από άλλα παραπλήσια κτίρια μεταδίδουν τη θερμότητα σε μεγαλύτερο μέρος εντός του αστικού μοντέλου.



Εικόνα 30: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30 μέχρι 30,4°C σε ύψος 5,2m.

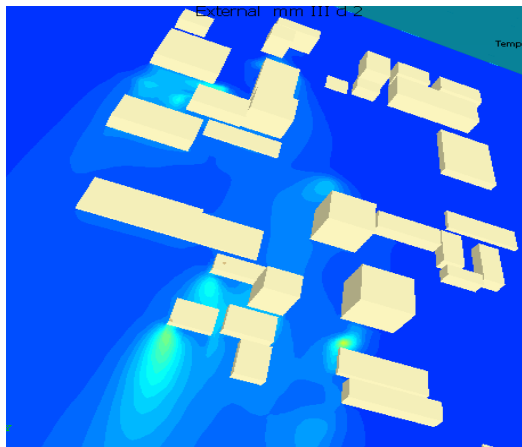


Εικόνα 31: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30°C μέχρι 30,7°C σε ύψος 12,3m.

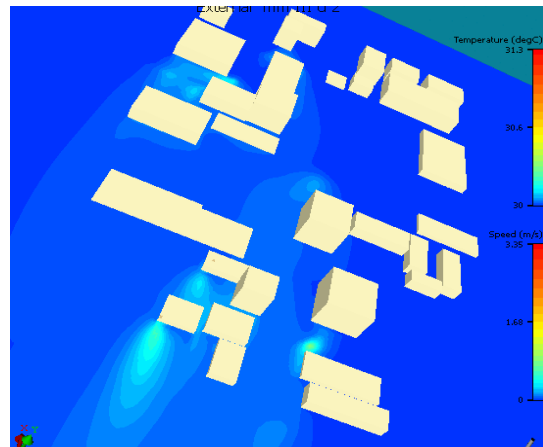
Τα αποτελέσματα σε μεγαλύτερες θερμοκρασιακές μεταβολές παρουσιάζονται στις εικόνες 32-33 και στο Παράρτημα Γ. Η μέγιστη θερμοκρασία που προκύπτει είναι στους 31,8°C. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι όταν οι πηγές είναι τοποθετημένες σε κτίρια τα οποία βρίσκονται σε πυκνοδομημένους χώρους, η θερμότητα διαδίδεται στον κενό χώρο που υπάρχει μεταξύ αυτών και των γειτονικών κτιρίων (Εικόνα 33). Αντίθετα, στις περιπτώσεις όπου η πηγή βρίσκεται σε κτίρια δίπλα από δρόμους η κατανομή της θερμότητας γίνεται κατά μήκος των δρόμων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις πηγές που τοποθετήθηκαν σε χαμηλά ύψη εντός της αστικής περιοχής η θερμοκρασία της πόλης φαίνεται να αυξάνεται από τα εξωτερικά κλιματιστικά. Η διάδοση της θερμοκρασίας στο αστικό μοντέλο που δημιουργήθηκε, φαίνεται

να συμβαίνει κυρίως στις περιοχές κοντά στις πηγές θερμότητας. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι πηγές αυξάνουν τη θερμοκρασία, της αστικής περιοχής που προσομοιώθηκε, μέχρι 1.8°C . Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που εξήχθηκαν αφορούν μεμονωμένες περιπτώσεις από τη χρήση συστημάτων κλιματισμού στην υπό μελέτη περιοχή της πόλης Λεμεσού.



α)



β)

Εικόνα 32: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30 μέχρι α) $30,9^{\circ}\text{C}$ και β) $31,3^{\circ}\text{C}$ σε ύψος 12,3m.



