

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟ ΚΟΖΑΝΗΣ

ΜΑΡΚΟΓΙΑΝΝΑΚΗ ΜΑΡΙΑ, ΑΕΜ 1296

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στην Κοζάνη το 2016, για το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Γεώργιο Πανάρα, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ομότιμο καθηγητή κ. Ιωάννη Μπάρτζη, τον διδάκτορα Ευάγγελο Τόλη και τον υποψήφιο διδάκτορα Ιωάννη Σακελλάρη, οι οποίοι συνέβαλλαν ουσιαστικά στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους καθηγητές Αντώνιο Τουρλιδάκη και Ραφαέλλα- Ελένη Σωτηροπούλου, που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους φίλους μου και την οικογένεια μου, που με υπομονή και κουράγιο προσέφεραν την απαραίτητη ηθική και υλική συμπαράσταση στην ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας,

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στην φίλη Μαρία - Άννα Παπαδοπούλου και στον Γεώργιο - Χρήστο Γαζιώτη για την υποστήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά κυρίως κατά την περάτωση της.

Μαρκογιαννάκη Μαρία

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το αντικείμενο του αερισμού των κτιρίων, και πιο συγκεκριμένα με την πειραματική και υπολογιστική διερεύνηση του επίπεδου του αερισμού και των συνθηκών εσωτερικής άνεσης στο Δημοτικό Κολυμβητήριο της Κοζάνης.

Ο αερισμός, τόσο ο φυσικός όσο και ο τεχνητός, είναι απαραίτητο στοιχείο των κτιρίων και ειδικά των κολυμβητηρίων ώστε να διασφαλιστεί η καλή ποιότητα του αέρα και η υγεία των χρηστών. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι φυσικού και εξαναγκασμένου αερισμού για τα κτίρια, αλλά και για τους αθλητικούς χώρους συγκεκριμένα.

Το Δημοτικό Κολυμβητήριο της Κοζάνης βρίσκεται στα όρια του αστικού ιστού, ενώ σε πολεοδομικό επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ενιαία μονάδα με το Κλειστό Αθλητικό Γυμναστήριο, με το οποίο βρίσκεται σε κοντινή απόσταση. Το κέλυφος του χαρακτηρίζεται ως πεπαλαιωμένο. Οι χώροι του χωρίζονται στο χώρο της πισίνας, στον αποδυτήριο και στο γραφείο της γραμματείας. Η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη αποδοτική ή και ενδεχομένως προβληματική. Λειτουργεί τις ημέρες Δευτέρα-Σάββατο και τις ώρες 09:00 – 22:30.

Για τον πειραματικό προσδιορισμό του επιπέδου του αερισμού έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν αυτές της εκτίμησης του αερισμού με ανάλυση ισορροπίας και με χρήση συσκευής ανίχνευσης Διοξειδίου του Άνθρακα σε κτίριο με μεταβλητό ρυθμό εναλλαγής αέρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου 2016, και τα μετρούμενα μεγέθη ήταν αυτά της εσωτερικής και επιφανειακής θερμοκρασίας, της υγρασίας, της συγκέντρωσης CO₂, της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου στο εσωτερικό του κολυμβητηρίου. Παράλληλα τοποθετήθηκε μετεωρολογικός σταθμός πλησίον του κολυμβητηρίου.

Για το υπολογιστικό κομμάτι της διερεύνησης της επάρκειας του αερισμού, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό του Comis. Για τη σωστή λειτουργία του προγράμματος χρειάστηκε να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά των ζωνών του κολυμβητηρίου, μία σειρά συντελεστών και φυσικών παραμέτρων, οι τιμές των οποίων εξάχθηκαν είτε θεωρητικά είτε από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Υπολογίστηκε έτσι ο αερισμός για πέντε ξεχωριστές περιπτώσεις για κάθε ημέρα, σημειώνοντας ότι σε κάθε περίπτωση άλλαζαν τα ανοιχτά κουφώματα. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και σύγκριση μεταξύ του ρυθμού αερισμού που προσδιορίστηκε πειραματικά με τις δύο μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τον ρυθμό αερισμού που υπολογίστηκε με το λογισμικό Comis.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το κολυμβητήριο δεν έχει επιθυμητές συνθήκες θερμικής άνεσης και αυτό εν μέρει οφείλεται στην χαμηλή τιμή του ρυθμού του αερισμού, που υπολογίστηκε είτε πειραματικά είτε υπολογιστικά. Η εργασία ολοκληρώνεται με τη συζήτηση τρόπων αύξησης του επιπέδου αερισμού στο κολυμβητήριο, αναφερόμενοι σε φυσικό ή τεχνητό αερισμό. Χρειάζεται όμως περαιτέρω έρευνα ώστε να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν επιτυχώς.

Abstract

This Diploma Thesis focuses on the ventilation rate of the buildings. More specific, it deals with the experimental and computational investigation of the ventilation level and internal comfort conditions in the Municipal Natatorium of Kozani.

Both the natural and the enforced ventilation are an essential to buildings and especially to natatoriums, in order to ensure air quality and to protect occupant's health. There have been developed various methods of natural and enforced ventilation systems for buildings and for sport centers too.

The Municipal Natatorium of Kozani is located at the limit or the urban fabric, while it can be regarded as a single unit with the Indoor Sports Centre, which is located nearby. The building's envelop is marked as obsolete. The main space of the natatorium is divided in three zones, the pool, the locker room and the office. The energy performance of the building may be classified as inefficient. It operates from Monday to Saturday and the hours from 09:00 to 22:30.

A number of approaches are available in the relevant literature, for the experimental determination of the ventilation rate of internal spaces. This Thesis focuses on the method of tracer gas decay measurements of building air change rates and on the estimation of ventilation rates using equilibrium analysis. Measurements were performed between June and July 2016. The measured data referred to the temperature and humidity of internal air, building elements surface temperature, CO₂ concentration of internal air, UV solar radiation and air speed inside the natatorium. A meteorological station was installed nearby the natatorium, in order to obtain climatic conditions.

For the theoretical calculation of the ventilation rate, Comis software was used. In order to identify the values of the input parameters, the results of the experiments have been used, while if needed theoretical analysis took place. The ventilation rate was calculated for five different cases; the changing parameter has been the opening degree of specific windows and doors. A comparison between the theoretically calculated through the software and the experimentally determined ventilation rate was performed.

In conclusion, the internal air conditions of the natatorium of Kozani can be characterized uncomfortable for the occupants. This can be attributed to the low, insufficient ventilation rate. The discussion at the end of this work proposes ways to increase this rate and achieve thermal comfort conditions in the natatorium, noting though that proper research is required in order to plan and implement them successfully.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Περίληψη.....	3
Abstract	4
Περιεχόμενα.....	5
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 2. Το ζήτημα του αερισμού σε χώρους συνάθροισης	10
2.1. Ο αερισμός.....	10
2.2. Η σημασία του αερισμού στην υγεία	11
2.3. Φυσικός αερισμός.....	12
2.3.1 Διαφορά πίεσης λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς.....	12
2.3.2 Διαφορά πίεσης λόγω πνέοντος ανέμου	13
2.3.3 Ροή μέσω ανοίγματος	14
2.4. Δυνατότητα φυσικού αερισμού σε στεγανό κτίριο	16
2.4.1 Ηλιακή καμινάδα	16
2.4.2 Αιολικές καμινάδες αερισμού.....	17
2.4.3 Δικέλυφα κτίρια	18
2.4.4 Εσωτερικό αίθριο.....	18
2.5. Τεχνητός αερισμός	20
2.5.1 Μέθοδος εξαερισμού	20
2.5.2 Μέθοδος παροχής εξωτερικού καθαρού αέρα.....	21
2.5.3 Μέθοδος ισορροπίας.....	22
2.6. Αερισμός σε αθλητικούς χώρους.....	23
2.6.1 Φυσικός αερισμός σε αθλητικά κέντρα	24
2.6.2 Τεχνητός Αερισμός σε αθλητικά κέντρα	25
Κεφάλαιο 3. Το κτίριο προς μελέτη.....	27
3.1. Το κέλυφος	27
3.2. Χαρακτηριστικά επιμέρους χώρων – Στοιχεία χρήσης.....	29
3.3. Ενεργειακά Συστήματα	29
3.4. Ενεργειακή Συμπεριφορά.....	30
3.5. Πρόγραμμα λειτουργίας Κολυμβητηρίου	31
Κεφάλαιο 4. Πειραματικός προσδιορισμός επιπέδου αερισμού	34
4.1. Εισαγωγή	34
4.2. Βαθμός Παραγωγής Διοξειδίου του Άνθρακα	35
4.3. Διοξείδιο του Άνθρακα και Ποιότητα Αέρα στο Εσωτερικό	36

4.4.	Υπολογισμός αερισμού του κτιρίου	37
4.4.1	Ο προσδιορισμός του ποσοστού ανανέωσης αέρα λόγω εξαναγκασμένου αερισμού.....	38
4.4.2	Εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση συσκευής ανίχνευσης διοξειδίου του άνθρακα σε κτίριο με μεταβλητό ρυθμό εναλλαγής αέρα	39
4.4.3	Εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση ανάλυσης ισορροπίας.....	40
4.4.4	Προσέγγιση του ισοζυγίου μάζας για τον υπολογισμό του ρυθμού αερισμού	43
4.5.	Συνεχής καταγραφή του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό.....	43
4.6.	Προετοιμασία αισθητηρίων και τοποθέτηση τους	43
4.6.1	Βαθμονόμηση των αισθητηρίων.....	44
4.6.2	Βαθμονόμηση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.....	44
4.6.3	Βαθμονόμηση συγκέντρωσης Διοξειδίου του άνθρακα	48
4.7.	Διαδικασία των μετρήσεων	49
4.8.	Εγκατάσταση και λειτουργία οργάνων.....	51
4.8.1	Μετεωρολογικός Σταθμός	51
4.8.2	Αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, CO ₂	51
4.8.3	3D Ανεμόμετρο.....	52
4.8.4	Επιφανειακή Θερμοκρασία.....	52
4.9.	Αποτελέσματα μετρήσεων	53
4.9.1	Μετεωρολογικός Σταθμός	53
4.9.2	Θερμοκρασία αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος.....	54
4.9.3	Υγρασία αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος.....	56
4.9.4	Συγκέντρωση CO ₂	59
4.9.5	3D Ανεμόμετρο.....	61
4.9.6	Επιφανειακά θερμόμετρα.....	62
4.9.7	Υπολογισμός αερισμού στο δημοτικό κολυμβητήριο Κοζάνης	65
Κεφάλαιο 5.	Υπολογιστικός προσδιορισμός επιπέδου αερισμού	68
5.1.	Λειτουργία Comis.....	68
5.2.	Επιλογή C _p	70
5.3.	Χαρακτηριστικά του κτιρίου	71
5.4.	Περιγραφή Ζωνών	72
5.4.1	Περιγραφή ανοιγμάτων.....	73
5.4.2	Υπολογισμός συντελεστή παροχής, C _d	76
5.4.3	Υπολογισμός συντελεστή ροής για κλειστά παράθυρα και πόρτες, C _s	77
5.5.	Φυσικοί παράμετροι	78

5.5.1	Θερμοκρασία και υγρασία του κάθε χώρου	79
5.5.2	Μετεωρολογικά δεδομένα	81
5.6.	Υπολογισμός του αερισμού με χρήση του Comis	82
5.6.1	Σύγκριση αερισμού σε πειραματικό και υπολογιστικό επίπεδο σε ACH	83
5.6.2	Σύγκριση πειραματικά και θεωρητικά υπολογιζόμενου αερισμού για μία συγκεκριμένη ημέρα	84
Κεφάλαιο 6.	Συμπεράσματα – Προτάσεις	86
6.1.	Συμπεράσματα	86
6.2.	Προτάσεις για βελτίωση των συνθηκών αερισμού και θερμικής άνεσης	87
6.3.	Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση	87
Βιβλιογραφία.....		90

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Σήμερα η μόνωση στα κτίρια γίνεται όλο και πιο σημαντική. Με σκοπό την ενεργειακή βιωσιμότητα αλλά και την οικονομία, τα καινούρια κτίρια κατασκευάζονται στεγανά όσον αφορά τη διείσδυση του αέρα, ενώ υπάρχει μία γενική τάση για ενεργειακή αναβάθμιση των παλαιότερων κτιρίων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση του βαθμού ανανέωσης αέρα στο εσωτερικό των σύγχρονων κτιρίων, έλλειψη η οποία μπορεί να έχει συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων. Για την εξάλειψη του φαινομένου έχουν διατυπωθεί διάφορες μέθοδοι φυσικού και εξαναγκασμένου αερισμού.

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία, παρουσιάστηκαν οι μέθοδοι αερισμού και στη συνέχεια εξετάστηκε η περίπτωση του Δημοτικού Κολυμβητηρίου Κοζάνης, σε επίπεδο επάρκειας του αερισμού και παρουσίας ή όχι συνθηκών θερμικής άνεσης. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα του εσωτερικού αέρα. Επίσης τοποθετήθηκε ανεμόμετρο και αισθητήρες επιφανειακής θερμοκρασίας εντός του κολυμβητηρίου και μετεωρολογικός σταθμός πλησίον του. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε πειραματικός και υπολογιστικός, με χρήση του προγράμματος Comis, προσδιορισμός του ρυθμού αερισμού του εσωτερικού χώρου (εναλλαγές αέρα την ώρα, ACH). Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των θεωρητικά και πειραματικά προσδιοριζόμενων τιμών ανανέωσης αέρα και προτάθηκαν τρόποι βελτίωσης του ρυθμού αερισμού. Πιο αναλυτικά, τα περιεχόμενα των κεφαλαίων περιγράφονται στην συνέχεια.

Στο Κεφάλαιο 2, πραγματοποιήθηκε μία εισαγωγή στην έννοια του αερισμού αλλά και στους λόγους που είναι σημαντικός. Έγινε αναφορά στο φυσικό αερισμό, ο οποίος ορίζεται ως αυτός που πραγματοποιείται με την εναλλαγή του αέρα, μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων, χωρίς τη χρήση φυσητήρων. Οι μέθοδοι που υπάρχουν για να πραγματοποιηθεί φυσικός αερισμός σε στεγανά κτίρια είναι η χρήση ηλιακής καμινάδας, η αιολική καμινάδα, τα δικέλυφα κτίρια, το εσωτερικό αίθριο. Όσον αφορά τον τεχνητό-εξαναγκασμένο αερισμό, πραγματοποιείται με λειτουργία κατάλληλων φυσητήρων και οι μέθοδοι με τους οποίους επιτυγχάνεται είναι αυτή του εξαερισμού, της παροχής εξωτερικού αέρα και η μέθοδος της ισορροπίας που είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων. Στην περίπτωση των αθλητικών κέντρων έχουν αναπτυχθεί επίσης διάφορες μέθοδοι.

Στο Κεφάλαιο 3, πραγματοποιήθηκε περιγραφή του Δημοτικού Κολυμβητηρίου της Κοζάνης. Αρχικά, παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά των επιμέρους χώρων και τα στοιχεία χρήσης, στην συνέχεια τα ενεργειακά συστήματα και η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου, ενώ στο τέλος παρουσιάστηκε το ωριαίο πρόγραμμα του κολυμβητηρίου και το πλήθος των ατόμων που το χρησιμοποιούν.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται ο πειραματικός προσδιορισμός του επιπέδου αερισμού. Καταρχάς, εξηγείται ο τρόπος παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα από τους ανθρώπους, ανάλογα με το μέγεθος και τον βαθμό έντασης της δραστηριότητας τους, ενώ παρουσιάστηκε η σχέση μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα και της ποιότητας του αέρα. Στην συνέχεια, περιγράφονται οι μέθοδοι υπολογισμού του αερισμού του κτιρίου που είναι οι εξής: 1) ο προσδιορισμός του ποσοστού ανανέωσης αέρα λόγω εξαναγκασμένου αερισμού, 2) η εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση συσκευή αντίχνευσης διοξειδίου του άνθρακα σε κτίριο με μεταβλητό ρυθμό εναλλαγής αέρα, η οποία και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του αερισμού στο κολυμβητήριο, 3) η εκτίμηση του αερισμού με ανάλυση ισορροπίας, η οποία επίσης χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του αερισμού στην παρούσα εργασία, 4) η προσέγγιση

του αερισμού με χρήση ισοζυγίου μάζας. Στην συνέχεια, αναλύθηκε η προετοιμασία των οργάνων πριν την τοποθέτηση τους, δηλαδή η βαθμονόμηση τους. Ακολουθεί περιγραφή της διαδικασίας των μετρήσεων, ενώ κλείνοντας το κεφάλαιο δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αλλά και ο πειραματικός ρυθμός αερισμού του κολυμβητηρίου με τις δύο μεθόδους, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Στο Κεφάλαιο 5, περιγράφεται ο υπολογιστικός προσδιορισμός του επιπέδου αερισμού. Αρχικά, γίνεται αναφορά στο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε, δηλαδή το Comis, και ειδικότερα στην αρχή λειτουργίας του και στον τρόπο που επιλέχθηκε ο συντελεστής πίεσης, C_p . Στην συνέχεια αναλύονται τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και γίνεται περιγραφή των ανοιγμάτων και των ρωγμών του και υπολογισμός των συντελεστών παροχής, C_d , και ροής για κλειστά παράθυρα και πόρτες C_s . Έπειτα, παρουσιάζονται οι φυσικοί παράμετροι, δηλαδή οι συνθήκες των ζωνών και τα μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο Comis. Τέλος, πραγματοποιείται ο υπολογισμός του ρυθμού αερισμού με χρήση του Comis και γίνεται σύγκριση του με αυτούς που υπολογίστηκαν με τις δύο πειραματικές μεθόδους, για όλο το πλήθος των μετρήσεων και για μία ημέρα συγκεκριμένα.

Στο Κεφάλαιο 6, παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και οι προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση και έρευνα.

Κεφάλαιο 2. Το ζήτημα του αερισμού σε χώρους συνάθροισης

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια του αερισμού. Αρχικά, αναφέρεται η σημασία του αερισμού με έμφαση στην επίδρασή του στην υγεία των ανθρώπων. Στη συνέχεια, αναλύονται ο φυσικός και τεχνητός αερισμός, αλλά και οι μηχανισμοί με τους οποίους επιτυγχάνονται. Τέλος, γίνεται μία αναφορά στον αερισμό των αθλητικών κέντρων και πιο συγκεκριμένα στα κολυμβητήρια.

2.1. Ο αερισμός

Ο αερισμός είναι πολύ σημαντικός στους χώρους όπου ζουν και δραστηριοποιούνται άνθρωποι. Πραγματοποιείται είτε φυσικά είτε τεχνικά (εξαναγκασμένος ή μηχανικός αερισμός), ενώ στις περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη ή απουσία του παρατηρούνται φαινόμενα εσωτερικής ρύπανσης αλλά και αυξημένης υγρασίας, με αποτέλεσμα να απειλείται η υγεία των ανθρώπων. Η ελάχιστη αναγκαία ποσότητα νωπού αέρα ανέρχεται σε $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά άτομο. (ICEU, 1994)

Ένα χρήσιμο μέγεθος για την ποσοτικοποίηση της ποσότητας του νωπού αέρα αποτελεί ο αριθμός των εναλλαγών του αέρα (ACH), ο οποίος δίνει την εναλλαγή του αέρα σε έναν χώρο σαν πολλαπλάσιο του όγκου του χώρου ανά ώρα. Η μονάδα με την οποία μετράμε τον αριθμό εναλλαγών αέρα είναι 1/h. Στον Πίνακα 2.1 δίνονται ενδεικτικά οι ελάχιστες εναλλαγές αέρα που πρέπει να πραγματοποιούνται σε διάφορους χώρους και κτίρια, όπως αναφέρονται στο ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004.

Πίνακας 2.1: Ελάχιστος ρυθμός αερισμού

Χώρος	ACH
Υπνοδωμάτιο	1
Αίθουσα Διδασκαλίας	1
Γραφείο	1
Χώρος Εστίασης	2
Γυμναστήριο	2
Κολυμβητήριο	2

(ΠΗΓΗ: ASHRAE, 2004)

Οι προτεινόμενες απαιτήσεις φρέσκου(νωπού) αέρα σε ένα κολυμβητήριο, κατά την διάρκεια των ωρών λειτουργίας, είναι περίπου $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας νερού (ICEU, 1994) υποθέτοντας ότι η ταχύτητα του αέρα πάνω από της είναι $0,05 - 0,15 \text{ m/s}$ (ASHRE, 1995), το οποίο έχει βρεθεί ικανοποιητικό σε ένα ευρύ φάσμα κολυμβητηρίων,. Αυτό κανονικά οδηγεί σε 5 ανανεώσεις του αέρα την ώρα (ACH) και 2 (ACH) για τον χώρο της πισίνας. Η πραγματική ζήτηση για εξωτερικό αέρα εξαρτάται από την ποσότητα εξατμιζόμενου νερού από την πισίνα, την προσέλευση ατόμων στο χώρο και το μέγεθος του κολυμβητηρίου. Για τα αποδυτήρια, η προτεινόμενη παροχή φρέσκου αέρα είναι $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά μονάδα όγκου του χώρου, ενώ στα ντους είναι περίπου $220 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά ντους (ICEU, 1994). Ωφέλιμη θα φανεί η διατήρηση των διαφόρων χώρων παρακειμένως του κυρίως χώρου της πισίνας, σε μία ελαφρώς θετική

ατμοσφαιρική πίεση σχετικά με τον χώρο της πισίνας, για να αποφευχθεί η μετακίνηση αέρα και η διάδοση οσμών χλωρίου έξω από τον χώρο της πισίνας.

2.2. Η σημασία του αερισμού στην υγεία

Όπως αναφέρθηκε, η υγεία των ανθρώπων απειλείται από την ανεπάρκεια αερισμού. Οι άνθρωποι περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους στο εσωτερικό ενός κτιρίου, είτε αυτό είναι το σπίτι τους είτε ο χώρος της εργασίας τους. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η επιτακτική ανάγκη για καλή ποιότητα αέρα στα κτίρια ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για την υγεία τους, αλλά ούτε και δυσφορία. Τα συστατικά εκείνα που η αύξηση της συγκέντρωσης τους επιφέρει εσωτερική ρύπανση είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του αζώτου, η φορμαλδεΐδη, οι υδρογονάνθρακες και η σκόνη. Ταυτόχρονα όμως έχουμε και αύξηση συγκέντρωσης οσμών και επιβλαβών για την υγεία μικροοργανισμών (βακτηριδίων, ιών και μυκήτων) με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μη βιώσιμες συνθήκες ζωής και εργασίας. Αυτά τα συστατικά μπορεί να προκληθούν από την ανθρώπινη δραστηριότητα, από τις εκπομπές των δομικών υλικών του κτιρίου και των συσκευών που υπάρχουν μέσα σε αυτόν.