Εικόνα 33: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30°C μέχρι 31°C άξονας γ.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε προσομοίωση πολυσύχναστης αστικής περιοχής στη Λεμεσό όπου εξετάστηκαν η διανομή της ταχύτητας του αέρα εντός του αστικού μοντέλου όταν πνέει από τη νότια πλευρά (θάλασσα) προς την πόλη. Επίσης, μελετήθηκαν οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα από κινούμενα αυτοκίνητα στους χώρους στάθμευσής καθώς και η μεταβολή της θερμοκρασίας από τη χρήση κλιματιστικών συστημάτων στα κτίρια. Και οι τρεις περιπτώσεις εξετάστηκαν με τη βοήθεια του υπολογιστικού κώδικα Flovent 9.1.

Κατά τη διεκπεραίωση της συγκεκριμένης μελέτης ωστόσο, υπήρξαν κάποιες αδυναμίες-παραδοχές, οι οποίες μπορούν να αναλυθούν σε μελλοντικές μελέτες:

- Τα όρια της αστικής περιοχής που μελετήθηκε ήταν συγκεκριμένα. Επίσης για απλούστευση του μοντέλου δε λήφθηκαν υπόψη η βλάστηση και τα δέντρα της περιοχής. Σε επόμενες μελέτες θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα πιο ολοκληρωμένο αστικό μοντέλο για το κέντρο της πόλης της Λεμεσού.
- Για να αποδειχτεί ότι η μέθοδος αυτή είναι αξιόπιστη θα μπορούσαν να γίνουν πειραματικές μετρήσεις σχετικά με τις εκπομπές CO και τη συχνότητα χρήσης των χώρων στάθμευσης. Έτσι ώστε στη συνέχεια να μπορεί να γίνει σύγκριση των πειραματικών μετρήσεων με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση. Η σύγκριση αυτή θα ήταν ενδιαφέρουσα καθώς με αυτό τον τρόπο θα αποδειχτεί κατά πόσο η υπολογιστική μοντελοποίηση μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια ένα εξωτερικό περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Τα συμπεράσματα της εν λόγω μελέτης συνοψίζονται ως ακολούθως:

Α Περίπτωση:

- Από τη μελέτη της ροής του αέρα στο αστικό μοντέλο έχει παρατηρηθεί ότι επικρατούν μικρότερες ταχύτητες του αέρα στο στρώμα του αστικού ιστού με κάποιες διαφοροποιήσεις

της ροής κατά ύψος. Ενώ μεγαλύτερες ταχύτητες επικρατούν μέχρι το όριο της αστικής ατμόσφαιρας.

- Η κίνηση του αέρα κατά μήκος της οδού Ανεξαρτησίας είναι ελεύθερη, καθώς η ροή του αέρα εισέρχεται ανεμπόδιστα από τη θάλασσα εντός του δρόμου. Όπως φαίνεται ο προσανατολισμός των κύριων δρόμων κυκλοφορίας της πόλης, προς τη διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων, θα διευκόλυνε το δροσισμό και την ταχύτερη απαγωγή των ρύπων.
- Επιπλέον τα κτίρια λειτουργούν σαν εμπόδια στον άνεμο. Σε περιπτώσεις όπου υπήρχαν ψηλότερα κτίρια δίπλα σε χαμηλότερα κτίρια με μικρή απόσταση μεταξύ τους παρατηρήθηκε ο αέρας να εγκλωβίζεται μεταξύ των κτιρίων και να δημιουργούνται στροβιλισμοί. Επίσης σπειροειδής ροή χαμηλής ταχύτητας δημιουργήθηκε και σε δρόμους μικρότερου πλάτους με ψηλά παράπλευρα κτίρια.
- Η ροή του αέρα στους ελεύθερους χώρους και στους χώρους στάθμευσης κατανεμόταν ομοιόμορφα.
- Ακόμη μελετήθηκαν περιπτώσεις αστικής χαράδρας και πιο συγκεκριμένα της αναλογίας του ύψους των κτιρίων προς το πλάτος του δρόμου όταν ο αέρας κατευθυνόταν κάθετα προς το δρόμο. Παρατηρήθηκε να υπάρχουν χαράδρες με μέτριες αναλογίες ύψους- πλάτους και στενές αστικές χαράδρες με μεγάλες αναλογίες ύψους- πλάτους. Οι στενές αστικές χαράδρες φαίνεται να εμποδίζουν τον καλό αερισμό της αστικής περιοχής.

B Περίπτωση:

- Από τα αποτελέσματα της μελέτης των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα από αυτοκίνητα σε χώρους στάθμευσης της αστικής περιοχής, προκύπτει ότι μικρές συγκεντρώσεις CO (μικρότερες από 1 ppm) διαδίδονται από τους χώρους στάθμευσης στο αστικό μοντέλο. Η διασπορά των ρύπων αυτών παρατηρείται κυρίως μέσα στους χώρους στάθμευσης και στους χώρους που συνορεύουν με αυτούς. Επίσης συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα μικρότερες από 0.08 ppm παρατηρούνται να φτάνουν και να διανέμονται μέχρι την οδό Ανεξαρτησίας.
- Η κατανομή του CO για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 2 ppm παρουσιάζονται μόνο μέσα στους τρεις μικρότερους χώρους στάθμευσης.
- Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι οι συγκεντρώσεις CO που εκπέμπονται στους χώρους

στάθμευσης δεν ξεπερνούν το επιτρεπτό όριο της δωρης μέγιστης τιμής. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι εξετάστηκαν μεμονωμένες περιπτώσεις εκπομπών CO. Για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και τη μείωση της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα ρύθμισης της κυκλοφορίας των οχημάτων εντός των αστικών χώρων. Παράλληλα η αύξηση των χώρων πρασίνου στην πόλη θα συμβάλει στην απορρόφηση κάποιων ρύπων και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

- Μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εξετάσει τις εκπομπές CO στους χώρους στάθμευσης και στους αστικούς δρόμους της περιοχής, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι συνολικές εκπομπές CO από τα αυτοκίνητα στο κέντρο της Λεμεσού.

Γ Περίπτωση:

- Από την τοποθέτηση εξωτερικών κλιματιστικών συστημάτων σε 9 κτίρια του αστικού μοντέλου, παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι 1,8°C στην αστική περιοχή. Η διάδοση της θερμότητας μέσα στο αστικό μοντέλο παρατηρείται να εξαπλώνεται γύρω από τα κλιματιστικά συστήματα και στην κτισμένη περιοχή. Στην περίπτωση που τα κτίρια συνορεύουν με δρόμο η θερμότητα διαδίδεται κατά μήκος του δρόμου. Ιδιαίτερα στην οδό Ανεξαρτησίας η θερμοκρασία φαίνεται να αλλάζει σε όλο το δρόμο.
- Στις περιπτώσεις όπου οι πηγές βρίσκονταν σε πυκνοδομημένα τετράγωνα του αστικού χώρου, παρατηρήθηκε η θερμοκρασία να αλλάζει περισσότερο στον κενό χώρο μεταξύ τους.
- Η εφαρμογή στρατηγικών που θα βελτιώσουν τη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων, η αύξηση της βλάστησης εντός της πόλης, η χρήση παθητικών τεχνικών ψύξης στα κτίρια και ανακλαστικών υλικών στους ελεύθερους χώρους θα συμβάλει στη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος, μειώνοντας τη χρήση των κλιματιστικών συστημάτων και παράλληλα θα εξοικονομηθεί ενέργεια.
- Μελλοντική μελέτη θα μπορούσε να δείξει την αύξηση της θερμοκρασίας εντός του αστικού χώρου δημιουργώντας ένα μοντέλο παραγωγής ανθρωπογενούς θερμότητας με βάση την αποβολή θερμότητας από τα κτίρια και τα οχήματα μέσα στον αστικό χώρο.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής προέκυψαν νέα ερωτήματα και προβληματισμοί των οποίων η αντιμετώπιση απαιτεί επιπλέον διερεύνηση, καθώς και κάποιες ενδιαφέρουσες προοπτικές για εξέταση.