Τα συμπτώματα που παρατηρήθηκαν σε ανθρώπους που περνούν μεγάλο μέρος της ημέρας σε ένα τέτοιο κτίριο το οποίο δεν αερίζεται επαρκώς μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Αναπνευστικά συμπτώματα
 - δύσπνοια,
 - ξηρός βήχας,
 - πονόλαιμος,
 - βράγχιασμα
 - ρινόρροια
 - φτάρνισμα
- Οφθαλμικά Συμπτώματα
 - ερεθισμός στα μάτια,
 - πονοκέφαλοι
- Ψυχολογικά συμπτώματα
 - πνευματική κόπωση,
 - δυσκολία στην συγκέντρωση,
 - λήθαργος
 - κακή διάθεση
- Δερματικά συμπτώματα
 - ερεθισμός του δέρματος (εξανθήματα),
- Άλλα συμπτώματα
 - ζαλάδες
 - ναυτία

Με πιο συχνά τα οφθαλμικά και αναπνευστικά συμπτώματα(Norhidayah,et al., 2012)

2.3. Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός είναι ο βασικότερος και απλούστερος τρόπος απομάκρυνσης αερίων και επιβλαβών για την υγεία ουσιών στους χώρους, ταυτόχρονα αποκτά καίρια σημασία όταν πρόκειται για την αποβολή υγρασίας κατά τους ψυχρούς μήνες, αλλά και για την βελτίωση της θερμικής άνεσης κατά τους καλοκαιρινούς.

Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο φυσικό αερισμό αναφερόμαστε στην εναλλαγή του αέρα όταν πραγματοποιείται μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων, χωρίς τη χρήση φυσητήρων. Εν μέρει, πραγματοποιείται ανεξέλεγκτα μέσω της διαπνοής των κτιριακών στοιχείων (τοιχοποιίας ορόφων) ή μέσω μη στεγανών σημείων των στοιχείων αυτών και εν μέρει ελεγμένα μέσω των ανοιγμάτων των κουφωμάτων ή μέσω των οπών αερισμού. Οι παράμετροι που τον επηρεάζουν είναι οι εξής

- Η κατεύθυνση των επικρατούντων ανέμων
- Η διαφορά θερμοκρασίας
- Η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων
- Η διάταξη του εσωτερικού χώρου

Η ροή του αέρα προς το εσωτερικό του κτιρίου καθώς και η έξοδός του από αυτό συντελείται εφόσον η στατική πίεση εξωτερικώς του κτιρίου p_o διαφέρει από την στατική πίεση στο εσωτερικό p_i . Η διαφορά των πιέσεων $p_i - p_o$ προκαλείται κυρίως από δύο αίτια: α) λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας εξωτερικώς του κτιρίου T_o από την θερμοκρασία στο εσωτερικό του T_i , και β) λόγω του πνέοντος ανέμου που προκαλεί ανισοκατανομή της πίεσης στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου, όπως υψηλές πιέσεις στην προσήνεμη πλευρά και χαμηλές στην υπήνεμη πλευρά του.

2.3.1 Διαφορά πίεσης λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς

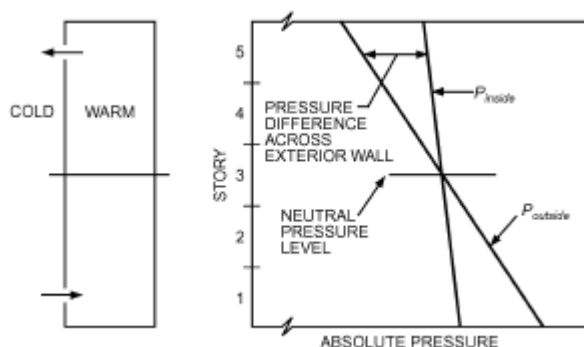
Αν ο αέρας ηρεμεί, η πίεση μειώνεται γραμμικά με το ύψος σύμφωνα με τη βασική εξίσωση υδροστατικής:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad (2.1)$$

Όπου z , η κατακόρυφη απόσταση από το οριζόντιο σημείο αναφοράς. Αν ληφθεί ως επίπεδο αναφοράς εκείνο το ύψος στο οποίο οι πιέσεις εντός και εκτός του κτιρίου είναι ίσες, έστω H_{NPL} (Neutral Pressure Level), τότε η διαφορά των πιέσεων σε ένα ύψος H δίνεται από τη σχέση:

$$p_i - p_o = (\rho_o - \rho_i)g(H - H_{NPL}) \quad (2.2)$$

υπενθυμίζεται ότι ο δείκτης i αναφέρεται στο εσωτερικό του κτιρίου (internal) και ο δείκτης o (outer) στο εξωτερικό του. Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η κατανομή των πιέσεων σε ένα πολυώροφο κτίριο.

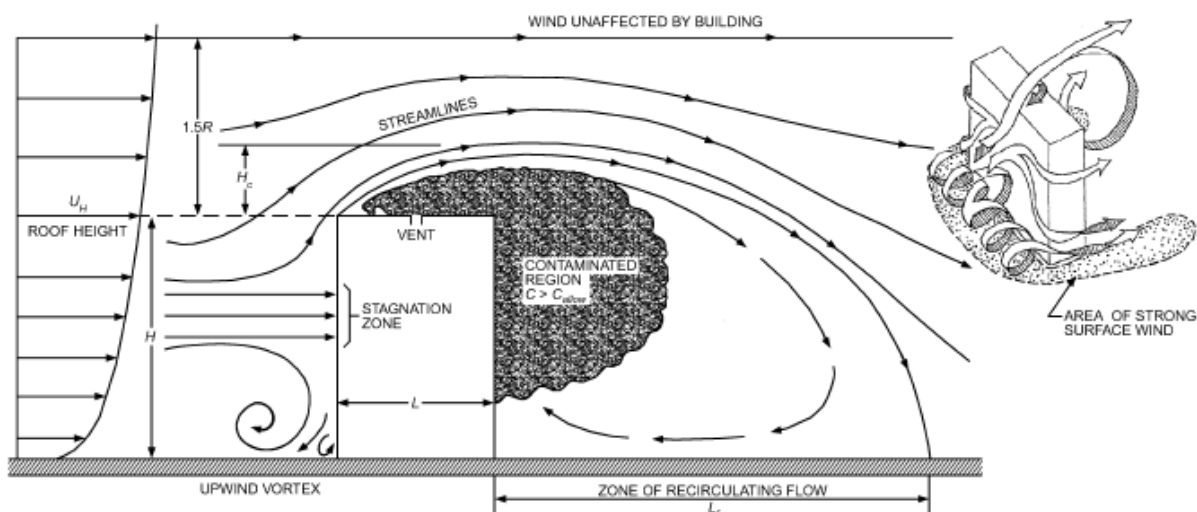


Σχήμα 2.1: Κατανομή στατικής πίεσης κατά το ύψος κτιρίου (εσωτερικό-εξωτερικό)(ΠΗΓΗ: ASHRAE,2009)

Όπως φαίνεται, στους χαμηλούς ορόφους θα έχουμε είσοδο του αέρα στο κτίριο, λόγω της μεγαλύτερης εξωτερικής πίεσης, ενώ αντιθέτως στους υψηλούς ορόφους ο αέρας θα εξέρχεται. Αυτό συμβαίνει κυρίως το χειμώνα που η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το αντίθετο θα συμβαίνει το καλοκαίρι.

2.3.2 Διαφορά πίεσης λόγω πνέοντος ανέμου

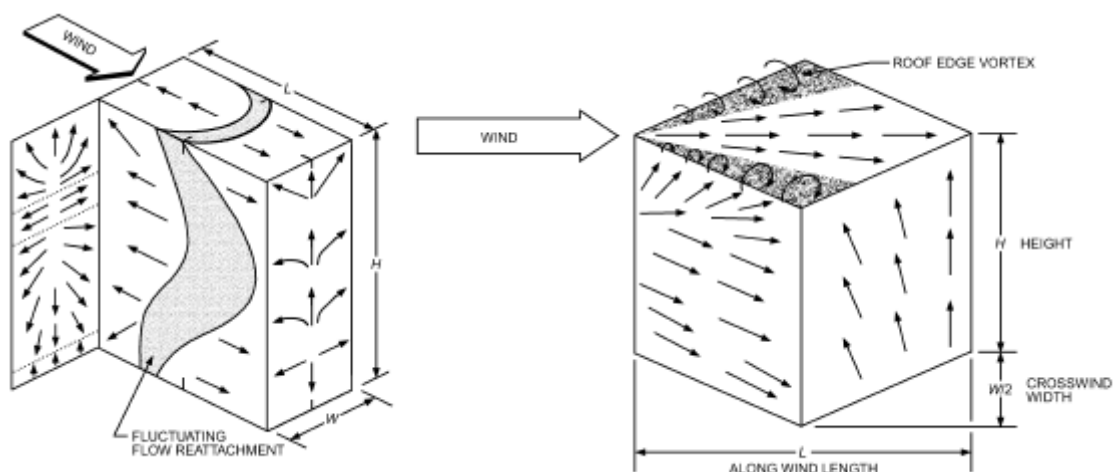
Η κατανομή της πίεσης στην εξωτερική πλευρά ενός κτιρίου λόγω πνέοντος ανέμου εξαρτάται από το σχήμα του κτιρίου, από τον προσανατολισμό τους ως προς τον άνεμο και τα χαρακτηριστικά του ανέμου. Στα δεύτερα συγκαταλέγονται η ταχύτητα, το επίπεδο τύρβης, και οι ανεμορριπές, τα οποία διαμορφώνονται κυρίως από το ανάγλυφο της περιοχής (δασώδης περιοχή, ορεινοί όγκοι), γειτνιάζοντα κτίρια, κτλ. Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου και οι χαρακτηριστικές γραμμές ροής γύρω από ένα κτίριο.



Σχήμα 2.2: Πεδίο ροής γύρω από κτίριο (ΠΗΓΗ: ASHRAE, 2009)

Όπως φαίνεται, το σημείο ανακοπής, δηλαδή το μέγιστο της πίεσης, εμφανίζεται στην προσήνεμη πλευρά του κτιρίου πάνω από το κέντρο βάρους της επιφάνειας αυτής. Αυτό συμβαίνει λόγω της ανισοκατανομής της ταχύτητας του προσπίπτοντος ανέμου. Η ροή στην προσήνεμη πλευρά είναι προσκολλημένη ενώ αποκολλάται στις προσκείμενες προς αυτήν

πλευρές, επηρεάζοντας την κατανομή της πίεσης (βλ. Σχήμα 2.3). Στην προσήνεμη πλευρά δημιουργείται υπερπίεση σε σχέση με το εσωτερικό του κτιρίου. Ο αέρας διαφεύγει από αυτήν την περιοχή υπερπίεσης αφενός μέσα από το κτίριο (ανοίγματα, αρμοί) αλλά κυρίως από τις προσκείμενες πλευρές.



Σχήμα 2.3: Πεδίο ροής γύρω από κτίριο για δύο διευθύνσεις ανέμου(ΠΗΓΗ: ASHRAE,2009)

2.3.3 Ροή μέσω ανοίγματος

Η παροχή αέρα Q μέσω ανοίγματος (π.χ παραθύρου, ρωγμής, κτλ) διατομής A, αποτελεί συνάρτηση της διαφοράς της στατικής πίεσης ($p_i - p_o$), της γεωμετρίας του ανοίγματος και του μήκους του (π.χ. πάχος τοίχου). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι υδραυλικές απώλειες, οι οποίες είναι ίσες με αυτή τη διαφορά πίεσης, στην περίπτωση που η ροή είναι από μέσα προς τα έξω, εξαρτώνται από τον συντελεστή τριβής λ , το μήκος του ανοίγματος L και την υδραυλική διάμετρο D_h , σύμφωνα με τη σχέση:

$$p_i - p_o = \lambda \frac{L}{D_h} \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (2.3)$$

Όταν η ροή είναι στρωτή, η παροχή είναι γραμμική συνάρτηση της διαφοράς πίεσης ενώ αν είναι τυρβώδης, μεταβάλλεται με $(p_i - p_o)^{\frac{1}{2}}$. Η γενική έκφραση που προκύπτει είναι συνεπώς:

$$Q = c(\Delta p)^n \quad (2.4)$$

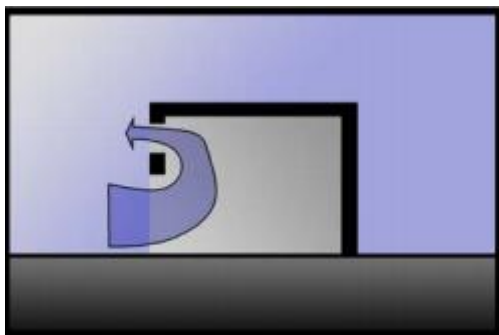
Όπου

$$\Delta p = p_i - p_o$$

Ο συντελεστής n παίρνει τιμές κοντά στη μονάδα, για μικρά ανοίγματα ή μεγάλα μήκη (στρωτή ροή), σε αντίθεση με μεγάλα ανοίγματα (δηλαδή μικρή αντίσταση) στα οποία τείνει στο 2 (τυρβώδης ροή).

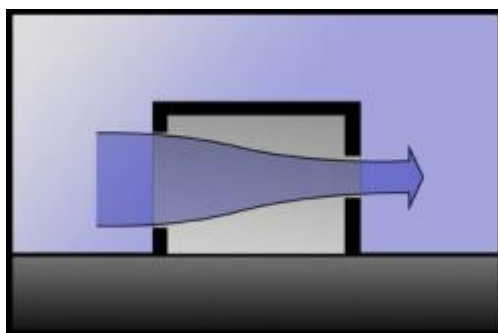
Οι βασικοί τύποι αερισμού σε σχέση με το είδος των ανοιγμάτων είναι οι εξής:

A) Ο μονόπλευρος αερισμός, ο οποίος επιτυγχάνεται με διαφορά της θερμοκρασίας. Σε αυτή την περίπτωση η ροή εξαρτάται από το μέγεθος και τη θέση των ανοιγμάτων, ενώ μας δίνει την μικρότερη απόδοση. Αποτελεί λύση σε μη διαμπερείς χώρους.



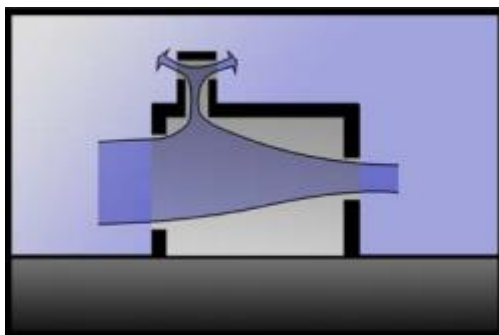
Σχήμα 2.4: Μονόπλευρος αερισμός

B) Ο οριζόντιος ή διαμπερής αερισμός, ο οποίος επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό ανοιγμάτων. Εδώ έχουμε εξάρτηση της ροής από τα ανοίγματα (θέση και μέγεθος) και τον άνεμο (διεύθυνση και ταχύτητα). Αποτελεί την πιο συνηθισμένη και αποτελεσματική μέθοδο.



Σχήμα 2.5: Οριζόντιος ή Διαμπερής αερισμός

Γ) Ο κατακόρυφος αερισμός (ελκυσμός), ο οποίος είναι αποτέλεσμα του φυσικού ελκυσμού (φαινόμενο καμινάδας). Στην περίπτωση αυτή η ροή εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας και τα ανοίγματα (ύψος και μέγεθος). Είναι έντονος, και κατά συνέπεια ωφέλιμος, κυρίως σε ψηλά κτίρια.



Σχήμα 2.6: Κατακόρυφος αερισμός

2.4. Δυνατότητα φυσικού αερισμού σε στεγανό κτίριο

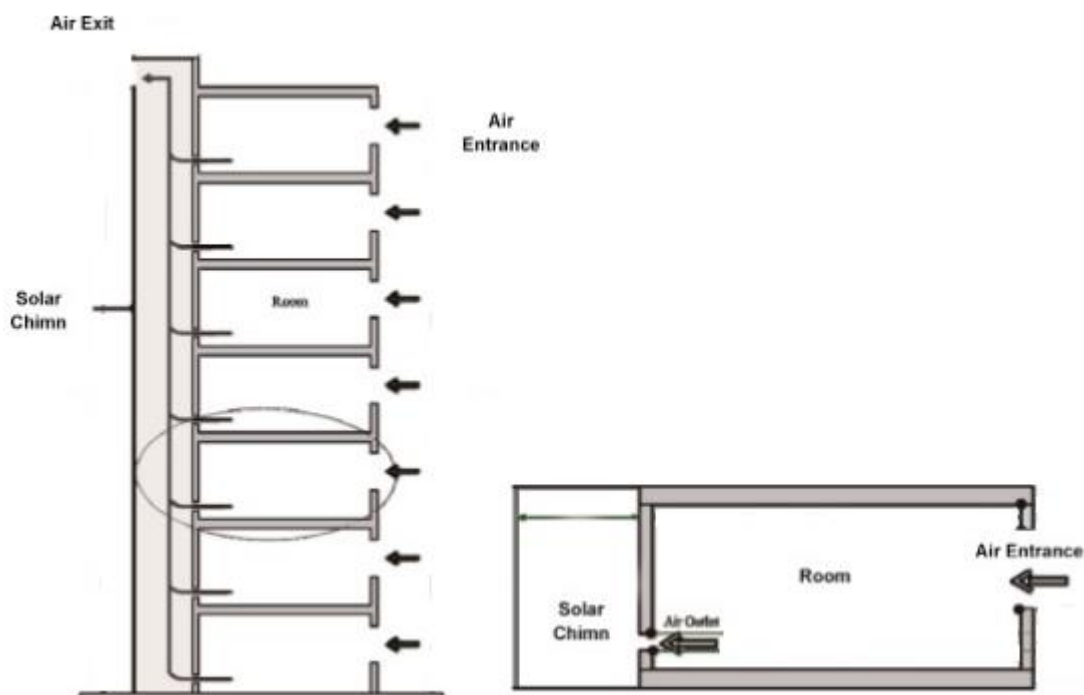
Προκειμένου να μειωθούν στο ελάχιστο οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου έχει αναπτυχθεί μία σειρά κανονισμών στον τρόπο κατασκευής του. Σήμερα τα κτίρια χτίζονται μονωμένα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενέργειας. Όπως είδαμε παραπάνω όμως, το στεγανό κτίριο συνεπάγεται με απώλεια φυσικού αερισμού. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα υπάρχουν διάφορες λύσεις που κυρίως αφορούν αλλαγές στο κέλυφος του κτιρίου. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες.

2.4.1 Ηλιακή καμινάδα

Πρόκειται για κατασκευή καμινάδας, η οποία φέρει στη νότια η νοτιοδυτική επιφάνειά της ($\pm 30^\circ \text{N}$) υαλοπίνακα αντί τοιχοποιίας (εν γένει έναν μικρό ηλιακό τοίχο) και περσίδες στο άνω τμήμα αυτής της πλευράς.

Η λειτουργία της βασίζεται στο φαινόμενο Venturi και συμβάλλει αποτελεσματικά στον αερισμό και στην απομάκρυνση της υγρασίας από τους εσωτερικούς χώρους, καθώς μέσω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα που προκύπτει μέσα στην καμινάδα, ενισχύεται σημαντικά το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού και συνεπώς της ανανέωσης του αέρα μέσα στους χώρους. Καθώς επιτυγχάνει διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα, η ηλιακή καμινάδα συνιστάται σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία κατά τη θερινή περίοδο.

Στο Σχήμα 2.7, παρουσιάζεται η λειτουργία της ηλιακής καμινάδας. Όπως φαίνεται ο αέρας εισέρχεται από τα πλάγια και βγαίνει από το κτίριο μέσω της ηλιακής καμινάδας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού αερισμού.

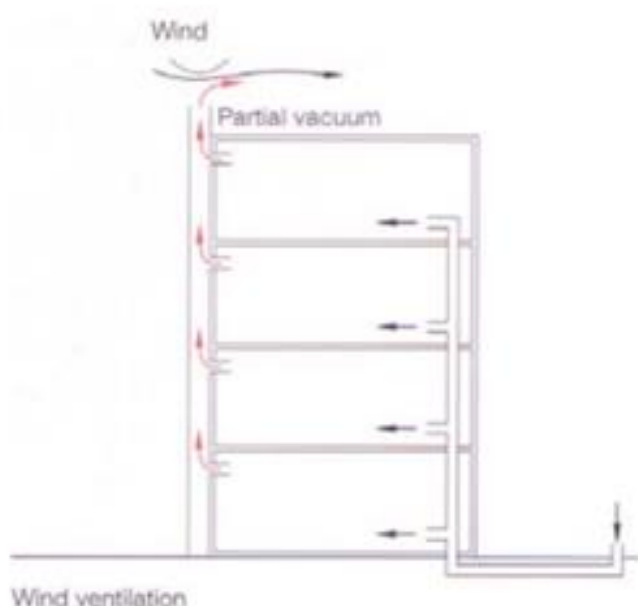


Σχήμα 2.7: Ηλιακή καμινάδα(ΠΗΓΗ: Asadi, et al., 2016)

2.4.2 Αιολικές καμινάδες αερισμού

Σκοπός της χρήσης του συγκεκριμένου συστήματος αερισμού είναι η συνεχής ανανέωση του εσωτερικού αέρα με σκοπό να διατηρείται η ποιότητα του σε υψηλά επίπεδα, παράλληλα με την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Τα συστήματα παθητικού αερισμού βασίζονται στην ύπαρξη ελάχιστης εισροής αέρα από τα ανοίγματα και στη συνέχεια οδηγούν το θερμό αέρα, εξαιτίας της μικρής πυκνότητάς του, στο εξωτερικό του κτιρίου από τις σωλήνες που λειτουργούν σαν καμινάδες. Το σύστημα είναι αυτοματοποιημένο, επομένως ακόμα και όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλή, παρέχεται επαρκής αερισμός, ενώ όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγάλη, περιορίζεται από μία βαλβίδα που βρίσκεται στην είσοδο του αγωγού καθώς και από την αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό της.

Η τοποθέτηση των σωλήνων του εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα γίνεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, με αποτέλεσμα την εκμετάλλευση της από τη μεταξύ τους μεταφορά τουλάχιστον κατά 70%. Αυτό συμβάλλει στη μείωση των αναγκών για θέρμανση και ψύξη καθώς και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ως και 30%. Υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης ηλεκτρικών ανεμιστήρων σε τέτοιου είδους συστήματα ώστε να ενισχυθεί η ροή αέρα, κάνοντάς τα να λειτουργούν ακόμα πιο αποτελεσματικά, παρόλα αυτά όμως καταναλώνουν το 50% της ενέργειας που έχει εξοικονομηθεί με το σύστημα του εναλλάκτη θερμότητας, επομένως η μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα δεν ξεπερνά σε αυτή την περίπτωση το 15% (Hegger, et al., 2008). Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται αυτή η διάταξη.