Η παρούσα διατριβή επικεντρώθηκε στη μελέτη της κίνησης του αέρα σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της Λεμεσού. Θα ήταν ενδιαφέρουσα η προσομοίωση μεγαλύτερου μέρους της πόλης και η μελέτη περισσότερων παραμέτρων που επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα, με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Flovent. Έτσι θα μπορούσε να εξεταστεί ο αστικός σχεδιασμός της πόλης. Ενώ παράλληλα μέσα από αλλαγές κυρίως στα κτίρια και τους δρόμους του αστικού μοντέλου, θα διερευνηθούν περιπτώσεις βελτίωσης της θερμικής άνεσης στην αστική περιοχή. Επίσης η μελέτη αυτή θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και θα βοηθήσει στον αστικό σχεδιασμό νέων οικισμών και στην επέκταση των ορίων της πόλης.

Επιπλέον, ενδιαφέρουσα θα ήταν η προσομοίωση των χώρων πρασίνου μέσα στο αστικό μοντέλο. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι πιο ρεαλιστική η εικόνα της αστικής περιοχής που δημιουργήθηκε. Ακόμη, θα μπορούσε να εξεταστεί η μεταβολή στις συνθήκες του αστικού μικροκλίματος λόγω της βλάστηση και παράλληλα να μελετηθούν τρόποι αξιοποίησης των ελεύθερων χώρων (όπως πλατείες, πάρκα κ.α.), ώστε να αναβαθμιστεί το αστικό περιβάλλον.

Καταλήγοντας, μια ακόμη πιθανή εξέταση θα ήταν η τοποθέτηση περισσότερων εξωτερικών κλιματιστικών συστημάτων σε κτίρια στο αστικό κέντρο της πόλης όπου έγινε η προσομοίωση. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει δυνατότητα διερεύνησης της μεταβολής της θερμοκρασίας που παρατηρείτε στο αστικό κέντρο για κάθε μήνα της θερινής περιόδου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

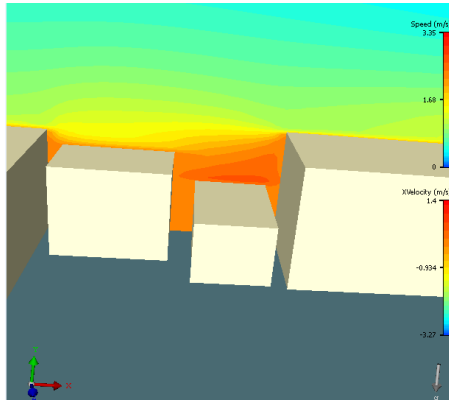
- 1) Σεργίδου Δέσποινα, (2011) Διαλέξεις μαθήματος, *Εισαγωγή στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες*. Τεχνολογικό πανεπιστήμιο Κύπρου.
- 2) Norton T., Sun DW., Grant J., Fallon R., Dodd V. (2007). Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: a review. *Bioresource Technology*, 98 (12), 2386-2414.
- 3) Jones P., Whittle G. (1992). Computational Fluid Dynamics for Building Air Flow Prediction Current Status and Capabilities. *Building and Environment*, 27(3), 321-338.
- 4) Svensson U. (1986). PHOENICS in environmental flows. *A review of applications at SMHI*. Lecture Notes in Engineering, 18, 87-96.
- 5) Fletcher C., Mayer I., Eghlimi A. (2001). CFD as a building services engineering tool. *International Journal on Architectural Science*, 3, 67-82.
- 6) Sayma A. (2009). *Computational Fluid Dynamics*. Abdunase Sayma & Ventus Publishing ApS.
- 7) Pow Chew Wong. (2008). *Natural Ventilation in Double-Skin Façade Design for Office Buildings in Hot and Humid Climate*. PhD thesis, University of New South Wales Australia.
- 8) Sotiris Vardoulakis, Bernard E.A. Fisherb, Koulis Pericleous, Norbert Gonzalez-Flesca. (2003). Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment*, 37,155-182.
- 9) Chan, A. T. and So. ESP and Samad, S.C. (2001). Strategic Guidelines for Street Canyon Geometry to Achieve Sustainable Street Air Quality. *Atmospheric Environment*, 35, 5681-5691.
- 10) Bonneaud, F. and Musy, M. and Depecker, P. (2001). *Simulation of the Wind in Hot and Humid Climate Cities: Evaluation of the Natural Ventilation Potential of the Housing in Urban Blocks*. 7th International IBPSA Conference, Riode Janeiro, Brazil. Aug 13-15, 109-116.

- 11) Xie, X. M. and Huang, Z. and Wang, J. S. (2005). Impact of Building Configuration on Air Quality in Street Canyon. *Atmospheric Environment* , 39, 4519-4530.
- 12) Bin Xia, Da-Wen Sun. (2002) Applications of computational fluid dynamics (CFD) in food industry: a review. *Computers and electronics in agriculture*, 34, 5-24.
- 13) N'Riain C.M., Fisher B., Martin C.J. & Littler J. (1998). Flow field and pollution dispersion in a central London street. *Environmental Monitoring and Assessment*, 52(1), 299-314.
- 14) Ren Z. & Stewart J. (2003). Simulating air flow and temperature distribution inside buildings using a modified version of COMIS with sub-zonal divisions. *Energy and Buildings*, 35(3), 257-271.
- 15) Mentor Graphics, Mechanical Analysis (2009), Ανακτήθηκε από: <http://www.mentor.com/products/mechanical/products/flovent>
- 16) Ρουμελιώτης Μ. (2001), Μοντελοποίηση και προσομοίωση. Πρόγραμμα Σπουδών: Πληροφορική, Θεματική Ενότητα: *Γραμμικός προγραμματισμός και Μοντελοποίηση*, Τόμος Α'. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και τεχνολογίας, Πάτρα.
- 17) Λεμεσός (2012), Ανακτήθηκε από: <http://el.wikipedia.org/wiki/Λεμεσός>
- 18) Maps (2012), Ανακτήθηκε από: <http://www.bing.com/maps/>
- 19) Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου. (2012). Ανακτήθηκε από: http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument
- 20) Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons Inc
- 21) Γεωργόπουλος Α. (1996), *Γη, ένας μικρός εύθραυστος πλανήτης*. Εκδόσεις Gutenberg. Αθήνα.
- 22) Steemers K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, (35), 3-14.
- 23) Αραβαντινός Α. (1997), *Πολεοδομικός σχεδιασμός για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου*. Συμμετρία. Αθήνα.
- 24) Νανοτεχνολογία (2012), Ανακτήθηκε από : <http://excellence.minedu.gov.gr/listing/83-clearup>