Σχήμα 2.8: Αιολική καμινάδα (ΠΗΓΗ: Hegger, et al., 2008)

Η απόδοση της αιολικής καμινάδας εξαρτάται από παράγοντες όπως η πίεση που διαμορφώνεται στο εσωτερικό της, η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, το ύψος της, τα περιβαλλοντικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής, βασισμένα σε ωριαίες μετρήσεις που αφορούν την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία.

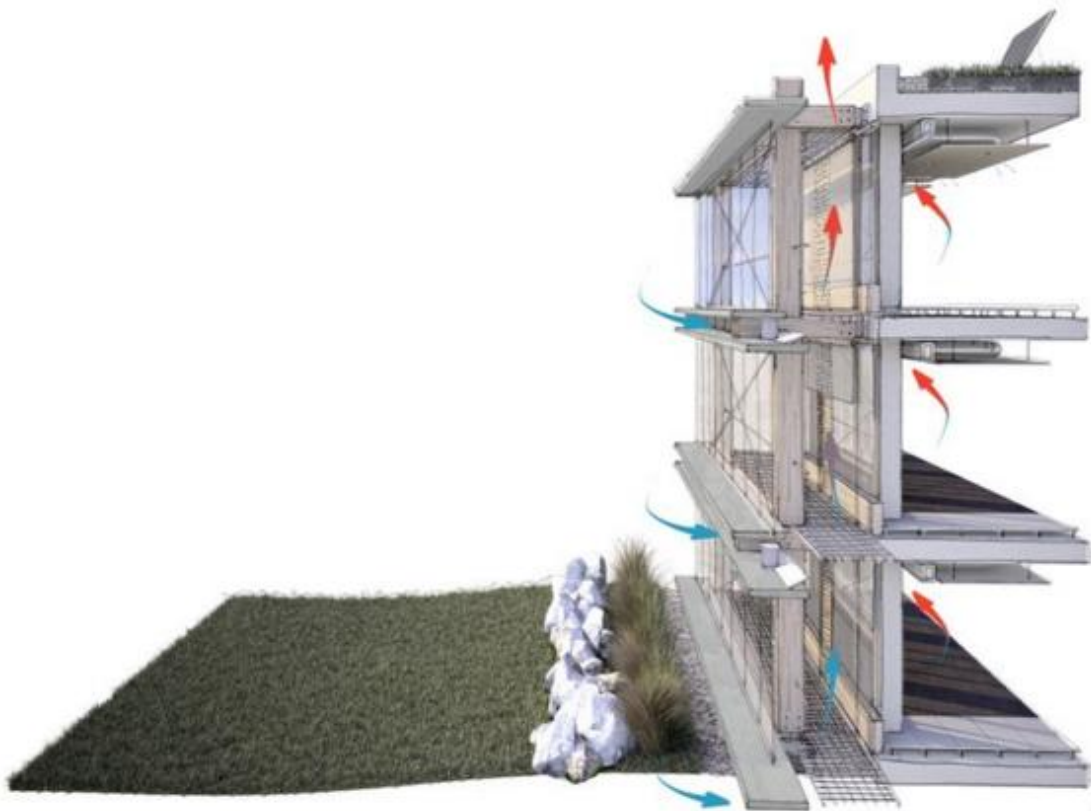
2.4.3 Δικέλυφα κτίρια

Κατά τη μέθοδο αυτή δημιουργείται ένας κενός χώρος κυκλοφορίας του αέρα μεταξύ των κατακόρυφων επιφανειών του κτιρίου, δηλαδή ένα δεύτερο γυάλινο κέλυφος (παραπέτασμα) περιβάλλει τις κατακόρυφες επιφάνειες του κτιρίου σε μικρή απόσταση. Κατά συνέπεια δημιουργείται ένα κενό που αποτελεί δίοδο για τον ανερχόμενο θερμό αέρα ο οποίος εξέρχεται από τα προβλεπόμενα ανοίγματα στο ψηλότερο σημείο της κατασκευής.

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους τα παραπετάσματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Παραπετάσματα κουτιού
- Παραπετάσματα οριζόντιου διαδρόμου
- Παραπετάσματα καθ' ύψος

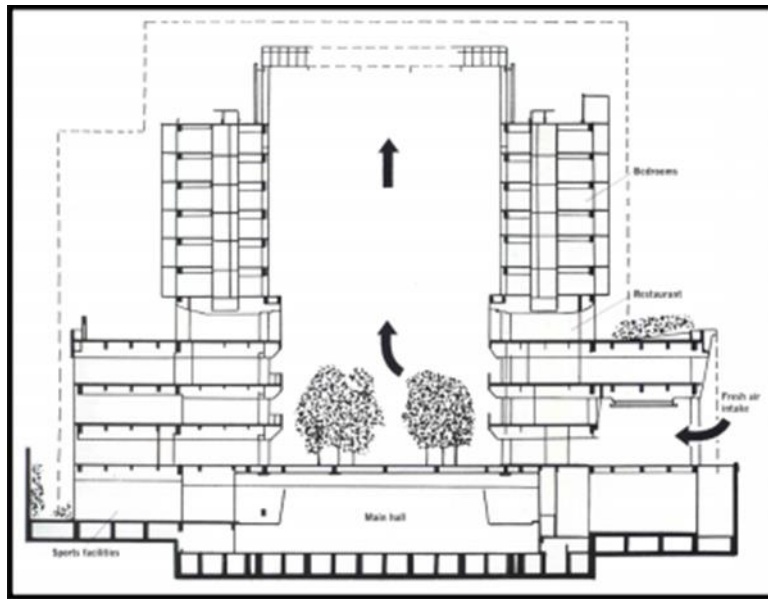
Στο Σχήμα 2.9 φαίνεται ένα δικέλυφο κτίριο με παραπέτασμα καθ' ύψος.



Σχήμα 2.9: Δικέλυφα κτίρια

2.4.4 Εσωτερικό αίθριο

Εδώ έχουμε απομάκρυνση του εσωτερικού θερμού αέρα με φυσικό ελκυσμό από τα ανοίγματα της οροφής, ενώ ταυτόχρονα είσοδο καθαρού αέρα από τα χαμηλότερα επίπεδα. Παράλληλα, η ύπαρξη εσωτερικού κήπου, ιδιαίτερα το διάστημα της ημέρας, βελτιώνει την ποιότητα του αέρα. Στο Σχήμα 2.10 και στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται το εσωτερικό αίθριο στην ακαδημία Yasuda στο Τόκιο.



Σχήμα 2.10: Εσωτερικό αίθριο, Ακαδημία Yasuda, Τόκιο



Εξωτερική άποψη



Εσωτερική άποψη

Εικόνα 2.1: Εσωτερικό αίθριο στην Ακαδημία Yasuda στο Τόκιο

2.5. Τεχνητός αερισμός

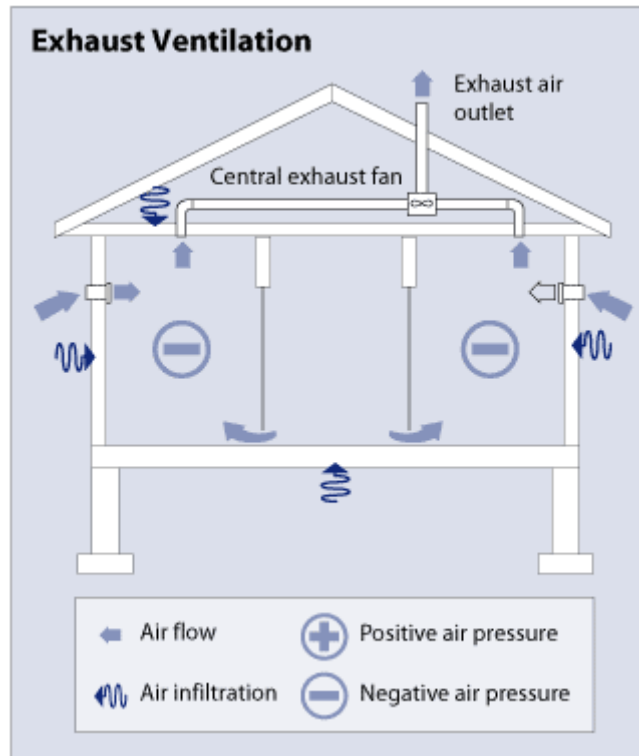
Ο τεχνητός (εξαναγκασμένος) αερισμός είναι απαραίτητος στις περιπτώσεις κατά τις οποίες ο φυσικός αερισμός είναι είτε δυσχερής είτε ανεπαρκής. Επιπλέον, συνιστάται για χρήσεις χώρων κατά τις οποίες απαιτείται ακριβής έλεγχος των εναλλαγών αέρα είτε για λόγους θερμικούς, είτε για λόγους ποιότητα αέρα (υγιεινής) και ιδιαίτερα στα κτίρια του τριτογενή τομέα.

Ο τεχνητός αερισμός μειώνει σημαντικά τα ψυκτικά φορτία των κτιρίων, ιδιαίτερα όταν γίνεται κατά τις νυκτερινές ώρες και σε κτίρια με ικανή θερμική μάζα, καθώς τα αποφορτίζει από τη θερμότητα που συσσωρεύτηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ «αποθηκεύει» δροσιά στα δομικά στοιχεία του κτιρίου, εμποδίζοντας την υπερθέρμανση την επόμενη μέρα. Αποτελεί, όπως και ο φυσικός αερισμός, εναλλακτική τεχνική δροσισμού, υποκαθιστώντας ή μειώνοντας τη χρήση των κλιματιστικών. Επιπροσθέτως, μπορεί να συμβάλει και στην εξοικονόμηση ενέργειας τη χειμερινή περίοδο, με τον έλεγχο των θερμικών απωλειών από αερισμό.

Τα σημερινά κτίρια είναι κατασκευασμένα με στεγανά περιβλήματα, όπως υπαγορεύτηκε από τον κανονισμό θερμομόνωσης, για αυτό το λόγο αναπτύχτηκαν μέθοδοι εξαναγκασμένου αερισμού. Υπάρχουν τρεις βασικοί μέθοδοι οι οποίοι εφαρμόζονται σε ολόκληρο το κτίριο. Αυτοί είναι η μέθοδος εξάντλησης, παροχής καθαρού αέρα και ισορροπίας, οι οποίοι περιγράφονται στη συνέχεια (*Energy Saver, Υπουργείο Ενέργειας U.S, www.energy.gov*)

2.5.1 Μέθοδος εξαερισμού

Η μέθοδος εξαερισμού λειτουργεί αποσυμπιέζοντας το κτίριο. Ο αέρας εξέρχεται από το κτίριο με τη βοήθεια ανεμιστήρα ενώ αέρας εισάγεται από τις ρωγμές και τα ανοίγματα που υπάρχουν στο κέλυφος του κτιρίου. Στο Σχήμα 2.11 φαίνεται η λειτουργία αυτής της μεθόδου.



Σχήμα 2.11: Σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού- Μέθοδος εξαγωγής του αέρα(ΠΗΓΗ: www.energy.gov)

Αυτή η μέθοδος είναι καταλληλότερη για περιοχές με κρύο κλίμα. Σε αντίθετη περίπτωση η αποσυμπίεση μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή υγρού αέρα από τα ανοίγματα. Αυτή η υγρασία συνήθως έχει άσχημες επιπτώσεις.

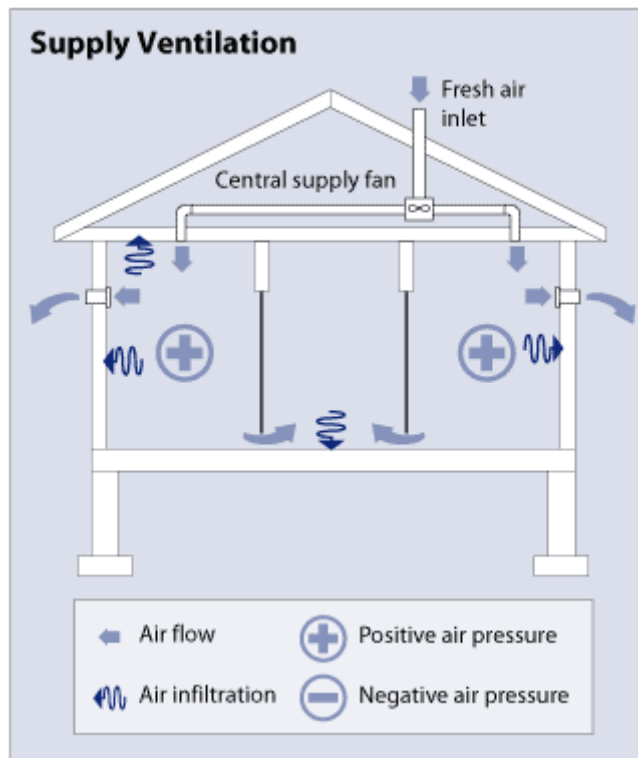
Τα συστήματα εξαερισμού είναι συνήθως σχετικά απλά και χαμηλού κόστους στην εγκατάστασή τους. Ένα τυπικό σύστημα εξαερισμού αποτελείται από έναν ανεμιστήρα που συνδέεται με ένα κεντρικό σημείο εξαγωγής του αέρα. Μία καλύτερη μέθοδος σχεδιασμού του συστήματος αποτελεί η χρήση σωληνώσεων στους διάφορους χώρους του κτιρίου που είτε έχουμε μεγαλύτερη συνάθροιση είτε παράγονται ουσίες μόλυνσης.

Για την διατήρηση καλής ποιότητας αέρα είναι σημαντικό να καθαρίζονται συχνά οι ρωγμές και τα ανοίγματα από τα οποία εισέρχεται ο αέρας, καθώς υπό άλλες συνθήκες υπάρχει πιθανότητα αύξησης της συγκέντρωσης επιβλαβών για την υγεία ουσιών. Επίσης, με αυτή τη μέθοδο είναι πιθανό να μην επιτευχθεί ο επιθυμητός αερισμός σε όλους του χώρους του κτιρίου.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, το σύστημα εξαερισμού είναι χρήσιμο να συνδυάζεται και με άλλες μεθόδους αερισμού.

2.5.2 Μέθοδος παροχής εξωτερικού καθαρού αέρα

Το σύστημα αερισμού με την μέθοδο της παροχής καθαρού αέρα χρησιμοποιεί έναν ανεμιστήρα ο οποίος αυξάνει την πίεση του κτιρίου εξαναγκάζοντας τον εξωτερικό αέρα να εισέλθει στο κτίριο, ενώ ο εσωτερικός αέρας διαφεύγει στο περιβάλλον μέσω των ρωγμών και των ανοιγμάτων του κελύφους. Στο Σχήμα 2.12 φαίνεται η λειτουργία αυτής της μεθόδου.



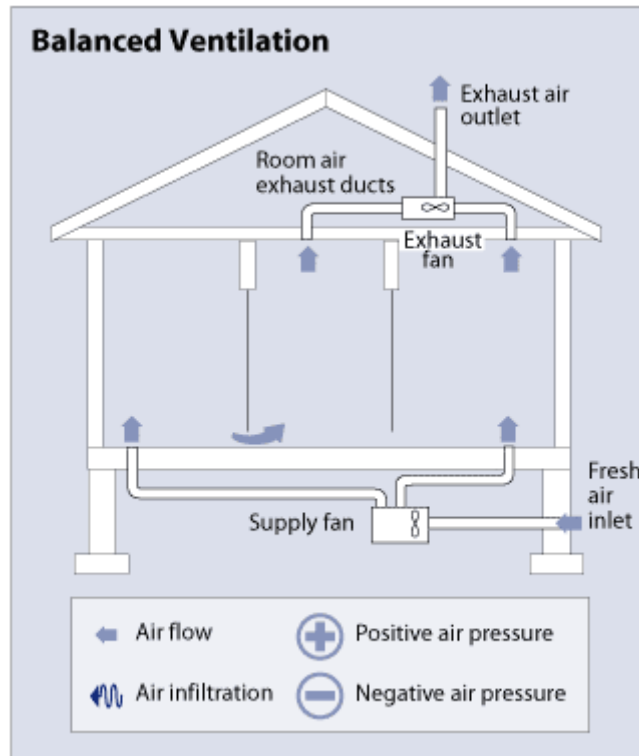
Σχήμα 2.12: Σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού- Μέθοδος παροχής εξωτερικού καθαρού αέρα(ΠΗΓΗ: www.energy.gov)

Όπως και στην περίπτωση του εξαερισμού, ο εξοπλισμός για αυτή τη μέθοδο είναι εξίσου εύκολος στην εγκατάσταση και οικονομικός. Συνήθως, αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί έναν ανεμιστήρα και έναν σωλήνα για την εισαγωγή του αέρα σε έναν (αλλά προτιμότερο σε περισσότερους) χώρο του κτιρίου. Είναι πιθανό να χρησιμοποιούνται ειδικά παράθυρα που να προσαρμόζονται και συγκεκριμένες οπές στους υπόλοιπους χώρους, που δεν συνδέονται.

Η μέθοδος εισαγωγής καθαρού αέρα επιτρέπει καλύτερο έλεγχο του εισαγόμενου αέρα από αυτήν του εξαερισμού. Με την αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό του κτιρίου επιτυγχάνεται μείωση της εισαγωγής μολυσμένου αέρα, καθώς εισέρχεται μέσω φίλτρου που τοποθετείται στο σωλήνα εισόδου. Επίσης, αντίθετα με την προηγούμενη μέθοδο είναι καταλληλότερη για περιοχές με υγρό και θερμό κλίμα, καθώς η χρήση τους μπορεί να προκαλέσει μείωση της υγρασίας στο χώρο του κτιρίου.

2.5.3 Μέθοδος ισορροπίας

Το σύστημα τεχνητού αερισμού με χρήση της μεθόδου ισορροπίας, αν έχει σχεδιαστεί και τοποθετηθεί κατάλληλα, δεν συμπιέζει ούτε αποσυμπιέζει το κτίριο. Αντίθετα, εισάγει ίση ποσότητα αέρα με αυτή που εξάγει. Ουσιαστικά είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων μεθόδων. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13: Σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού- Μέθοδος ισορροπίας αέρα (ΠΗΓΗ: www.energy.gov)

Το σύστημα ισορροπίας συνήθως έχει δύο ανεμιστήρες και δύο συστήματα σωληνώσεων. Σωλήνες εισαγωγής καθαρού αέρα και εξαερισμού μπορούν να τοποθετηθούν σε κάθε χώρο του κτιρίου. Συνήθως όμως συναντώνται στους χώρους που υπάρχει μεγαλύτερη συνάθροιση κόσμου.

Αυτά στα συστήματα είναι κατάλληλα για όλα τα κλίματα. Επειδή χρειάζεται εξοπλισμός τόσο για την εισαγωγή του αέρα, όσο και για την εξαγωγή, αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι πιο περίπλοκη και ακριβή στην εγκατάστασή της.

2.6. Αερισμός σε αθλητικούς χώρους

Γενικά, οι αθλητικές εγκαταστάσεις έχουν μεγάλους χώρους με σχετικά υψηλή οροφή και μεγάλο λόγο όγκου προς επιφάνεια δαπέδου, με αποτέλεσμα ο όγκος ανά χρήστη να είναι υψηλός, ενώ ο αριθμός αλλαγών του αέρα να μικρός.

Οι κλειστές αθλητικές εγκαταστάσεις μπορεί να έχουν κινητή ή σταθερή οροφή επιτρέποντας την λειτουργική τους ευεξία. Μία αθλητική εγκατάσταση ανοικτής οροφής δεν απαιτεί μηχανικό εξαερισμό αλλά θέτει περιορισμούς στην εγκατάσταση των αεραγωγών. Ωστόσο, όταν η οροφή είναι κλειστή ο μηχανικός εξαερισμός είναι απαραίτητος για μεγάλου μεγέθους αθλητικούς χώρους. Από τη στιγμή που τα στόμια εισόδου και εξόδου του συστήματος πρέπει να είναι σε σταθερά σημεία, οι συχνές ανανεώσεις του αέρα και οι μεγάλοι βεληνεκούς εκτοξεύσεις του, καθιστούν δύσκολη τη σωστή κατανομή του αέρα μέσα στο χώρο (ASHRAE, 1995). Έτσι το δίκτυο αεραγωγών και διανομής του αέρα πρέπει να επιτρέπουν εύκολη ρύθμιση και να παρέχουν ουσιαστική ευελιξία.

Ειδικότερα όσον αφορά τα κολυμβητήρια, ο κατάλληλος εξαερισμός και η παροχή φρέσκου αέρα είναι ο κύριος τρόπος απομάκρυνσης βλαβερών ουσιών από τον αέρα της πισίνας και για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα του κολυμβητηρίου, ο οποίος επηρεάζεται από τα παραπροϊόντα του χλωρίου που εξατμίζονται στον αέρα από το νερό της πισίνας, την θερμοκρασία και την υγρασία. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επιλογή των υλικών και στην προστασία των στοιχείων του συστήματος εξαερισμού που εγκαθίστανται σε κολυμβητήρια, καθώς ο αέρας που απομακρύνεται από τις πισίνες μπορεί να είναι διαβρωτικός. Ο αέρας θα πρέπει να εισάγεται προσεκτικά στον χώρο χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στους αθλητές ή στους θεατές. Η παροχή αέρα για την περιοχή στην πισίνα και ο αέρας που θα χρησιμοποιείται για τις θέσεις των θεατών θα πρέπει να είναι ανεξάρτητος. Η υπερβολική κυκλοφορία του αέρα και τα ρεύματα στον χώρο της πισίνας πρέπει να εξαλειφθούν, αφού οι αθλητές κυκλοφορούν με ελάχιστο ή καθόλου ρουχισμό και βρεγμένοι τον περισσότερο χρόνο, οπότε καθίστανται πολύ ευαίσθητοι στα φαινόμενα εξάτμισης ψύξης. Η ταχύτητα του αέρα σε 2 – 4 m πάνω από το επίπεδο κυκλοφορίας της πισίνας δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 0,13 m/s. Στους χώρους των θεατών, η ταχύτητα του αέρα μπορεί να αυξηθεί στα 0,2 – 0,25 m/s (Μπαλαράς, 1996) .

Η προτεινόμενη ολική ροή αέρα στα κολυμβητήρια, είναι περίπου 6 ανανεώσεις αέρα την ώρα (Μπαλαράς, 1996), εκτός από τις περιπτώσεις όπου ο χώρος κλιματίζεται. Ο όγκος του αέρα πάνω από την ελάχιστη υπολογισμένη τιμή επανακυκλοφορεί, με την προϋπόθεση ότι προηγείται αφύγρανση και φιλτράρισμα του αέρα.