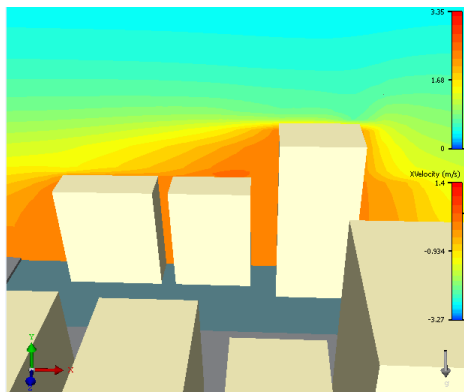
- 25) Air quality. (2012). Ανακτήθηκε από: <http://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/>
- 26) Κώστα Κώστας (2011), Διαλέξεις μαθήματος „Ατμοσφαιρική ρύπανση και πρόληψη της. Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου.
- 27) Εθνικό σχέδιο δράσης για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στην Κύπρο. 2007 Ανακτήθηκε από: <http://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/Default.aspx>
- 28) Papakonstantinou K., Chaloulakou A. , Duci A. , Vlachakis N., Markatos N. .(2003).Air quality in an underground garage: computational and experimental investigation of ventilation effectiveness. *Energy and Buildings*,35, 933-940.
- 29) Xue H. and J.C. Ho. (2000). Modeling of Heat and Carbon Monoxide Emitted from Moving Cars in an Underground Car Park. *Tunneling and Underground space Technology*, 15, 101-116.
- 30) Πυκνότητα. (2012). Ανακτήθηκε από: <http://el.wikipedia.org/wiki/Πυκνότητα>
- 31) Motor vehicle emissions. (2012). Ανακτήθηκε από: <http://www.epa.gov>
- 32) Νομοθεσία Κυπριακής Δημοκρατίας. (2012). Ανακτήθηκε από: <http://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/Default.aspx?pageid=689&menuitem=355>
- 33) Urban air quality management toolbook. (2012). Ανακτήθηκε από: <http://ww2.unhabitat.org/wuf/2006/aqm/tool28.htm#2>
- 34) Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. (2006) Ανακτήθηκε από: http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_HVAC.pdf
- 35) Erell E., Williamson T. (2005). Comments on the correct specification of analytical CTTC model for predicting the urban canopy layer temperature. *Energy and Buildings*, 38, 1015-1021.
- 36) Taha H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25, 99-103.
- 37) Akbari H., M. Pomerantz, H. Taha. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295-310.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

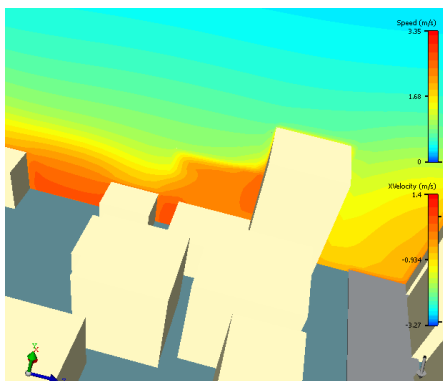
ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Α ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ



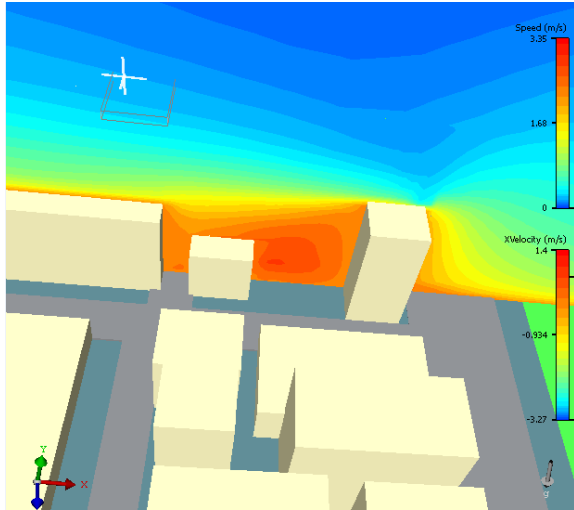
Εικόνα 1: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 270 m (Άξονας -z).



Εικόνα 2: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 235 m (Άξονας -z).



Εικόνα 3: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 215m (Άξονας -z).



Εικόνα 4: Κατανομή της ταχύτητας του αέρα σε απόσταση 295m (Άξονας -z).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Β ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

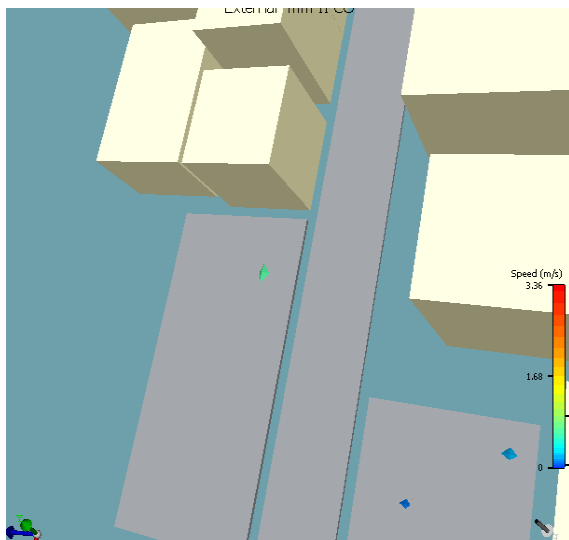


α)



β)

Εικόνα 5: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για α) 2 ppm και β) για 5 ppm.