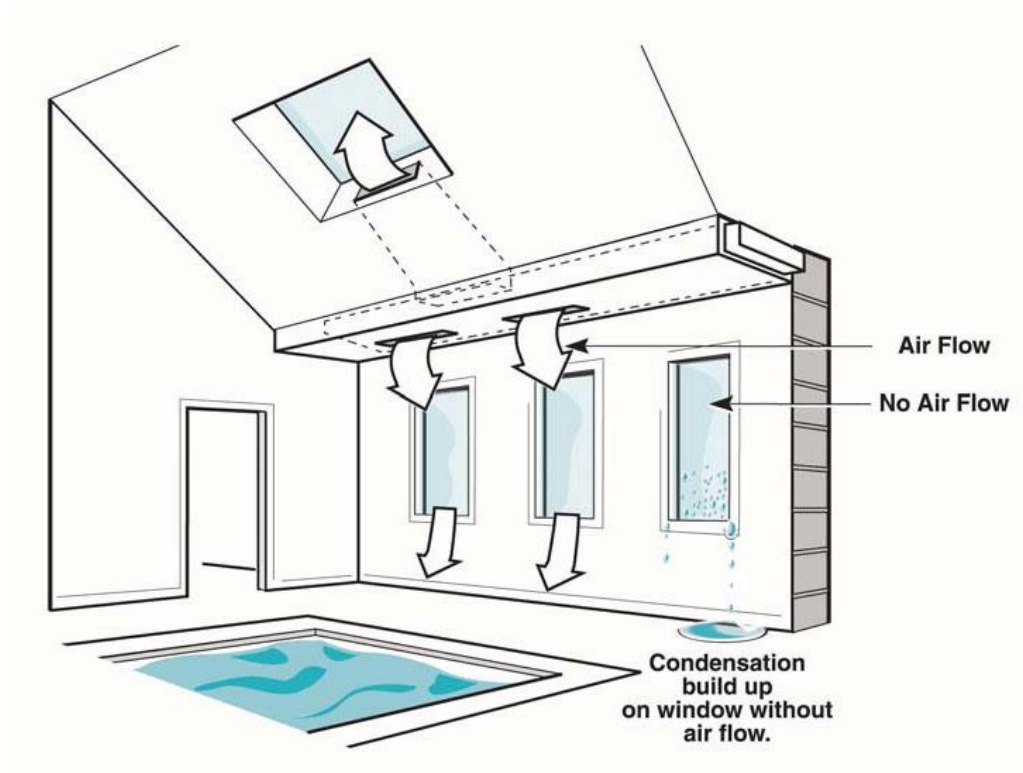
Η επανακυκλοφορία του αέρα μπορεί να είναι ωφέλιμη όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά μπορεί να έχει σαν αρνητικό αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση των ρύπων στο χώρο της πισίνας και την αύξηση του κινδύνου να προκληθούν φθορές στο δίκτυο και τα μηχανήματα. Έτσι, η δυνατότητα επανακυκλοφορίας του αέρα θα πρέπει να εξεταστεί όταν το κολυμβητήριο είναι σε μερική λειτουργία ή όταν η πισίνα δεν είναι σε χρήση, εάν εφαρμόζεται συνεχής εξαερισμός και εάν η πισίνα καλύπτεται με κάλυμμα. Η επανακυκλοφορία πρέπει να περιορίζεται σε ένα μέγιστο ποσοστό της τάξης του 70% του παρερχόμενου όγκου αέρα, επιτρέποντας ένα ελάχιστο ποσό εισαγωγής φρέσκου αέρα της τάξης του 30%, σε κάθε περίπτωση που η πισίνα είναι σε χρήση (Sports Council, 1994c)

Ο χώρος της πισίνας θα πρέπει να διατηρείται σε μία ελαφρώς αρνητική πίεση, για να εμποδιστεί η μεταφορά υγρασίας και οσμών χλωρίου σε άλλους χώρους του κτιρίου, ενώ ο αέρας της πισίνας δεν πρέπει να επιστρέφει ή να εξάγεται στο χώρο των θεατών. Ο αέρας της πισίνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα για τους χώρους των ντους και τις τουαλέτες, αν και ένα ανεξάρτητο σύστημα είναι προτιμότερο. Τα αποδυτήρια και οι χώροι γραφείων θα πρέπει να έχουν χωριστές παροχές και θετική πίεση σε σχέση με τον χώρο της πισίνας.

2.6.1 Φυσικός αερισμός σε αθλητικά κέντρα

Ο φυσικός αερισμός σε αθλητικά κέντρα είναι δυνατός, υπό την προϋπόθεση ότι οι εξωτερικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Προτείνεται λοιπόν χρήση ανεμιστήρων, οι οποίοι είναι ικανοί να μειώσουν το κόστος λειτουργίας και να διατηρήσουν αποδεκτές εσωτερικές συνθήκες. Ανοιγμένα παράθυρα και στις δύο πλευρές του κυρίως αθλητικού χώρου, μπορούν να εξασφαλίσουν καλό διαμπερή αερισμό. Σημαντική θα ήταν η τοποθέτηση πλευρικών παραθύρων στο υψηλότερο τμήμα του κελύφους. Το άνοιγμα αυτών των παραθύρων θα είχε ως αποτέλεσμα η ροή του αέρα να είναι σε κατάλληλο ύψος για να μην επηρεάζει τον χώρο της πισίνας. Πρέπει επίσης να προβλεφθεί ένας κατάλληλος μηχανισμός για το άνοιγμα και κλείσιμο

των παραθύρων ώστε να διευκολύνονται οι χρήστες στην προσαρμογή των ανοιγμάτων σύμφωνα με τις ανάγκες. Η τοποθέτηση και η διαστασιολόγηση των παραθύρων για φυσικό αερισμό πρέπει να είναι προσεκτικά υπολογισμένη, για να εξασφαλίζει την επίτευξη των κατάλληλων εναλλαγών αέρα, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες ανέμου της περιοχής.



Σχήμα 2.14: Σχέδιο κολυμβητηρίου με κινητή οροφή (ΠΗΓΗ: Seresco, 2013)

2.6.2 Τεχνητός Αερισμός σε αθλητικά κέντρα

Ο φυσικός αερισμός όμως δεν είναι επαρκής, για αυτό κρίνεται σημαντική η τοποθέτηση συστήματος εξαναγκασμένου αερισμού ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης επανακυκλοφορίας και ελέγχου της ποσότητας του προσαγόμενου εξωτερικού αέρα. Η διανομή του αέρα με περιμετρικά στόμια τοίχου είναι γενικά πιο οικονομική από την εναέρια διανομή με στόμια οροφής, αλλά μπορεί να προκαλέσει ρεύματα. Τα στόμια προσαγωγής αέρα πάνω από την πισίνα μπορεί να αυξήσουν την κίνηση του αέρα πάνω από την επιφάνεια του νερού και να αυξήσουν την εξάτμιση.

Το σύστημα εξαερισμού θα πρέπει να περιλαμβάνει φίλτρο απόδοσης τουλάχιστον 45-60 % για να εξασφαλίζονται συνθήκες άνεσης και υγιεινής. Το σύστημα των ανεμιστήρων θα πρέπει να περιλαμβάνει ανεμιστήρες επιστροφής – εξαγωγής και όργανα ελέγχου για τον εξωτερικό, τον εξαγόμενο και τον επιστρεφόμενο αέρα τα οποία θα επιτρέπουν την προσαγωγή έως 100% εξωτερικού αέρα κατά την διάρκεια ήπιων καιρικών συνθηκών για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Ο ανεμιστήρας εξαγωγής – επιστροφής επιτρέπει την εισαγωγή εξωτερικού αέρα. Η αναθέρμανση του αέρα ίσως είναι αναγκαία για να επιτευχθεί ο έλεγχος επιπέδων σχετικής υγρασίας.

Σε μεσαίου και μεγάλου μεγέθους αθλητικά κέντρα, είναι απαραίτητη η χρήση ενός συνδυασμού από διαφορετικά σημεία εισόδου και εξόδου με στόχο την επίτευξη της βέλτιστης κυκλοφορίας αέρα. Ο αέρας συνήθως παρέχεται από τα υψηλότερα επίπεδα μιας αθλητικής εγκατάστασης. Κατάλληλα τοποθετημένα ανοίγματα για την απαγωγή του αέρα μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη κυκλοφορία του αέρα. Μικρά στόμια αερισμού τοποθετημένα κάτω από τα καθίσματα, με ταχύτητες αέρα μικρότερες των 1,4 m/s, μπορούν να καταναείμουν αποτελεσματικά τον αέρα με ελάχιστα ρεύματα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οριζόντια ή υπό κλίση ροή αέρα, σε τετραγωνικό ή κυκλικό σχήμα, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Η πρόσοψη του στομίου αερισμού έχει τέσσερις τομείς απ' όπου εξέρχεται ο αέρας με σταθερά πτερύγια τοποθετημένα υπό κλίση 90° μεταξύ τους, έτσι ώστε να προκαλέσουν μία στροβιλώδη ροή.

Σε μεγάλες αθλητικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται για την παροχή αέρα περιμετρικά ακροφύσια τύπου εκτόξευσης με μεγάλο βεληνεκές της τάξης των 15 – 45 m. Αυτού του είδους τα στόμια μπορούν να κινούνται είτε με χειροκίνητο τρόπο είτε μηχανικά με τη βοήθεια ενός πνευματικού ή ηλεκτρικού συστήματος ελέγχου, και να περιστρέφονται κατά ($\pm 30^\circ$), για καλύτερη ανάμιξη του αέρα. Η κατανομή της παροχής του αέρα στο ύψος της οροφής είναι συνήθως αποδεκτή εάν τα στόμια είναι τοποθετημένα σε μια απόσταση μεγαλύτερη από 9 m μεταξύ τους. Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου στομίου και η απόδοση του καθορίζουν την ακριβή θέση για την τοποθέτηση του. Η προς τα κάτω εκτόξευση δεν είναι απαραίτητη με την προϋπόθεση ότι οι επιστροφές βρίσκονται χαμηλά έτσι ώστε να προκαλείται η κατάλληλη κυκλοφορία του αέρα.

Τα σημεία εξόδου του αέρα που βρίσκονται στους περιμετρικούς τοίχους μπορεί να δημιουργήσουν πηγές θορύβου, αφού είναι πολύ πιθανό ο αέρας να έχει μεγάλη ταχύτητα για να φθάσει το βεληνεκές του μέχρι το κέντρο της κλιματιζόμενης περιοχής. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν τα στόμια προσαγωγής αέρα είναι τοποθετημένα στην οροφή και το σύστημα απαγωγής βοηθάει στην κατάλληλη ανακατεύθυνση και κυκλοφορία του αέρα στο χώρο. Με αυτόν τον τρόπο, ο παρερχόμενος αέρας καλύπτει την περιοχή των θεατών και κινείται ομοιόμορφα προς τα κάτω με κατεύθυνση προς τα σημεία απαγωγής του αέρα τα οποία βρίσκονται κάτω ή δίπλα από την περιοχή των θεατών. Κάποια ποσότητα του αέρα θα πρέπει να απομακρύνεται από την οροφή πάνω από την περιοχή των θεατών για να προκαλεί καλύτερη ανάμιξη και να εμποδίζει τη δημιουργία ζωνών συγκέντρωσης θερμού αέρα. Διαφορετικά, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν φαινόμενα μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία, και να προκληθεί θερμική δυσανεμία. Η παγίδευση του ζεστού αέρα κοντά στην οροφή επιτυγχάνεται με την κατάλληλη κυκλοφορία του κλιματιζόμενου αέρα πάνω από την περιοχή των κερκίδων και στο επίπεδο της πισίνας, απομονώνοντας έτσι τον ζεστό αέρα στις υψηλές ζώνες του κολυμβητηρίου. Παράλληλα ο ζεστός αέρας μπορεί να απαχθεί από την οροφή μέσω φυσικού εξαερισμού και ανεμιστήρων.

Τα κυκλικά στροβιλώδη στόμια με προσανατολιζόμενα πτερύγια είναι κατάλληλα για τοποθέτηση στο ύψος της οροφής. Χρησιμοποιούνται στις περιοχές των θεατών οι οποίες παρουσιάζουν ένα επιπλέον πρόβλημα λόγω της μεταβαλλόμενης απόστασης από την οροφή και τα διαφορετικά θερμικά φορτία. Η γωνία εκροής μπορεί να μεταβάλλεται αλλάζοντας την θέση των πτερυγίων χειροκίνητα ή με ηλεκτρικούς μηχανισμούς, για τη ρύθμιση της ροής του αέρα κατά τη διάρκεια των διαφορετικών τρόπων λειτουργίας του συστήματος. Για παροχή ψυχρού αέρα τα πτερύγια είναι ρυθμισμένα για οριζόντια εκροή αέρα, ενώ για παροχή ζεστού αέρα χρησιμοποιείται κατακόρυφη εκροή και υπό γωνία 45° για ισόθερμη παροχή.

Κεφάλαιο 3. Το κτίριο προς μελέτη

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η περιγραφή του κτιρίου που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, δηλαδή του Δημοτικού Κολυμβητηρίου της Κοζάνης.

Η τοποθεσία του βρίσκεται στα όρια του αστικού ιστού, καθώς συνορεύει με τα δύο Ανοιχτά Στάδια της Πόλης, και το δάσος στο πέρας αυτής. Σε πολεοδομικό επίπεδο, μπορεί να θεωρηθεί ως ενιαία μονάδα με το Κλειστό Αθλητικό Γυμναστήριο, με το οποίο δεν βρίσκεται σε επαφή, αλλά σε κοντινή απόσταση, ενώ και η δόμηση τους μπορεί να χαρακτηριστεί ως παράλληλη, αποτελώντας κατασκευές αντίστοιχου όγκου.

Το Κολυμβητήριο είναι Κλειστό, και έχει δομηθεί στη βάση του προϋπάρχοντος Ανοιχτού Κολυμβητηρίου. Η αρχική κατασκευή αποτελείται κατά βάση από τσιμέντο (έτος κατασκευής 1978), ενώ η μετατροπή σε Κλειστό τύπου έγινε μεταγενέστερα με τη χρήση μεταλλικών πάνελ.

3.1. Το κέλυφος

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η χρήση και φυσικά έκταση των μεταλλικών πάνελ χαρακτηρίζει το κέλυφος. Την κατασκευή συμπληρώνουν κουφώματα αλουμινίου παλαιού τύπου. Ως μια γενική αποτίμηση, το κέλυφος μπορεί να χαρακτηριστεί ως πεπαλαιωμένο, παρουσιάζοντας ελλιπή θερμομονωτική συμπεριφορά, τόσο λόγω της κακής κατάστασης της μόνωσης (αφρός πολουρεθάνης) και της επιφάνειας των πάνελ αλλά και των απωλειών λόγω της προβληματικής συναρμογής των υαλοπινάκων στα κουφώματα. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται το εξωτερικό κέλυφος του κολυμβητηρίου με τα ανοίγματα που διαθέτει.



Εικόνα 3.1: Ν.Α πλευρά του κολυμβητηρίου



Εικόνα 3.2: Βόρεια πλευρά κολυμβητηρίου



Βορειοανατολική Πλευρά



Βορειοδυτική Πλευρά

Εικόνα 3.3: Ανατολική και Δυτική πλευρά κολυμβητηρίου

Το Κολυμβητήριο αποτελείται από ένα όροφο, και η έκταση του είναι 1695.36 m^2 , με επιφάνεια δώματος ή στέγης 1511.95 m^2 . Την κατασκευή συμπληρώνει και μικρής, αναλογικά με τη συνολική, έκτασης υπόγειο, το οποίο καταλαμβάνει επιφάνεια 75.2 m^2 , και χρησιμοποιείται ως λεβητοστάσιο.

3.2. Χαρακτηριστικά επιμέρους χώρων – Στοιχεία χρήσης

Οι χώροι του Κολυμβητηρίου υποστηρίζουν τη λειτουργία της πισίνας. Πιο συγκεκριμένα, στον κεντρικό χώρο υπάρχουν οι δύο πισίνες και οι κερκίδες. Στην βορειοδυτική πλευρά βρίσκεται ο χώρος των αποδυτηρίων που χωρίζεται σε ανδρών και γυναικών, ενώ στα ανατολικά το γραφείο της γραμματειακής υποστήριξης. Επίσης, υπάρχουν αποθηκευτικοί χώροι και το μηχανοστάσιο. Όλα τα παραπάνω, αποτελούν τμήμα της αρχικής κατασκευής, εξαιρουμένου του πρόσθετου μηχανοστασίου, που επισυνάπτεται στο κέλυφος για τη φιλοξενία της εγκατάστασης τηλεθέρμανσης.

Το κολυμβητήριο λειτουργεί όλο το χρόνο, εξαιρουμένης της περιόδου από 1/8 – 15/9 για λόγους συντήρησης. Το ωράριο λειτουργίας είναι 09:00 – 22.30. Ο αριθμός των κολυμβητών δεν ξεπερνούν τους 400 την ημέρα, ενώ των επισκεπτών αντίστοιχα τους 100.

3.3. Ενεργειακά Συστήματα

Το Κολυμβητήριο παρουσιάζει ανάγκες σε θέρμανση σε ετήσια βάση, λόγω των απαιτήσεων της πισίνας αλλά και του νερού χρήσης των αθλητών. Φυσικά τους χειμερινούς μήνες είναι αναγκαία η θέρμανση και του εσωτερικού χώρου. Τα φορτία ψύξης, αν και σημαντικά κατά τη θερινή περίοδο, δεν εξυπηρετούνται, εξαιρώντας το χώρο της γραμματειακής υποστήριξης.

Για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση χρησιμοποιείται τηλεθέρμανση, η οποία όμως δεν είναι διαθέσιμη όλο το έτος, αλλά καλύπτει την περίοδο 15/10 – 15/5. Στο υπόλοιπο διάστημα χρησιμοποιείται συμβατικός καυστήρας πετρελαίου. Η θέρμανση των χώρων γίνεται με τη χρήση θερμαντικών σωμάτων, πεπαλαιωμένου τύπου, ενώ υπάρχει η δυνατότητα θέρμανσης με αέρα μέσω συστήματος τοπικών, κρεμαστών, ανεμιστήρων συνδεδεμένων με δίκτυο νερού, η οποία εν τούτοις δεν αξιοποιείται.

Στο Κολυμβητήριο δεν υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα ΑΠΕ ή εξοικονόμησης ενέργειας.

Στον Πίνακα 3.1, παρατίθενται τα στοιχεία των ενεργειακών συμβατών συστημάτων.

Πίνακας 3.1: Συμβατικά ενεργειακά συστήματα κάλυψης θερμικών και ψυκτικών αναγκών

Σύστημα	Αριθμός μονάδων (-)	Ισχύς (KW)
Λέβητας (πετρελαίου)	1	581.5
Θερμικός υποσταθμός T/Θ	3	697.8 (=3x232.6)
Ψυκτικές μονάδες split units	1	3.52

Τα ηλεκτρικά φορτία συνίστανται σε φορτία φωτισμού και ηλεκτρικών συσκευών. Χρησιμοποιούνται λαμπτήρες φθορισμού κυρίως, καθώς και κάποιοι λαμπτήρες φθορίου, καθώς και προβολείς αλογόνου. Οι ηλεκτρικές συσκευές συνίστανται σε συσκευές γραμματειακής υποστήριξης (π.χ. PC, πολυμηχάνημα, κλπ.), συσκευές τύπου αερόθερμου στα

αποδυτήρια, και σημαντικής ισχύος κυκλοφορητές / αντλίες στο λεβητοστάσιο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών αλλά και την κυκλοφορία – ανακύκλωση του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής.

Στον Πίνακα 3.2, παρατίθενται τα στοιχεία των ηλεκτρικών συσκευών & συστημάτων ηλεκτρικών καταναλώσεων.

Πίνακας 3.2: Ηλεκτρικά φορτία

Σύστημα	Αριθμός μονάδων (-)	Ισχύς (KW)
Λαμπτήρας Φθορισμού	54	$54 \times 0.038 = 2.052$
Λαμπτήρας Φθορίου	5	$5 \times 0.022 = 0.11$
Προβολείς Αλογόνου Μετάλλου HQI	20	$20 \times 0.4 = 8$
Αερόθερμο (αποδυτήρια)	5	$5 \times 1.75 = 8.75$
TV (γραφείο)	1	0.074
PC (γραφείο)	1	0.4
Πολυμηχάνημα (γραφείο)	1	0.65
Scanner (γραφείο)	1	0.03
Κυκλοφορητές	3	$3 \times 0.13 = 0.39$
Κυκλοφορητές	1	$1 \times 0.59 = 0.59$
Κυκλοφορητές	2	$2 \times 0.195 = 0.39$
Κυκλοφορητές	1	$1 \times 1.3 = 1.3$
Αντλίες ανακύκλωσης νερού	2	$2 \times 11.19 = 22.38$
Αντλίες ανακύκλωσης νερού	2	$2 \times 1.49 = 2.98$
Αντλία θερμότητας	1	3.52 θερμικά / ~1.5 kW ηλεκτρικά
Σύνολο		48.096 + 1.5 kW

3.4. Ενεργειακή Συμπεριφορά

Η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη αποδοτική ή και ενδεχομένως προβληματική, λόγω της αδυναμίας του κελύφους να λειτουργήσει θερμομονωτικά αλλά και να αξιοποιήσει το φυσικό φωτισμό, της μη πρόνοιας εφαρμογής πρακτικών και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας, εξαιρουμένων των λαμπτήρων, αλλά και της μη αξιοποίησης ΑΠΕ. Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν και οι καταναλώσεις ενέργειας που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3, ενώ στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ενεργειακά κόστη.

Πίνακας 3.3: Ενεργειακές καταναλώσεις

Έτος	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ενεργειακή πηγή							
Ηλεκτρισμός (kWh)	87880	99760	100320	-	-	-	-
Πετρέλαιο (l)	7000	7000	7000	-	-	-	-
T/θ (MWh)	645.61	594.12	620.78	748.00	567.30	660.97	628.19

Πίνακας 3.4: Ενεργειακά κόστη (€)

Έτος	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ενεργειακή πηγή							
Ηλεκτρισμός	9786.20	11541.56	11605.90	-	-	-	-
Πετρέλαιο	4550.00	3850.00	5390.00	-	-	-	-
T/θ	28416.21	27175.69	27003.93	32538.00	24677.55	28752.04	27326.27

3.5. Πρόγραμμα λειτουργίας Κολυμβητηρίου

Οι μετρήσεις στο κολυμβητήριο πραγματοποιήθηκαν τους μήνες Ιουνίου και Ιουλίου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το πρόγραμμα του κολυμβητηρίου ήταν σταθερό. Πιο συγκεκριμένα, το κολυμβητήριο χρησιμοποιείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Κολυμβητικοί Σύλλογοι
- Arca
- Θεραπευτικό
- Πόλο
- Αμέα - Κολυμβητική Ένωση

Παράλληλα, κάποιες ώρες την ημέρα το κολυμβητήριο είναι ανοιχτό στους ιδιώτες, ενώ η είσοδος στους συνοδούς είναι ελεύθερη.

Το πρόγραμμα είναι σταθερό για κάθε εβδομάδα. Οι κολυμβητικοί σύλλογοι είναι κάθε μέρα 16:00-20:30, γύρω στα 500 άτομα που όμως δεν ξεπερνούν τους 60 ανά ώρα. Οι συνοδοί για αυτό το διάστημα είναι 300 άτομα στην κερκίδα που όμως δεν ξεπερνάν τα 75 την ώρα. Οι ιδιώτες είναι περίπου 40 με 50 άτομα την ημέρα ενώ οι ώρες που μπορούν να χρησιμοποιούν το γυμναστήριο είναι Δευτέρα με Παρασκευή 12:00-15:00, κάθε Δευτέρα και Τετάρτη 20:30-

22:30, ενώ τα Σάββατα από τις 16:00-20:30. Το τμήμα Arca είναι περίπου στα 12 με 15 άτομα την ώρα, ενώ χωρίζονται σε τρία τμήματα όπου το τμήμα 1 είναι τις ημέρες Τρίτη, Τετάρτη και Πέμπτη και ώρες 9:00-10:00, το τμήμα 2 Δευτέρα, Τετάρτη και Παρασκευή και ώρες 10:00-11:00. Τέλος το τμήμα 3 βρίσκεται στο κολυμβητήριο τις ημέρες Τρίτη, Πέμπτη και Παρασκευή και ώρες 9:00-10:00. Το θεραπευτικό τμήμα πραγματοποιείται κάθε ημέρα τις ώρες 11:00- 12:00 και έχει περίπου 3 με 4 άτομα την ώρα. Η ομάδα του πόλο προπονείται τις ημέρες Τρίτη, Πέμπτη και Παρασκευή τις ώρες 20:30-22:30, ενώ το Σάββατο 14:00-16:00. Τα άτομα που συμμετέχουν δεν ξεπερνούν τα 30. Τέλος, το Σάββατο και κατά τις ώρες 9:00-14:00 στο κολυμβητήριο υπάρχει το τμήμα των ΑΜΕΑ, καθώς επίσης και η Κολυμβητική Ένωση. Τα άτομα δεν ξεπερνούν τα 50 στο σύνολο των ωρών.

Στον Πίνακα 3.5.α φαίνεται πως κατανέμονται οι χρήστες του κολυμβητηρίου ανά ώρα λειτουργίας, ενώ στον Πίνακα 3.5.β το κοινό (συνοδοί) για τις ίδιες ώρες και μέρες.

Πίνακας 3.5.α: Κατανομή χρηστών του κολυμβητηρίου ανά ημέρα και ώρα

	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο
9:00 - 10:00		15	15	15		10
10:00-11:00	15		15		15	10
11:00 - 12:00	4	4	4	4	4	10
12:00 - 13:00	15	15	15	15	15	10
13:00 - 14:00	15	15	15	15	15	10
14:00-15:00	15	15	15	15	15	30
15:00-16:00	15	15	15	15	15	30
16:00-17:00	60	60	60	60	60	20
17:00-18:00	60	60	60	60	60	20
18:00-19:00	60	60	60	60	60	20
19:00-20:30	60	60	60	60	60	20
20:30-21:00	25	30 + 15	25	30 + 15	30 + 15	0
21:00-22:30	25	30 + 15	25	30 + 15	30 + 15	0

Στον Πίνακα 3.5.α με κίτρινο χρώμα είναι τα τμήματα των Arca, με γαλάζιο το Θεραπευτικό, με πορτοκαλί οι ιδιώτες, με πράσινο οι Κολυμβητικοί Σύλλογοι, με κόκκινο η ομάδα του Πόλο και τέλος, με μαύρο τα τμήματα ΑΜΕΑ και Κολυμβητικής Ένωσης.

Πίνακας 3.5.β: Κατανομή του κοινού (συνοδών) του κολυμβητηρίου ανά ημέρα και ώρα

	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο
9:00- 10:00	0	0	0	0	0	0
10:00-11:00	0	0	0	0	0	0
11:00-12:00	0	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	10	10	10	10	10	0
13:00 - 14:00	10	10	10	10	10	0
14:00-15:00	10	10	10	10	10	0
15:00-16:00	10	10	10	10	10	0
16:00-17:00	75	75	75	75	75	10
17:00-18:00	75	75	75	75	75	10
18:00-19:00	75	75	75	75	75	10
19:00-20:30	75	75	75	75	75	10
20:30-21:00	5	0	5	0	0	0
21:00-22:30	5	0	5	0	0	0

Κεφάλαιο 4. Πειραματικός προσδιορισμός επιπέδου αερισμού

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού του αερισμού με χρήση του διοξειδίου του άνθρακα, ενώ εκτενέστερα αναλύονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία βαθμονόμησης των οργάνων και πραγματοποίησης των μετρήσεων.

4.1. Εισαγωγή

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τον υπολογισμό του αερισμού ενός κτιρίου και τον προσδιορισμό της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η μέτρηση και η ανάλυση της εσωτερικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να φανεί χρήσιμη στην κατανόηση της ποιότητας του αέρα αλλά και της επάρκειας του αερισμού. Από την άλλη, ο προσδιορισμός της ποσότητας του νωπού αέρα μέσω των μετρήσεων CO₂ απαιτεί μια σειρά πληροφοριών σχετικά με τις μετρήσεις και τον τρόπο διεξαγωγής τους, η απουσία των οποίων μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη αβεβαιότητα για το τελικό αποτέλεσμα και λανθασμένα συμπεράσματα. Ειδικότερα, εκτός από τις μεθόδους υπολογισμού του αερισμού με βάση τη συγκέντρωση CO₂, οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν την σχεδίαση του κτιρίου και του συστήματος αερισμού, την συμπεριφορά των χρηστών, άλλες πηγές του διοξειδίου του άνθρακα εκτός από τους ανθρώπους, τον χρόνο αλλά και τον τόπο συλλογής των μετρήσεων και τα μετρητικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν.

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα δεν αποτελεί καθολική ένδειξη της ποιότητας του αέρα, παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταδειχθεί πόσο είναι βιώσιμος ένας χώρος. Ταυτόχρονα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να εκτιμηθεί ο βαθμός αερισμού του κτιρίου και η επί τοις εκατό είσοδος του εξωτερικού αέρα στα συστήματα εξαναγκασμένου αερισμού.

Η χρησιμότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην κατανόηση της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου βασίζεται σε δύο παράγοντες. Ο πρώτος είναι το γεγονός ότι οι άνθρωποι παράγουν διοξείδιο του άνθρακα ανάλογα το μέγεθος τους και τον βαθμό έντασης της δραστηριότητάς τους. Ο δεύτερος παράγοντας είναι πως με την αύξηση της εσωτερικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα πάνω από αυτή του εξωτερικού χώρου, είναι δυνατόν να μελετηθεί ο αερισμός του κτιρίου χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες τεχνικές ανίχνευσης.

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται αρκετά απλοποιημένες διαδικασίες των μετρήσεων, με αποτέλεσμα την κατάληξη σε λανθασμένα συμπεράσματα. Αυτό συνήθως γίνεται γιατί ο βαθμός αερισμού που υπολογίζεται αφορά την ανάλυση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό χρησιμοποιώντας μία απλή εξίσωση διατήρησης μάζας, βάση της παραδοχής ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες. Αυτό όμως δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Έτσι, ο ακριβής βαθμός αερισμού μπορεί να είναι πολύ πιο χαμηλός. Άλλες λαθεμένες προσεγγίσεις που αφορούν την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό ενός κτιρίου περιλαμβάνουν δεδομένα που περιγράφουν το διοξείδιο του άνθρακα σαν ολικό δείκτη της ποιότητας του αέρα, ενώ παίζουν σημαντικό ρόλο και άλλοι παράγοντες.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν διάφορες προσεγγίσεις υπολογισμού του αερισμού με βάση την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Πιο αναλυτικά θα περιγραφεί η μεθοδολογία κατά την οποία χρησιμοποιείται η σχέση της συγκέντρωσης με τον ανθρώπινο παράγοντα σε κτίριο με χρήστες, όπως το κολυμβητήριο.

4.2. Βαθμός Παραγωγής Διοξειδίου του Άνθρακα

Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα με την ποιότητα του αέρα, αλλά και η σχέση μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα και του αερισμού βασίζονται στον βαθμό παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα από τους ανθρώπους. Οι άνθρωποι παράγουν διοξείδιο του άνθρακα και καταναλώνουν οξυγόνο, με ρυθμό που εξαρτάται από τον βαθμό της φυσικής του δραστηριότητας και το μέγεθος τους. (ASTM, 2012)

Ο ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου, V_{O_2} , σε L/s, ενός ατόμου είναι ο εξής:

$$V_{O_2} = \frac{0.0027 A_D M}{(0.23 RQ + 0.77)} \quad (4.1)$$

Όπου:

RQ: ο σχετικός ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με την κατανάλωση του οξυγόνου.

M: ο βαθμός φυσικής δραστηριότητας, σε mets (1 met= 58,2 W/m²)

A_D: η έκταση που καταλαμβάνει το άτομο σε m², η εξίσωσή του δίνεται στη συνέχεια:

$$A_D = 0.203 H^{0.725} W^{0.425} \quad (4.2)$$

Όπου :

H: το ύψος του ατόμου σε m

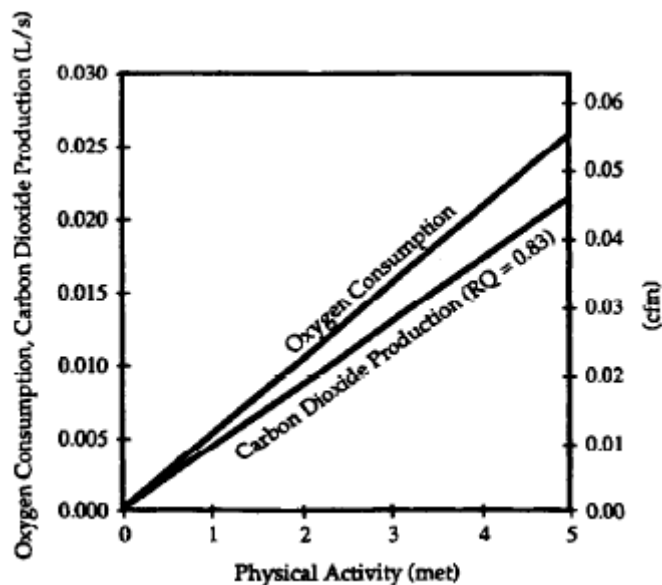
W: η μάζα του σώματος σε kg

Για έναν ενήλικα μετρίου μεγέθους, το A_D είναι περίπου ίσο με 1.8 m². Η τιμή του RQ εξαρτάται στο βαθμό φυσικής δραστηριότητας και στη φυσική κατάσταση ενός ατόμου και ισούται με 0.83 για έναν ενήλικα, μεσαίου μεγέθους με μέτρια φυσική δραστηριότητα. Το RQ αυξάνεται ως το 1 για έντονη δραστηριότητα (5 met).

Ισχύει ότι:

$$G = V_{O_2} \cdot RQ \quad (4.3)$$

Στη παρακάτω σχέση φαίνεται η παραγωγή του διοξειδίου το άνθρακα και η κατανάλωση του οξυγόνου για ένα άτομο μεσαίου μεγέθους και μέτριας φυσικής δραστηριότητας (A_D= 1,8 ,RQ= 0,83)



Σχήμα 4.1: Παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα και κατανάλωση του οξυγόνου ως παράγωγα της φυσικής δραστηριότητας του ατόμου (ΠΗΓΗ: ASTM, 2012)

Η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα πολλές φορές κατηγορείται ότι προκαλεί χειρότερης ποιότητας αέρα. Σύμφωνα με την σχέση 4.1 όμως, η μείωση του οξυγόνου μαζί με χαμηλό ρυθμό αερισμού δεν αποτελεί λόγο ανησυχίας.

Στη συνέχεια στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζεται η διακύμανση του Met όσον αφορά την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Πίνακας 4.1: Διακύμανση Met

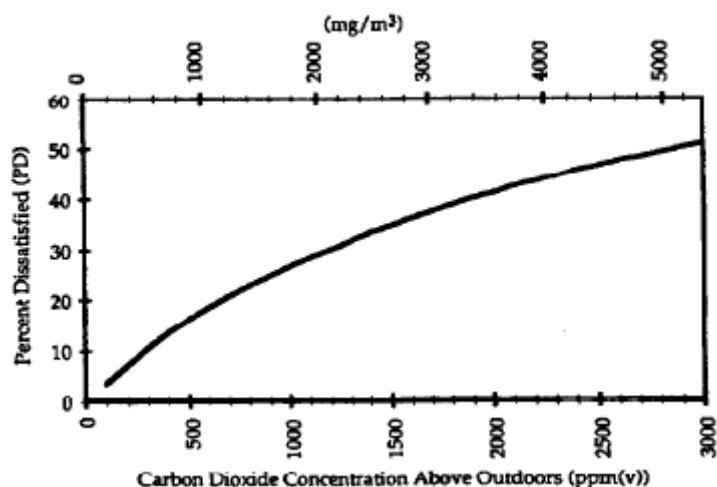
Δραστηριότητα	Met
Καθιστός	1,0
Διάβασμα και γράψιμο, καθιστός	1,0
Δακτυλογράφηση	1,1
Αρχειοθέτηση, καθιστός	1,2
Αρχειοθέτης, όρθιος	1,4
Περπάτημα με 0.9 m/s	2,0
Καθάρισμα του σπιτιού	2,0-3,4
Άσκηση	3,0-5,0

(ΠΗΓΗ: ASTM, 2012)

4.3. Διοξείδιο του Άνθρακα και Ποιότητα Αέρα στο Εσωτερικό

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό ενός κτιρίου έχει χαρακτηριστεί ως δείκτης της ποιότητας του αέρα. Υπάρχουν αρκετές σχέσεις που θα μπορούσαν να συζητηθούν σχετικά με αυτή την σύνδεση. Αυτές είναι οι επιπτώσεις στην υγεία, η αντίληψη των ανθρώπων για το εσωτερικό περιβάλλον, η σχέση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα με αυτή άλλων αερίων που προκαλούν μολύνσεις αλλά και η σχέση της με τον εξωτερικό ρυθμό αερισμού. Κάποιες από αυτές τις συσχετίσεις είναι καλά ορισμένες και

γίνονται εύκολα αντιληπτές, άλλες όμως δεν έχουν καθοριστεί ούτε θεωρητικά ούτε πειραματικά. Με άλλα λόγια, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί δείκτη της ποιότητας του αέρα κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις, δεν μπορεί να θεωρηθεί όμως αποκλειστικός παράγοντας χαρακτηρισμού αυτής (Mahyuddin, Awbi, 2012).



Σχήμα 4.2: Επί τοις εκατό ενόχληση των ανθρώπων σε σχέση με τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα. (ΠΗΓΗ: ASTM, 2012)

Γενικά, το επίπεδο των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα που συναντάται σε κλειστούς χώρους, μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν απειλεί την υγεία. Το όριο για ένα γραφείο στο οποίο κάποιος δουλεύει 8 ώρες την μέρα και 40 ώρες τη βδομάδα είναι 9.000 mg/m³ (5.000 ppm), ενώ για σύντομη έκθεση γύρω στα 15 λεπτά 54.000 mg/m³ (30.000 ppm). Ανησυχία υπάρχει σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Η σχέση μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα με αυτή άλλων αερίων που προκαλούν ερεθισμό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά παραγωγής αυτών των αερίων. Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται το διοξείδιο του άνθρακα εξαρτάται από το πλήθος των ανθρώπων σε έναν χώρο, το μέγεθός τους και την δραστηριότητα τους. Εάν και η παραγωγή των υπόλοιπων αερίων εξαρτάται από τους ανθρώπους που υπάρχουν, τότε το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί πολύ καλή ένδειξη της συγκέντρωσής τους. Στην πραγματικότητα όμως, ελάχιστα αέρια παράγονται από τους ανθρώπους, ενώ τα περισσότερα είναι ανεξάρτητα από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Για παράδειγμα, οι εκπομπές των υλικών του κτιρίου και της επίπλωσης, αλλά και η εισαγωγή αερίων από το εξωτερικό μέσω του συστήματος αερισμού δεν εξαρτώνται από τους ανθρώπους. Εκτός από αυτό, οι εκπομπές, είτε των ανθρώπων είτε άλλων παραγόντων, αυτών των ουσιών μπορεί να είναι είτε υψηλότερη είτε χαμηλότερη από του διοξειδίου του άνθρακα, και έτσι δεν είναι δυνατές οι συγκρίσεις.

4.4. Υπολογισμός αερισμού του κτιρίου

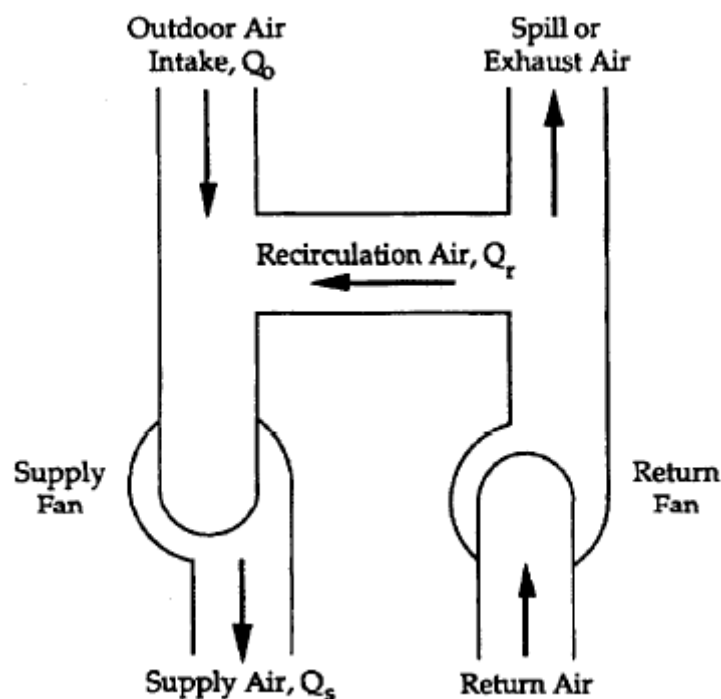
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού του αερισμού ενός κτιρίου. Σε αυτούς περιλαμβάνονται ο προσδιορισμός του ποσοστού ανανέωσης αέρα λόγω εξαναγκασμένου αερισμού, ο υπολογισμός του αερισμού από συσκευή ανίχνευσης και η ανάλυση ισορροπίας. Αυτοί οι τρεις μέθοδοι περιγράφονται στην συνέχεια, με ιδιαίτερη έμφαση στην μέθοδο

ανάλυσης ισορροπίας και η μέτρηση με συσκευή ανίχνευσης διοξειδίου του άνθρακα σε κτίριο με μεταβλητό ρυθμό εναλλαγής αέρα, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν στον προσδιορισμό του αερισμού στο κολυμβητήριο της Κοζάνης.

4.4.1 Ο προσδιορισμός του ποσοστού ανανέωσης αέρα λόγω εξαναγκασμένου αερισμού

Η ποσότητα του εξωτερικού αέρα σε ένα σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή διοξειδίου του άνθρακα, που θα βασίζεται στην διατήρηση της μάζας του αέρα και του διοξειδίου του άνθρακα στον εξαερισμό. Στη συνέχεια, η τιμή της επί τοις εκατό εισαγωγής αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του ρυθμού εισαγωγής εξωτερικού αέρα, το οποίο είναι πολύ χρήσιμο όταν δεν μπορούμε να τον υπολογίσουμε απευθείας με έναν σωλήνα Pitot ή με ανεμόμετρο.

Η επί τοις εκατό εισαγωγή του εξωτερικού αέρα ισούται με τον ογκομετρικό ρυθμό της ροής του ανέμου στο σύστημα εξαερισμού, Q_0 , διαιρεμένο με τον αέρα της συσκευής του εξαερισμού, Q_s . Αυτές οι ροές ανέμου, καθώς επίσης και αυτή της ανακυκλοφορίας, Q_r , παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Ροές ανέμου (ΠΗΓΗ: ASTM, 2012)

Με βάση το ισοζύγιο μάζας του αέρα και του διοξειδίου του άνθρακα στον εξαερισμό, η επί τοις εκατό εισαγωγή του αέρα %OA δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta\% = \%OA \sqrt{\frac{(\Delta C_r^2 + \Delta C_{out}^2)}{(C_r - C_{out})^2} + \frac{(\Delta C_r^2 + \Delta C_s^2)}{(C_r - C_s)^2}} \quad (4.4)$$

Όπου,

$\Delta\%$: η διαφορά της επί της εκατό εισαγωγής του εξωτερικού αέρα

ΔC_r : η διαφορά της μετρούμενης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στον ανακυκλώμενο αέρα

ΔC_s : η διαφορά της μετρούμενης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα εισαγωγής

ΔC_{out} : η διαφορά της μετρούμενης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στον εξωτερικό αέρα.

4.4.2 Εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση συσκευής ανίχνευσης διοξειδίου του άνθρακα σε κτίριο με μεταβλητό ρυθμό εναλλαγής αέρα

Ο ολικός βαθμός αερισμού του κτιρίου μπορεί να υπολογιστεί με χρήση ανιχνευτή διοξειδίου του άνθρακα, θεωρώντας τους ανθρώπους ως μέσο παραγωγής του. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται αφού οι χρήστες έχουν εγκαταλείψει το κτίριο. Σύμφωνα με το ASTM Standard E741 (ASTM, 1995), υπάρχει μία μέθοδος για μέτρηση με χρήση ανιχνευτή διοξειδίου του άνθρακα του βαθμού αερισμού μίας ζώνης του κτιρίου. Έτσι καθορίζεται ο ολικός ρυθμός κατά τον οποίο ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται σε μία ζώνη διαιρεμένο με τον όγκο αυτής της ζώνης. Αυτή η μέθοδος συμπεριλαμβάνει και το αερισμό μέσω ανοιγμάτων και σχισμών στο κέλυφος του κτιρίου, αλλά και τον εισερχόμενο αέρα από χρήση συσκευών εξαναγκασμένου αερισμού.