α)

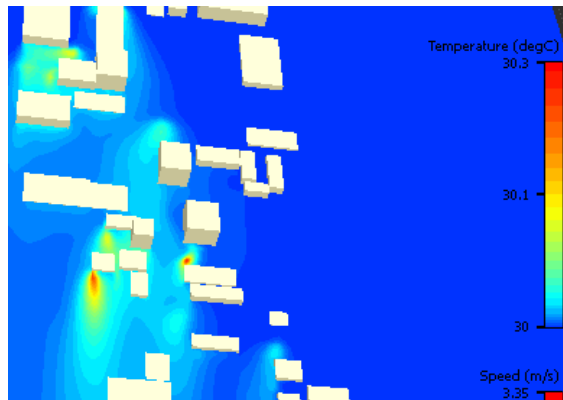


β)

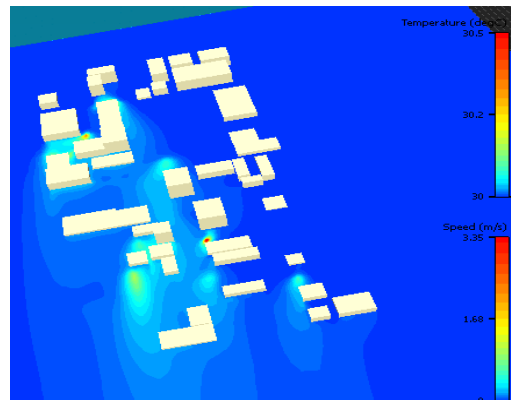
Εικόνα 6: Κατανομή της συγκέντρωσης CO για α) 7 ppm και β) για 8 ppm.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Γ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

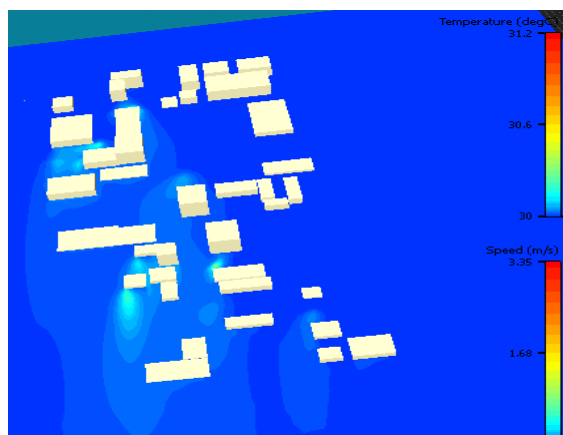


α)

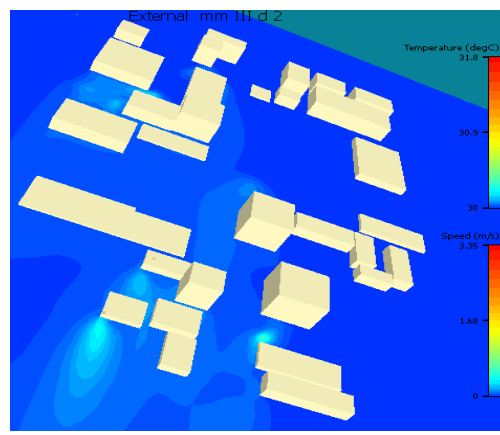


β)

Εικόνα 7: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30°C μέχρι α) 30,3°C και β) 30,5°C.



α)



β)

Εικόνα 8: Κατανομή της θερμοκρασίας από 30°C μέχρι α) 31,2°C και β) 31,8°C.