Ο ανιχνευτής τοποθετείται στον χώρο που θέλουμε να υπολογίσουμε τον βαθμό αερισμού. Πραγματοποιείται μέτρηση της μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα και μέσα από αυτή καθορίζεται ο βαθμός μείωσης και κατ' επέκταση ο ρυθμός αερισμού (Kima, et al., 2008). Σε περίπτωση που ο ρυθμός της μεταβολής του αέρα είναι σταθερός τότε η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα που ανιχνεύεται, $C(t)$, φθίνει τείνοντας στο μηδέν σύμφωνα με τη σχέση:

$$C(t) = C_0 e^{-lt} \quad (4.5)$$

Όπου

t = χρόνος, h

C_0 = η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα για $t=0$

l = ο ρυθμός μεταβολής του αέρα, h^{-1}

Ο ρυθμός μεταβολής του αέρα, l , ισούται με τον ρυθμό της εξωτερικής ροής του αέρα στον χώρο διαιρεμένο με τον όγκο του χώρου, V . Η μείωση του ανιχνεύσιμου διοξειδίου του άνθρακα που μετρείται αναλύεται όπως φαίνεται στην συνέχεια:

$$\ln C(t) = \ln C_0 - lt \quad (4.6)$$

η τιμή του l καθορίζεται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Ο μέσος όρος του ρυθμού μεταβολής του αέρα μπορεί να δοθεί για ένα διάστημα μεταξύ των χρόνων t_1 και t_2 , χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$I = \frac{[\ln C(t_2) - \ln C(t_1)]}{(t_2 - t_1)} \quad (4.7)$$

όπου $C(t_1)$ η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην αρχή της χρονική περιόδου και $C(t_2)$ στο τέλος της.

Για να πραγματοποιηθεί η παραπάνω μέθοδος είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί ο κανονισμός του ASTM E741 (ASTM, 1995). Αυτός ο κανονισμός καλύπτει το είδος του εξοπλισμού, την διάρκεια και συχνότητα των μετρήσεων, την ομοιομορφία του αερίου μέσα στον αέρα που εξετάζεται και την υπολογιστική μέθοδο. Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένα θέματα που χρήζουν περεταίρω συζήτησης. Για παράδειγμα, αυτή η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι στο κτίριο δεν υπάρχει μόνιμη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή δεν στεγάζει ανθρώπους σε μόνιμη βάση. Στην πράξη, το να υπάρχει ένας άνθρωπος ανά 1.000 m^2 δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τον κανονισμό η εξωτερική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα είναι μηδενική, πράγμα που δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Παρόλα αυτά, αν η εξωτερική συγκέντρωση είναι σταθερή καθ' όλη την διάρκεια της μέτρησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διαφορά της από την εσωτερική. Η ακρίβεια της διαφοράς εξωτερικής – εσωτερικής θα πρέπει να είναι $\pm 5\%$.

Στα περισσότερα κτίρια χρειάζεται αρκετός χρόνος ώστε να φύγουν όλοι οι χρήστες του, μέσα σε αυτό το διάστημα υπάρχει μείωση του διοξειδίου του άνθρακα. Η τελική τιμή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα όταν τελικά το κτίριο αδειάσει, εξαρτάται από την τιμή της όταν οι χρήστες άρχισαν να αποχωρούν, τον χρόνο που χρειάστηκε για να φύγουν και ρυθμό αερισμού του χώρου (Zhang, et al., 2015) Έτσι, η τιμή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του αερισμού ενδεχομένως να είναι πολύ χαμηλή για να πραγματοποιηθεί αξιόπιστος υπολογισμός.

4.4.3 Εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση ανάλυσης ισορροπίας

Κάτω από συγκεκριμένες καταστάσεις μπορούμε να υπολογίσουμε τον αερισμό με την μέθοδο της συνεχής εισροής διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η μέθοδος που χρησιμοποιεί τον άνθρωπο ως παραγωγό του διοξειδίου του άνθρακα αναφέρεται ως εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση ανάλυσης ισορροπίας.

Η μέθοδος που περιγράφεται στο ASTM E741 (ASTM, 1995) περιλαμβάνει την εισροή διοξειδίου του άνθρακα σε μία ζώνη ενός χώρου με σταθερό και γνωστό ρυθμό. Το διοξείδιο του άνθρακα διαχέεται στην ζώνη μέχρις ότου να υπάρξει ομοιομορφία και μετριέται σε πραγματικό χρόνο. Ο μέσος ρυθμός αερισμού του χώρου για κάποιο χρονικό διάστημα υπολογίζεται με βάση την μέση τιμή της συγκέντρωσης, τον ρυθμό εισροής του διοξειδίου του άνθρακα, τον όγκο του χώρου, το ίδιο το χρονικό διάστημα και τις τιμές της συγκέντρωσης στην αρχή και στο τέλος του. Όπως ισχύει και για την μέθοδο ανίχνευσης που αναλύθηκε προηγουμένως, η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σε μόνο μία ζώνη του χώρου και συνυπολογίζεται ο αερισμός μέσω σχισμών και ανοιγμάτων του κελύφους του κτιρίου.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης ισορροπίας γίνονται οι εξής παραδοχές: ο ρυθμός εισροής του εξωτερικού αέρα είναι σταθερός, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα εξωτερικά είναι σταθερή και όχι μηδενική, η εσωτερική συγκέντρωση του είναι σε ισορροπία, υπάρχει σταθερός ρυθμός παραγωγής του μέσα στον χώρο και δεν υπάρχει άλλος

μηχανισμός μείωσης του εκτός από τον αερισμό. Έτσι, ο ρυθμός του εξωτερικού αερισμού δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_0 = \frac{1.8 \times 10^6 G}{(C_{in,eq} - C_{out})} \quad (4.8)$$

Όπου

Q_0 : η εξωτερική ροή του αέρα μέσα στο χώρο, L/s

G: η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα στον χώρο, L/s

$C_{in,eq}$: η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στον χώρο σε ισορροπία, mg/m³

C_{out} : η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εξωτερικό, mg/m³

Η σχέση αυτή μπορεί να γραφτεί και ανά άτομο, αντικαθιστώντας τον ρυθμό παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα G ανά άτομο. Σε αυτή την περίπτωση η Σχέση 4.8 παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$Q_p = \frac{1.8 \times 10^6 G_p}{(C_{in,eq} - C_{out})} \quad (4.9)$$

Όπου

Q_p : η εξωτερική ροή του αέρα μέσα στο χώρο, L/s, ανά άτομο

G_p : η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα στον χώρο, L/s, ανά άτομο

Η εγκυρότητα αυτών των σχέσεων βασίζεται σε διάφορες προϋποθέσεις και παραδοχές σχετικές με το ισοζύγιο μάζας διοξειδίου του άνθρακα σε μονοζωνικούς χώρους, στο οποίο και βασίζονται. Αρχικά, πρέπει να τονιστεί ότι μιλάμε για χώρο που αποτελείται από μία ζώνη, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα έξω από αυτή τη ζώνη είναι ομοιογενείς και διαφέρει μόνο κατά 10% από τον μέσο όρο της συγκέντρωσης μέσα στη ζώνη.

Οι παραπάνω Σχέσεις 4.8 και 4.9 απαιτούν η ζώνη που εξετάζεται να είναι απομονωμένη από το υπόλοιπο κτίριο από άποψη αερισμού, εκτός αν βρίσκεται σε ισορροπία με τους υπόλοιπους χώρους όσον αφορά το διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό έχει ως σκοπό, την αποφυγή ανταλλαγής αέρα με κάποιον άλλο χώρο εκτός από το εξωτερικό περιβάλλον. Σε περίπτωση που αυτός ο περιορισμός δεν μπορεί να αποφευχθεί, μπορούμε να διακόψουμε την μεταφορά αέρα ανάμεσα στα δωμάτια με προσθήκη καπνού.

Η μέθοδος επίσης απαιτεί ότι ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα είναι σταθερός και γνωστός. Αυτό σημαίνει ο αριθμός των ανθρώπων στον χώρο και ο ρυθμός με τον οποίο παράγουν διοξείδιο του άνθρακα είναι σταθεροί για όσο η συγκέντρωση στο κτίριο έρχεται σε ισορροπία. Όταν γίνεται χρήση της εξίσωσης 4.8 πρέπει να είναι γνωστό ο αριθμός των ανθρώπων και ο μέσος ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα. Στη σχέση 4.9 χρειάζεται μόνο να ξέρουμε τον μέσο ρυθμό παραγωγής ανά άτομο. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω

πρέπει να είναι καθορισμένος ο βαθμός δραστηριότητας και το μέγεθος των ατόμων όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

Αυτές οι σχέσεις επίσης βασίζονται σε μία σταθερή εξωτερική ροή ανέμου. Για αυτό πρέπει να γίνουν αντιληπτοί οι παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό αερισμού του χώρου προς εξέταση. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι καιρικές συνθήκες, η λειτουργία και ο έλεγχος, αν υπάρχει, μηχανισμού εξαναγκασμένου αερισμού. Σε περίπτωση που ο χώρος αερίζεται μηχανικά, το σύστημα ελέγχου μπορεί να καθορίσει τον βαθμό αερισμού ανάλογα με τον καιρό που επικρατεί. Επίσης μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την θερμοκρασία στο εσωτερικό και άλλους παράγοντες.

Αυτή η προσέγγιση απαιτεί επίσης την ισορροπία της εσωτερικής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, που σημαίνει ότι ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό, η εξωτερική συγκέντρωση του και ο ρυθμός του εξωτερικού αερισμού είναι σταθερά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ώστε η εσωτερική συγκέντρωση να σταθεροποιείται σε μία σταθερή τιμή. Σε αυτό το σημείο, ο ρυθμός με τον οποίο το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται σε ένα χώρο συν το ρυθμό με τον οποίο εισέρχεται από το εξωτερικό ισούται με τον ρυθμό με τον οποίο το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνεται από τον χώρο μέσω του αερισμού.

Ο χρόνος που απαιτείται να για επιτευχθεί ισορροπία εξαρτάται μόνο στον εξωτερικό ρυθμό αερισμού του χώρου διαιρεμένο με τον όγκο του. Το μέγεθος αυτό αναφέρεται ως αριθμός αλλαγών (ή ανανέωσης) αέρα την ώρα (h^{-1}).

Στην πράξη, η ισορροπία μπορεί να επιτευχθεί όταν η αλλαγή της διαφοράς στην εσωτερική-εξωτερική συγκέντρωση μέσα σε μία ώρα είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta C_{eq} = \frac{324 \times 10^6 G}{V} \quad (4.10)$$

Όπου

ΔC_{eq} : η μεταβολή στην διαφορά εσωτερικής-εξωτερικής συγκέντρωσης, mg/m^3

G: η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα στην ζώνη, L/s

V: ο όγκος της ζώνης, L

Κάθε φορά που χρησιμοποιούνται οι παραπάνω σχέσεις είναι πολύ σημαντικό να εκτιμάται η ακρίβεια τους. Η ακρίβεια του εξωτερικού ρυθμού αερισμού που εισέρχεται στη ζώνη που υπολογίζεται από την Σχέση 4.8, μπορεί να εκτιμηθεί με την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta Q_0 = Q_0 \left[\left(\frac{\Delta G}{G} \right)^2 + \frac{2\Delta C^2}{(C_{in,eq} - C_{out})^2} \right]^{0.5} \quad (4.11)$$

Όπου

ΔQ : η διαφορά του εξωτερικού ρυθμού αερισμού στην ζώνη, L/s

ΔG : η διαφορά του ρυθμού παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό, L/s

ΔC : η διαφορά της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα των μετρήσεων, mg/m^3

Ενώ για τη Σχέση 4.9:

$$\Delta Q_p = Q_p \left[\left(\frac{\Delta G_p}{G_p} \right)^2 + \frac{2\Delta C^2}{(C_{in,eq} - C_{out})^2} \right]^{0.5} \quad (4.12)$$

Όπου

ΔQ_p : η διαφορά του εξωτερικού ρυθμού αερισμού στην ζώνη, L/s, ανά άτομο

ΔG_p : η διαφορά του ρυθμού παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό, L/s, ανά άτομο

Η ακρίβεια του ρυθμού παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, εξαρτάται από το μέγεθος και το βαθμό δραστηριότητας των ατόμων στο χώρο. Η εξίσωση 4.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η ακρίβεια του ΔG_p βασισόμενη στην αβεβαιότητα που υπάρχει στον καθορισμό του A_D και του M .

Η χρήση της ανάλυσης ισορροπίας απαιτεί να ληφθούν υπόψιν άλλες πηγές παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, όπως διαδικασίες καύσης μέσα ή κοντά στον χώρο προς εξέταση, καθώς επίσης και μηχανισμών απομάκρυνσης του, όπως μεγάλες ποσότητες φυτών. Σε περίπτωση τέτοιων φαινομένων το αποτέλεσμα δεν είναι αξιόπιστο.

4.4.4 Προσέγγιση του ισοζυγίου μάζας για τον υπολογισμό του ρυθμού αερισμού

Η εσωτερική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του αερισμού του κτιρίου βασισόμενη στην ανάλυση του ισοζυγίου της μάζας του διοξειδίου του άνθρακα, χωρίς όμως την ανάγκη να απλοποιήσουμε το πρόβλημα με σταθερές συνθήκες ή σταθερό ρυθμό παραγωγής. Αυτές οι προσεγγίσεις χρησιμοποιούν είτε ολικώς είτε μερικώς τις σχέσεις του ισοζυγίου της μάζας και περιλαμβάνουν μη γραμμική ανάλυση των μετρήσεων, ενώ χρησιμοποιούνται κυρίως στην έρευνα.

4.5. Συνεχής καταγραφή του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό

Η συνεχής καταγραφή του διοξειδίου του άνθρακα είναι πολύ σημαντική καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του αερισμού. Επίσης, βοηθούν στο να εξακριβωθεί αν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η ανάλυση ισορροπίας. Τέλος, δημιουργείται μία βάση δεδομένων για την συμπεριφορά των ατόμων που χρησιμοποιούν είτε κάποια ζώνη είτε και ολόκληρο το κτίριο.

4.6. Προετοιμασία αισθητηρίων και τοποθέτηση τους

Αν και δεν υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος που πρέπει να παίρνονται οι μετρήσεις, υπάρχει κάποια καθοδήγηση σύμφωνα με το πρότυπο μετρήσεων.

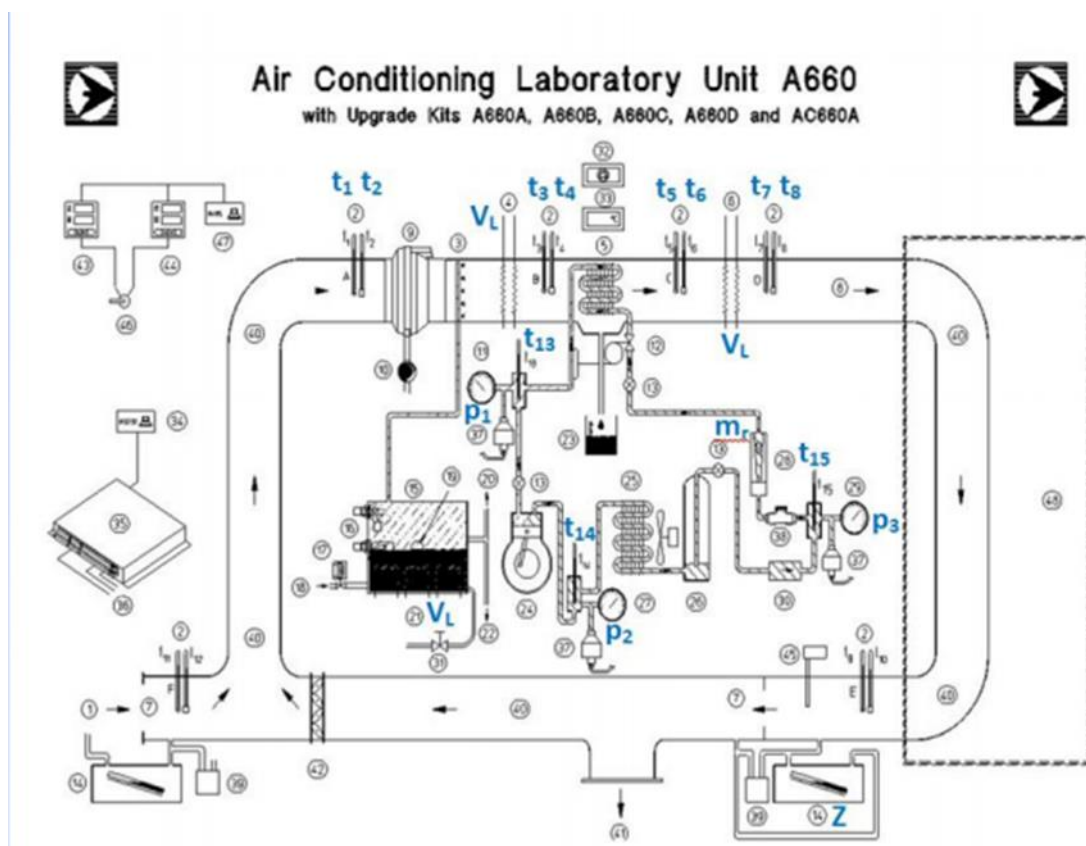
Αρχικά είναι πολύ σημαντικό οι αισθητήρες και οι μετρητές να ελέγχονται πριν και μετά από τις μετρήσεις. Στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση των οργάνων. Κάποιες συσκευές μπορεί να χρειάζονται και μία περίοδο προετοιμασίας πριν να τεθούν σε λειτουργία. Οι συσκευές θα πρέπει να είναι τοποθετημένες με τρόπο τέτοιο ώστε να καλύπτουν όλη την επιφάνεια που είναι προς μέτρηση, ενώ δεν πρέπει να είναι τοποθετημένα κοντά σε ανθρώπους ώστε να μην έχουμε αλλοίωση των αποτελεσμάτων.

4.6.1 Βαθμονόμηση των αισθητηρίων

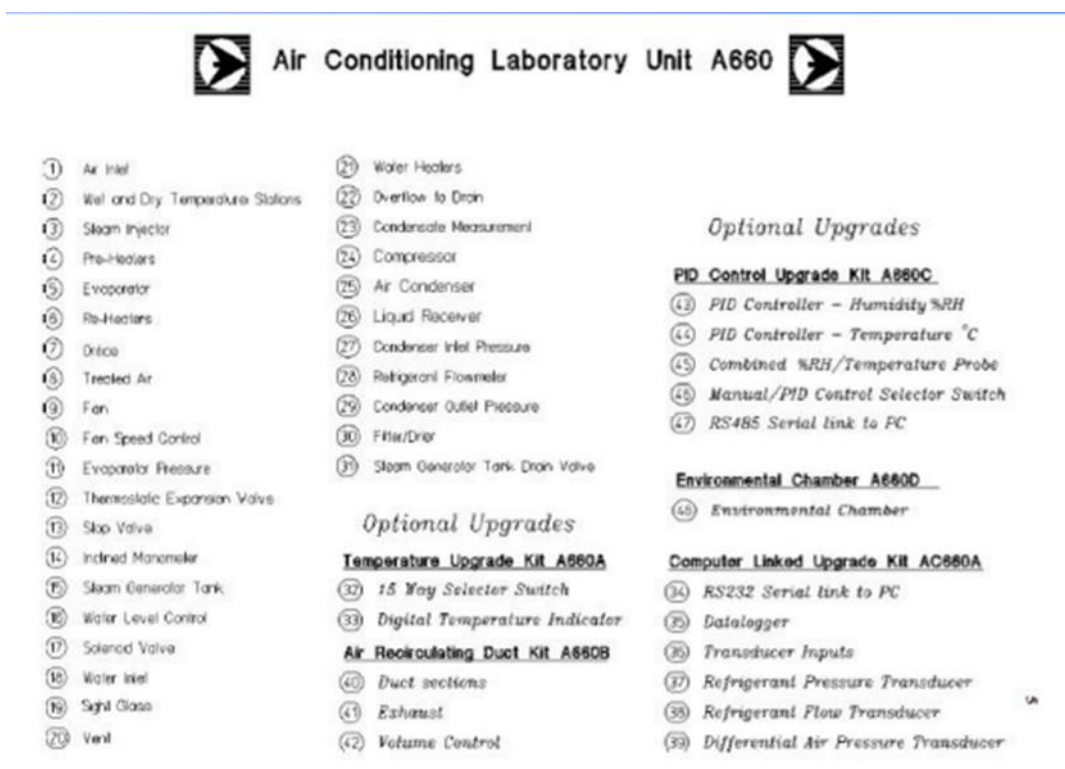
Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δέκα όργανα μέτρησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, τρία όργανα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας και πέντε συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα πριν από τις μετρήσεις στο κολυμβητήριο κρίθηκε σημαντικό να πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση.

4.6.2 Βαθμονόμηση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

Αρχικά, βαθμονομήθηκαν τα HOB0 1-4, A-C και το testo σε επίπεδο θερμοκρασίας και υγρασίας. Η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια του τμήματος με τη βοήθεια της εργαστηριακής διάταξης Air Conditioning Laboratory Unit A660 η οποία δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα που εισέρχεται στον θάλαμο σταθερών δοκιμών.



Σχήμα 4.4: Εργαστηριακή διάταξη Air Conditioning Laboratory Unit A660



Σχήμα 4.5: Επί μέρους στοιχεία της διάταξης

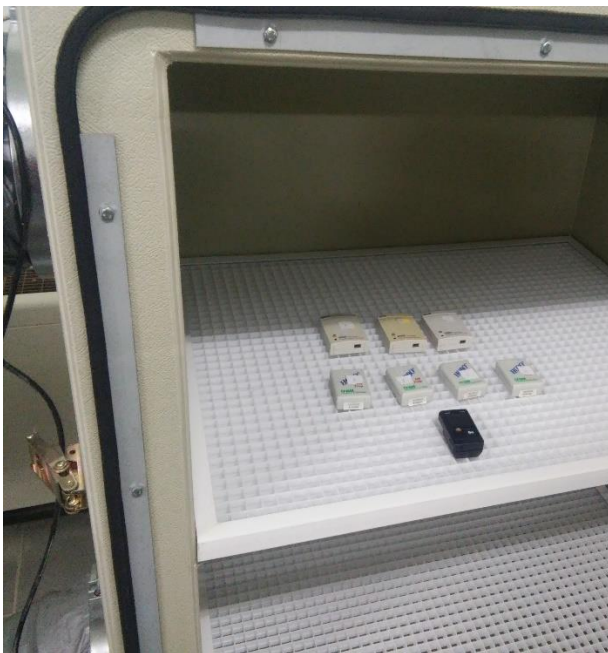
Τα όργανα τοποθετήθηκαν στο θάλαμο. Στη συνέχεια έγινε μία σειρά από αλλαγές στις συνθήκες του θαλάμου τόσο σε επίπεδο θερμοκρασίας όσο και υγρασίας. Αυτές οι αλλαγές δίνονται στον Πίνακα 4.2. Με αυτό το τρόπο συγκρίνουμε τις μετρούμενες τιμές της με τις πραγματικές και εύκολα μπορούμε να υπολογίσουμε τυχόν αποκλίσεις. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται η ίδια η εργαστηριακή διάταξη Air Conditioning Laboratory Unit A660, ενώ στην εικόνα 4.2 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο τα αισθητήρια τοποθετήθηκαν στη διάταξη.

Πίνακας 4.2: Οι αλλαγές στις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας στην διάταξη

Time	Temp (°C)	RH %
13:50 – 14:05	17	55
14:06 – 14:20	26	45
14:21 – 14:45	26	80
14:46 – 15:10	36	60

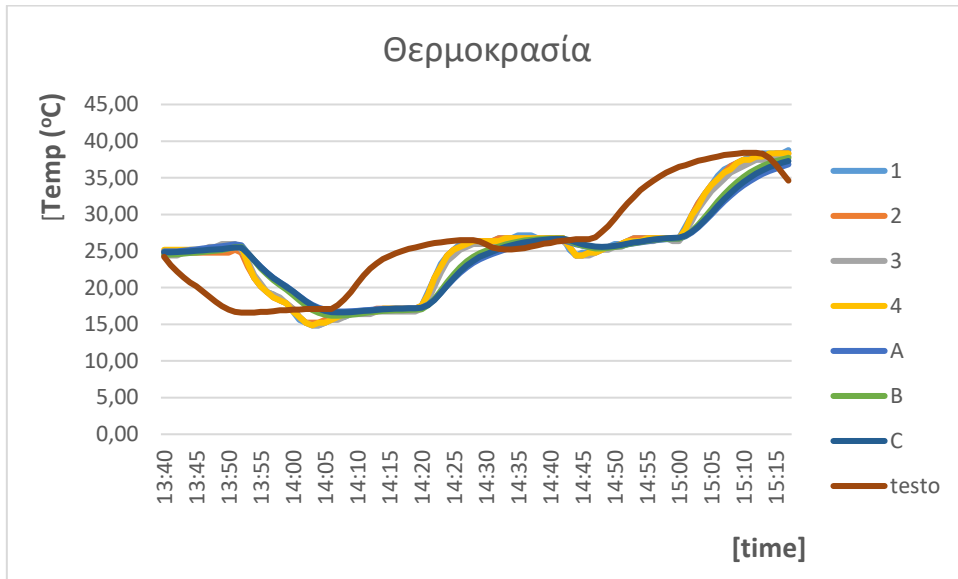


Εικόνα 4.1: εργαστηριακή διάταξη Air Conditioning Laboratory Unit A660

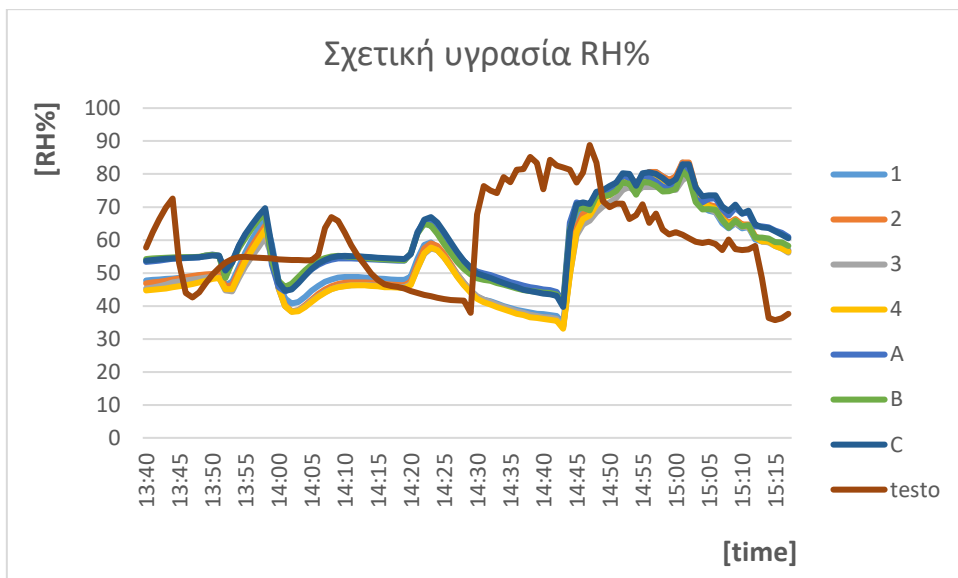


Εικόνα 4.2: Τοποθέτηση των αισθητηρίων στη διάταξη Air Conditioning Laboratory Unit A660

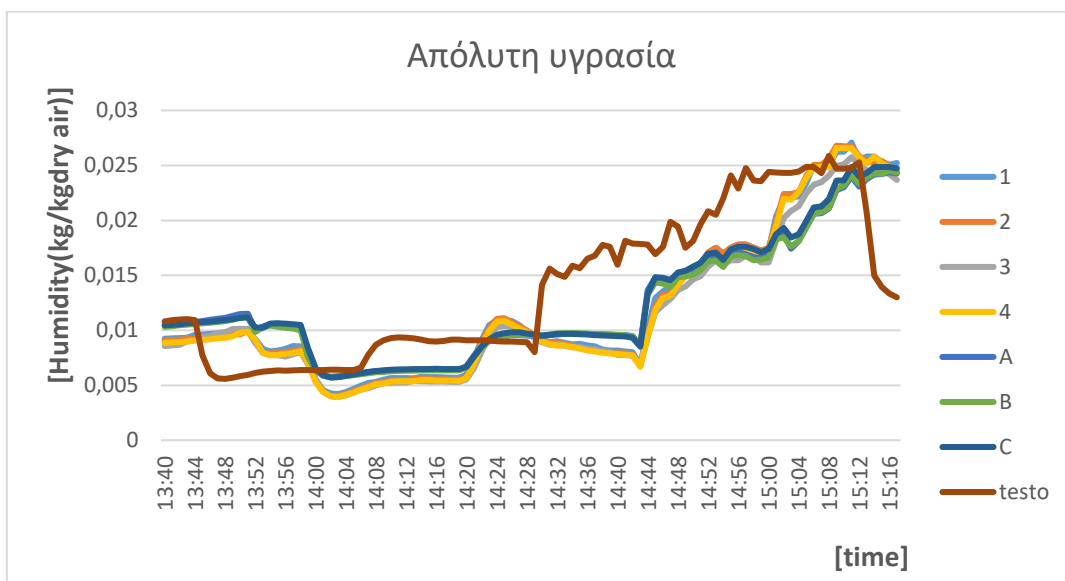
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στα ακόλουθα Σχήματα:



Σχήμα 4.6: Μέτρηση θερμοκρασίας στο θάλαμο δοκιμών



Σχήμα 4.7.α: Μέτρηση σχετικής υγρασίας στο θάλαμο δοκιμών



Σχήμα 4.7.β: Μέτρηση απόλυτης υγρασίας στο θάλαμο δοκιμών

Όσον αφορά την θερμοκρασία, όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα 4.6, όλα τα αισθητήρια φαίνεται να έχουν τις ίδια τιμές, κοντά στις δοθείσες. Η παρατηρούμενη διαφορά μεταξύ των αισθητηρίων 1-2-3-4, A-B-C και του Testo οφείλεται στο γεγονός ότι η σταθερά χρόνου των πρώτων είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του Testo.

Σχετικά με την υγρασία, θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα από το διάγραμμα σχετικής υγρασίας, ειδικά όσον αφορά τη σύγκριση με το αισθητήριο Testo, καθώς η τιμή της είναι συνάρτηση της τιμής της θερμοκρασίας των αισθητηρίων. Όσον αφορά την ειδική υγρασία, και πάλι τα αισθητήρια είναι πολύ κοντά στις μετρήσεις τους, με τη διαφορά από το αισθητήριο Testo να οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη σταθερά χρόνου που παρουσιάζουν. Το testo ακολουθεί ταχύτερα τις μεταβολές που επιβλήθηκαν στην θερμοκρασία του θαλάμου.

Σε κάθε περίπτωση, το ζήτημα της σταθεράς χρόνου δεν αποτελεί πρόβλημα για τις παρούσες μετρήσεις στο κολυμβητήριο, καθώς οι μεταβολές στις συνθήκες του κολυμβητηρίου λαμβάνουν χώρα με αργό ρυθμό.

4.6.3 Βαθμονόμηση συγκέντρωσης Διοξειδίου του άνθρακα

Βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε και στα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα. Στα αρχικά τρία όργανα προστέθηκαν ακόμη δύο, έτσι στις μετρήσεις είχαμε τα Hobo A-E. Η βαθμονόμηση τους πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια της Αργυροκάστρου και η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η βαθμονόμηση στο σημείο μηδέν με χρήση Αζώτου.

Σε πρώτο στάδιο ρυθμίστηκε το υψόμετρο. Οι συσκευές ήταν ρυθμισμένες σε υψόμετρο 600 m. Ακολουθώντας την διαδικασία όπως δίνεται από το manual της συσκευής επαναρυθμίστηκαν σε αυτό των 700 m, όσο είναι και το υψόμετρο της Κοζάνης.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση. Ανοίγοντας την κάθε συσκευή στην οθόνη έδειχνε την τιμή του διοξειδίου του άνθρακα στο δωμάτιο. Με την κατάλληλη ρύθμιση αυτό μειώθηκε στο μηδέν, καθώς στην μπουκάλα Αζώτου περιέχεται μηδενική συγκέντρωση

διοξειδίου του άνθρακα. Με ένα λεπτό σωλήνα συνδέεται η μπουκάλια στη συσκευή μέσω μιας εσοχής στο πλάι και ξεκινά η διαδικασία.

Αργά αφήνεται να απελευθερωθεί άζωτο στην συσκευή για ένα λεπτό. Στην Εικόνα 4.3, φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η έγχυση του Αζώτου στον αισθητήρα. Η βαθμονόμηση ξεκινά μετά από αυτό, πιέζοντας το κουμπί στο πίσω μέρος της συσκευής. Η απαιτούμενη διάρκεια είναι μερικά λεπτά. Μόλις ολοκληρωθεί, η συσκευή είναι έτοιμη για χρήση.



Εικόνα 4.3: Έγχυση αζώτου στο αισθητήριο Β

4.7. Διαδικασία των μετρήσεων

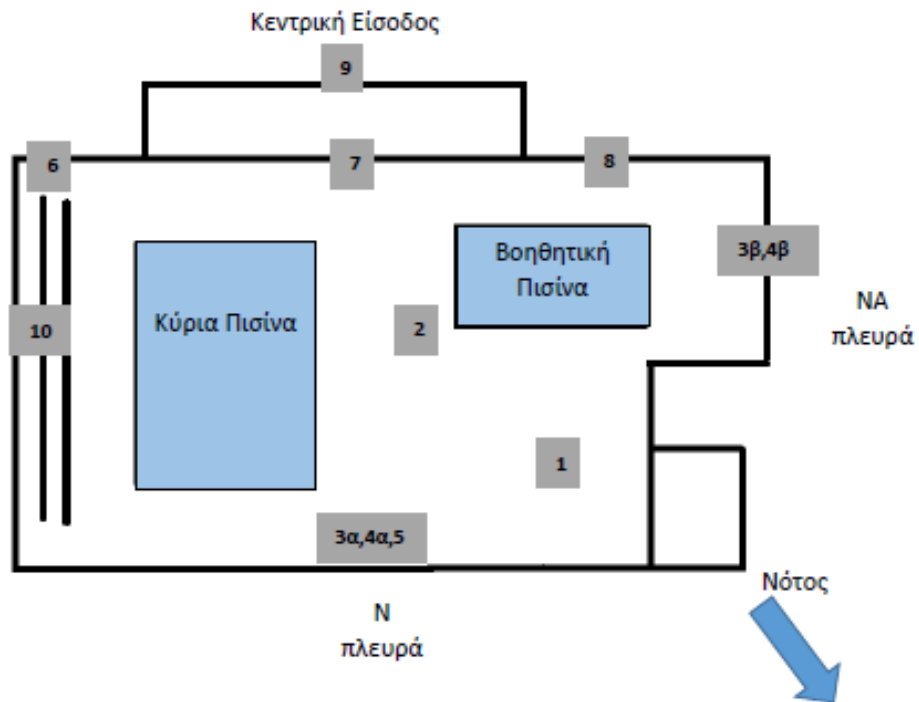
Στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε σειρά μετρήσεων στο κολυμβητήριο της Κοζάνης, την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου 2016.

Ειδικότερα οι μετρήσεις αφορούσαν:

- Θερμοκρασία και υγρασία αέρα
- Επιφανειακή θερμοκρασία
- Ταχύτητα αέρα
- Συγκέντρωση CO₂

Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές θέσεις του κολυμβητηρίου, ειδικά όσον αφορά τη θερμοκρασία, υγρασία και τη συγκέντρωση CO₂, ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για πιθανή κατανομή στο χώρο των σχετικών μεγεθών.

Στο ακόλουθο σκαρίφημα (Σχήμα 4.8) απεικονίζονται οι θέσεις των αισθητηρίων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων 6/6-13/7/2016.



11

Σχήμα 4.8: Σκαρίφημα θέσης εγκατεστημένων οργάνων

Πίνακας 4.3: Ονομασία θέσης στο κολυμβητήριο και ταυτότητα οργάνου

Ονομασία θέσης	Όργανο (ταυτότητα)
1	T-RC-CO ₂ (E)
2	T-RH-CO ₂ (D), T-RH (Testo), Ανεμόμετρο
3α	Ανεμόμετρο
3β	T-RH (1)
4α	Ανεμόμετρο
4β	Επιφανειακά Θερμόμετρα
5	T-RC-CO ₂ (C)
6	T-RC-CO ₂ (B)
7	T-RC (4)
8	T-RC-CO ₂ (A)
9	T-RC (3)
10	T-RC (2)
11	Μετεωρολογικός Σταθμός

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς σημαντικές επιπλοκές. Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι το κολυμβητήριο είναι ένας χώρος συνάθροισης ατόμων όλων των ηλικιών, είναι φανερό ότι

σε κάποιες περιπτώσεις επενέβησαν στη λήψη των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, η συσκευή Hobo B που κατέγραφε θερμοκρασία, υγρασία και διοξείδιο του άνθρακα φαίνεται να έχει σφάλμα στις μετρήσεις της μετά τις 26/6, μέχρι το τέλος των μετρήσεων κατέγραφε την μέγιστη τιμή.

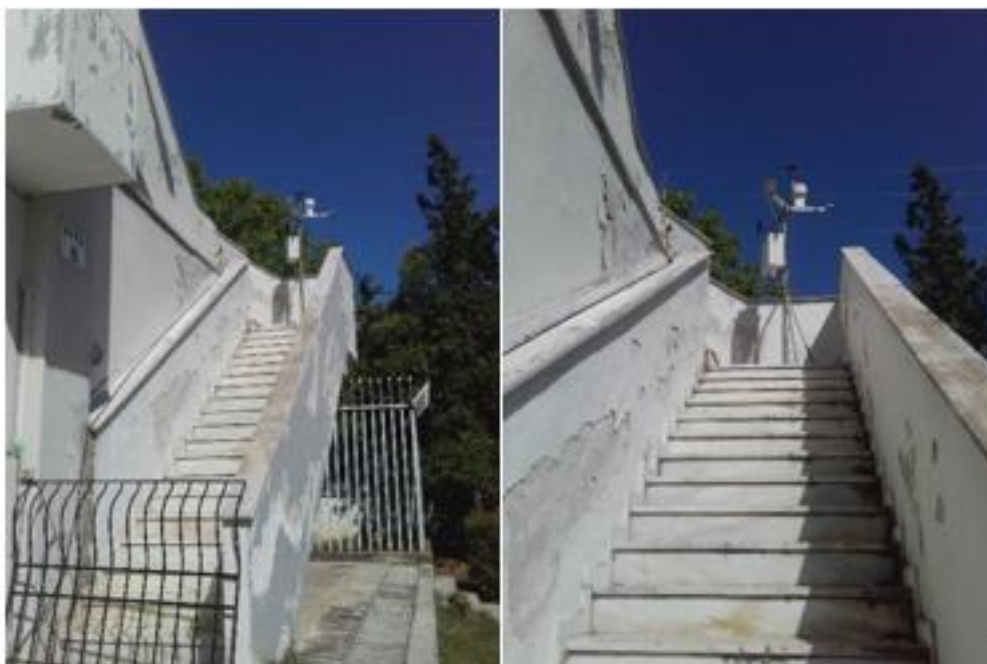
Όσον αφορά το ανεμόμετρο και τα επιφανειακά θερμόμετρα, είχαμε διακοπή των μετρήσεών τους λόγω διακοπής του ρεύματος. Οι συγκεκριμένες συσκευές ήταν συνδεδεμένες με το δίκτυο παροχής ρεύματος προκειμένου να λειτουργούν.

4.8. Εγκατάσταση και λειτουργία οργάνων

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η τοποθέτηση των οργάνων έγινε με τρόπο που να εξασφαλίζει την καταλληλότητα των θέσεων μέτρησης, σε συνδυασμό με την ελάχιστη δυνατή παρεμπόδιση της λειτουργίας του κολυμβητηρίου.

4.8.1 Μετεωρολογικός Σταθμός

Επιλέχθηκε παρακείμενη θέση του κολυμβητηρίου, όπως φαίνεται στην σχετική Εικόνα 4.4. Η θέση του ήταν δύσκολα προσβάσιμη αλλά σε ανοιχτό χώρο ώστε να επιτύχουμε την καλύτερη δυνατή απεικόνιση των καιρικών συνθηκών τις ημέρες των μετρήσεων.



Εικόνα 4.4: Μετεωρολογικός Σταθμός

4.8.2 Αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, CO₂

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 5 αισθητήρες (A, B, C, D, E). Διανεμήθηκαν σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου, όπως υπαγορεύει το σχετικό σχήμα (4.8). Αξίζει να σημειωθεί ότι η τοποθέτηση τους έγινε ώστε να δημιουργηθεί ένας νοητός σταυρός στον χώρο της πισίνας. Με αυτό τον τρόπο η απεικόνιση των συνθηκών στον εσωτερικό χώρο των πισινών ήταν η καλύτερη δυνατή. Στην Εικόνα (4.5) απεικονίζονται οι αισθητήρες B,C.



Εικόνα 4.5: Αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και CO₂ (Αισθητήρες B,C)

Εκτός από τα παραπάνω τοποθετήθηκαν και αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασία μόνο. Αυτοί ήταν συνολικά 5 (1, 2, 3, 4, Testo). Ο αισθητήρας testo ήταν ο μόνος τοποθετημένος σε υψηλότερο ύψος από τους υπόλοιπους

4.8.3 3D Ανεμόμετρο

Το 3D ανεμόμετρο τοποθετήθηκε σε τρεις θέσεις του κολυμβητηρίου κατά το διάστημα των μετρήσεων. Οι δύο θέσεις N πλευρά (3α) και NA(4α) επιλέχθηκαν καθώς πρόκειται για θέσεις φυσικού αερισμού, ενώ η κεντρική θέση του κολυμβητηρίου (2) παρέχει εικόνα για το αποτέλεσμα του φυσικού αερισμού.



Εικόνα 4.6: Εγκατεστημένο ανεμόμετρο σε κεντρική θέση (2) και NA(4α)

4.8.4 Επιφανειακή Θερμοκρασία

Τα αισθητήρια εγκαταστάθηκαν σε δύο τοίχους, στη ΝΑ (4β) και Ν πλευρά (3β). Η επιλογή έγινε με γνώμονα την ευκολία στην εγκατάσταση και τη διαφοροποίηση των συνθηκών λειτουργίας για κάθε θέση εγκατάστασης. Συνολικά τοποθετήθηκαν 6 αισθητήρια.



Εικόνα 4.7 : Εγκατεστημένα αισθητήρια επιφανειακής θερμοκρασίας

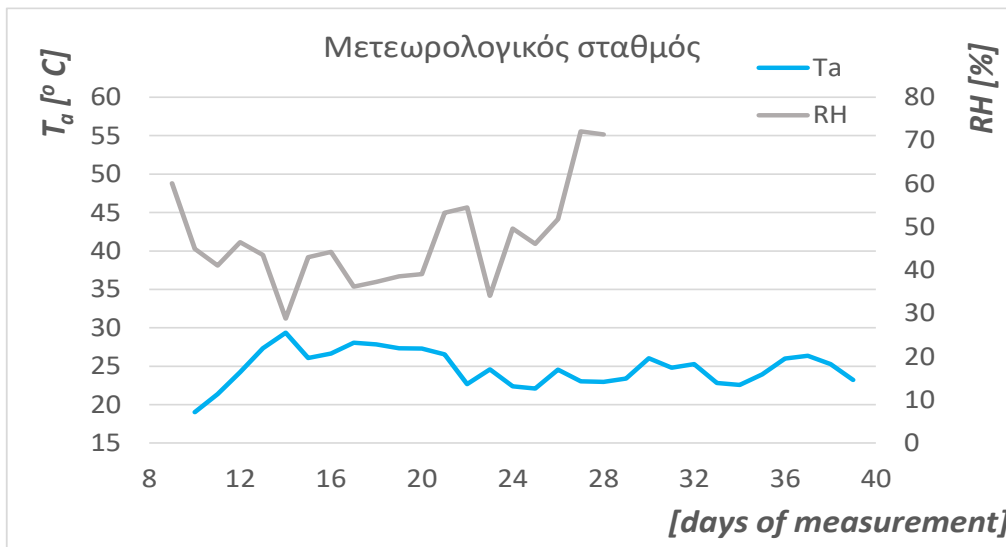
4.9. Αποτελέσματα μετρήσεων

4.9.1 Μετεωρολογικός Σταθμός

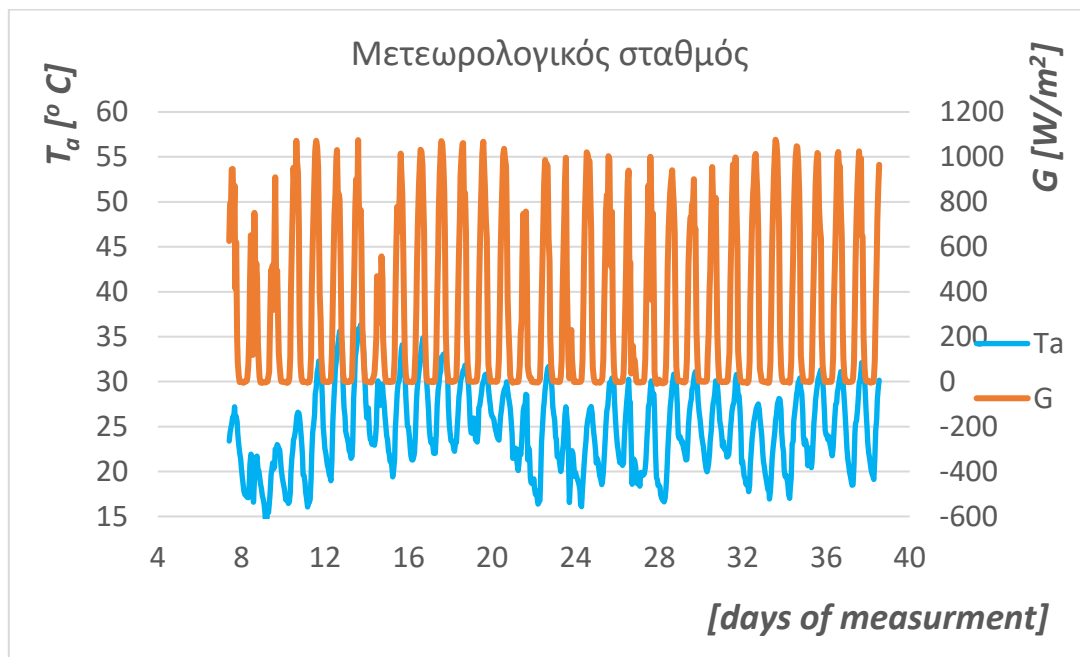
Τα δεδομένα μέτρησης αφορούσαν:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_a)
- Σχετική υγρασία (RH)
- Ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (G)
- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
- mm βροχόπτωσης
- Ατμοσφαιρική πίεση

Στα ακόλουθα σχήματα 4.9.α, 4.9.β παρουσιάζονται οι σχετικές τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 4.9.α : Θερμοκρασία και σχετική υγρασία αέρα περιβάλλοντος για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων

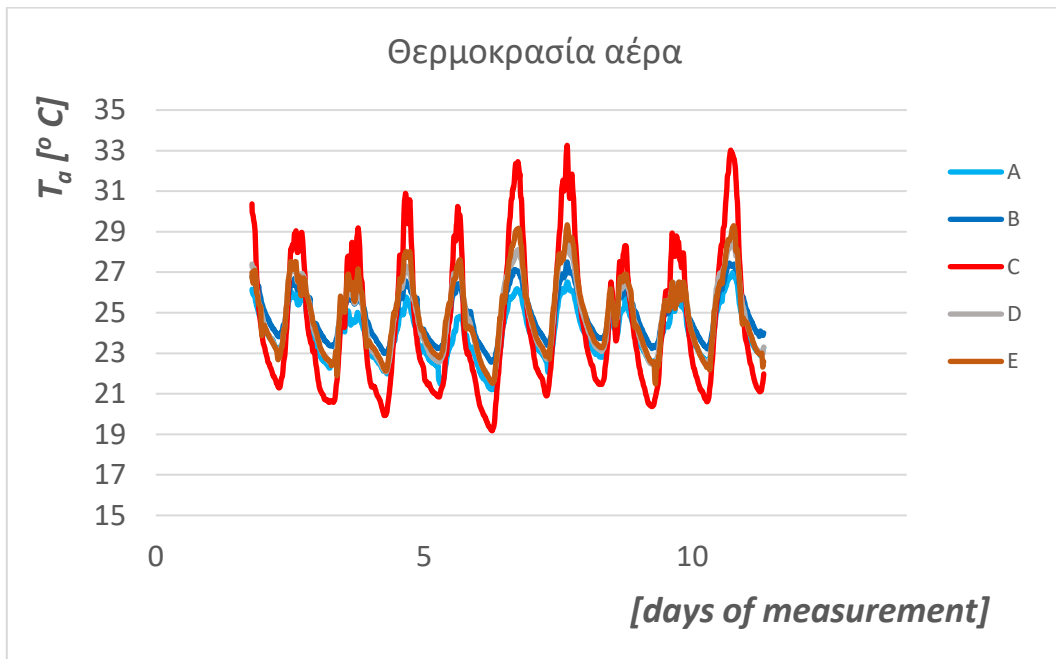


Σχήμα 4.9.β : Θερμοκρασία αέρα και ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων

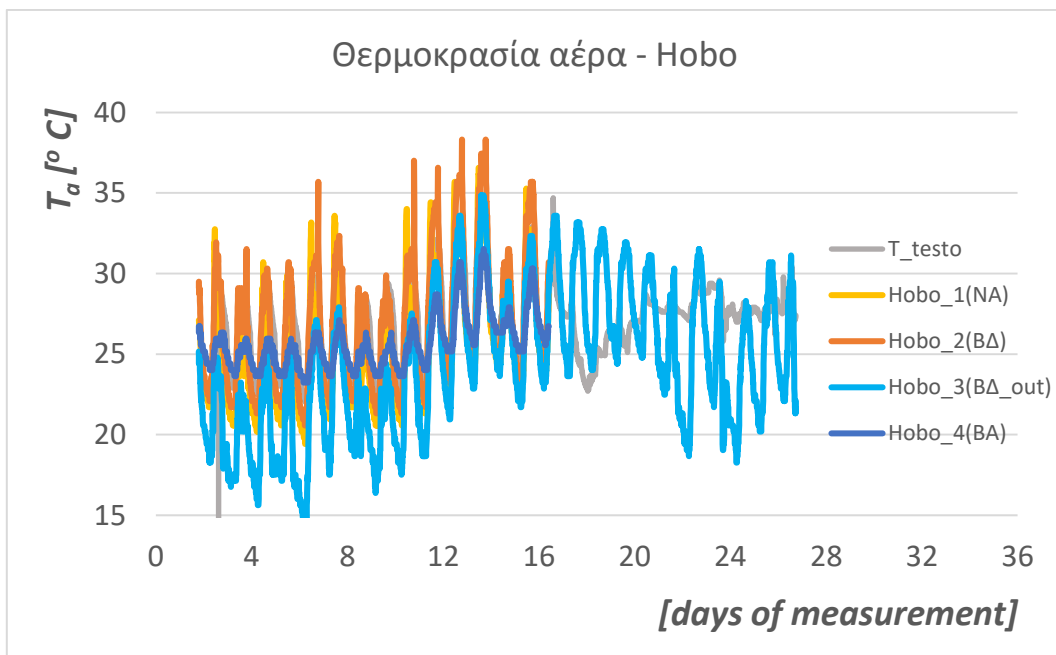
4.9.2 Θερμοκρασία αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.6, τα αισθητήρια είναι τοποθετημένα στην Νότια πλευρά του κολυμβητηρίου (C, E), σε κεντρική θέση (D) και στη Βόρεια πλευρά (A,B), αυτά τα αισθητήρια μετράνε θερμοκρασία, σχετική υγρασία και την συγκέντρωση του CO₂.

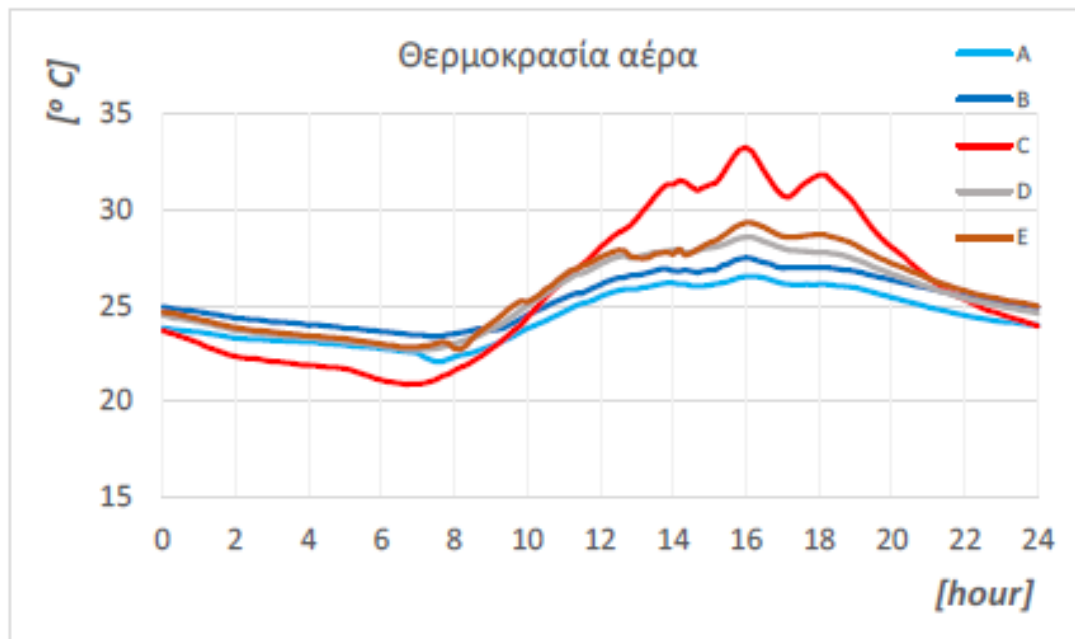
Στα ακόλουθα Σχήματα 4.10.α και 4.10.β παρουσιάζεται η θερμοκρασία του αέρα στις διαφορετικές θέσεις για το σύνολο των μετρήσεων (Σχήμα 4.10.α) αλλά και σε μία τυπική ημέρα (Σχήμα 4.10.β) της περιόδου μέτρησης.



Σχέδιο 4.10.α: Θερμοκρασία αέρα σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων Hobo A,B,C,D,E



Σχέδιο 4.10.β: Θερμοκρασία αέρα σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων Hobo 1,2,3,4 και testo

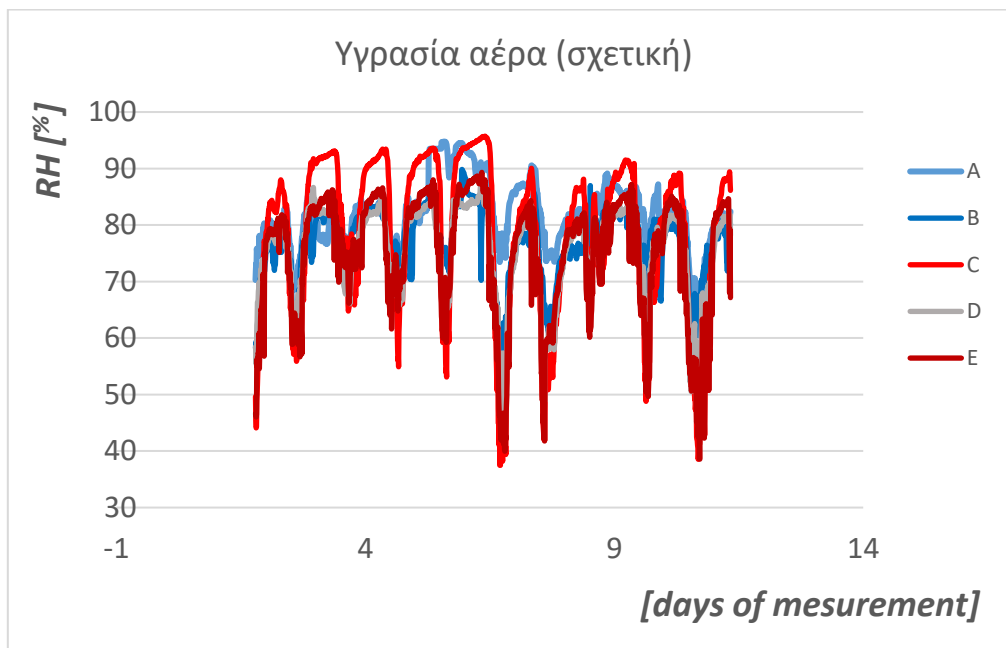


Σχήμα 4.10.β. : Θερμοκρασία αέρα σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για μία τυπική ημέρα (ημέρα 7)

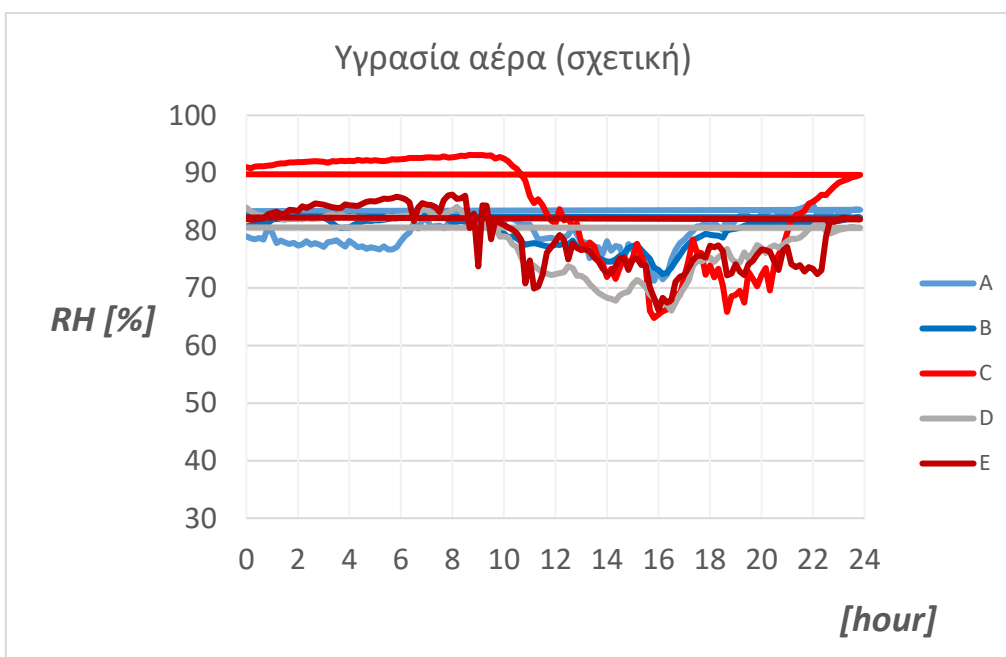
Από τα παραπάνω διαγράμματα εύκολα παρατηρεί κανείς πως η θερμοκρασία εντός του χώρου είναι ομοιογενής, με υψηλότερες τιμές στη Νότια πλευρά. Αυτό οφείλεται στην επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο σχετικό αισθητήριο, το οποίο είναι τοποθετημένο ακριβώς στο Νότιο τοίχο. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές είναι υψηλές και πέραν των ορίων θερμικής άνεσης ($>26^{\circ}\text{C}$) για την περίοδο ημερήσιας λειτουργίας.

4.9.3 Υγρασία αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος

Στα ακόλουθα Σχήματα (4.11.α, 4.11.β) παρουσιάζεται η σχετική υγρασία του αέρα στις διαφορετικές θέσεις για το σύνολο των μετρήσεων (Σχήμα 4.11.α) αλλά και σε μία τυπική ημέρα (Σχήμα 4.11.β) της περιόδου μέτρησης.



Σχήμα 4.11.α: Υγρασία αέρα (σχετική) σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων



Σχήμα 4.11.β: Υγρασία αέρα (σχετική) σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για μία τυπική ημέρα (ημέρα 3)

Αντίστοιχα στα Σχήματα 4.12.α και 4.12.β παρουσιάζεται η ειδική υγρασία του αέρα στις διάφορες θέσεις, για σημαντικό τμήμα της περιόδου των μετρήσεων (Σχήμα 4.12.α) αλλά και σε μία τυπική ημέρα (Σχήμα 4.12.β) της περιόδου μέτρησης.

Κάπου εδώ, αξίζει να σημειωθεί ότι οι αισθητήρες μετρούν την σχετική υγρασία (φ) της ατμόσφαιρας. Για τον υπολογισμό της ειδικής (απόλυτης) υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι τύποι.

Αρχικά, υπολογίστηκε η μερική πίεση στην οποία ο υδρατμός συμπυκνώνεται P_s [bar].

$$\log_{10} P_s = 4.6543 - \frac{1435.3}{T - 64.85} \quad (4.13)$$

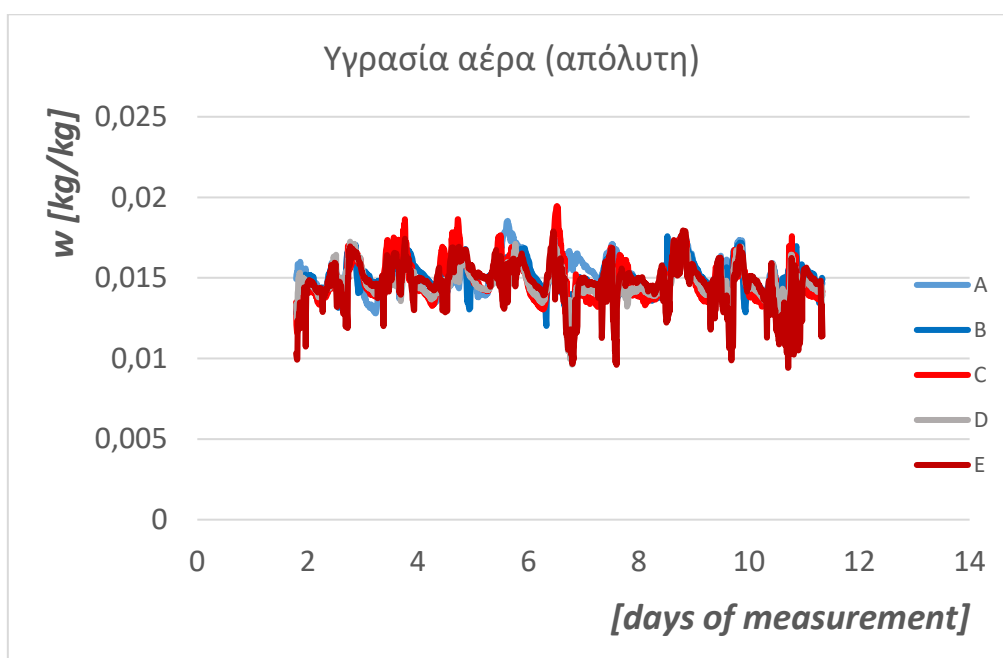
Όπου, T η θερμοκρασία του χώρου μετρημένη σε Κ.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο λόγος υγρασία W [$\frac{kg_w}{kg_{da}}$], δηλαδή η μάζα νερού προς την

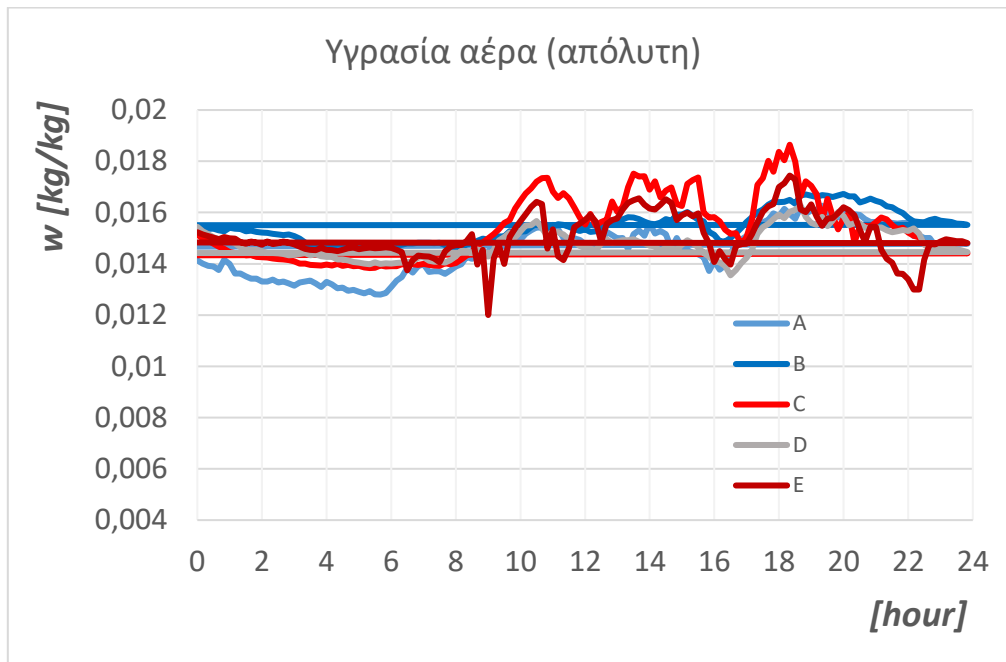
μάζα ξηρού αέρα.

$$W = 0.6219 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s} \quad (4.14)$$

Όπου P η ατμοσφαιρική πίεση ($P_{atm}=1,01293$ bar)



Σχήμα 4.12.α: Υγρασία αέρα (απόλυτη) σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου κατά την περίοδο των μετρήσεων

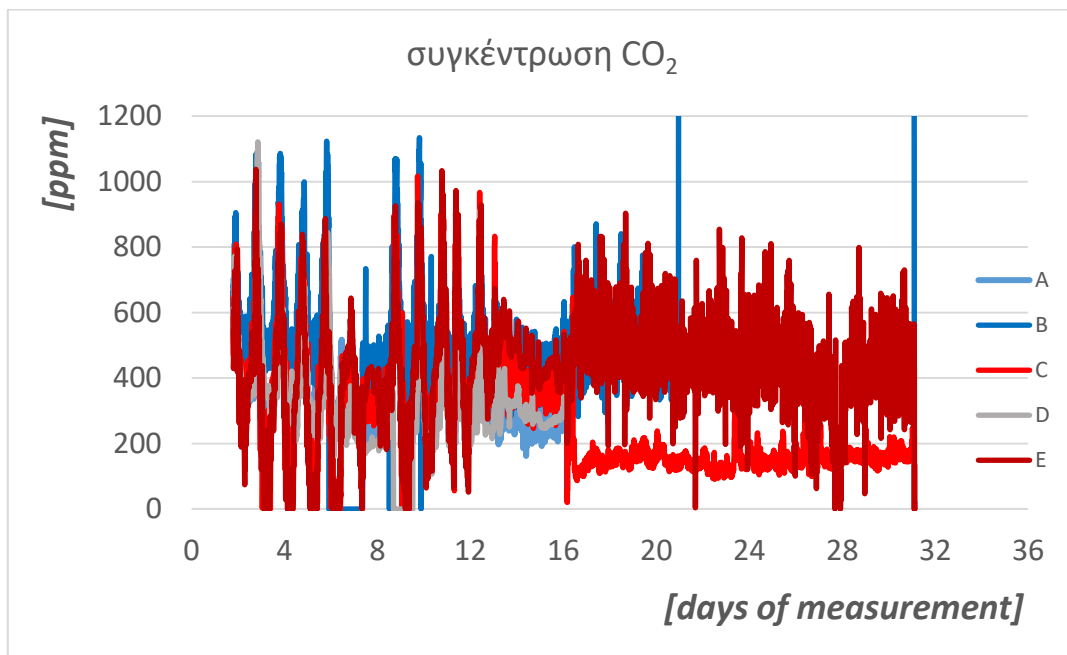


Σχήμα 4.12.β: Υγρασία αέρα (απόλυτη) σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για μία τυπική ημέρα (ημέρα 3)

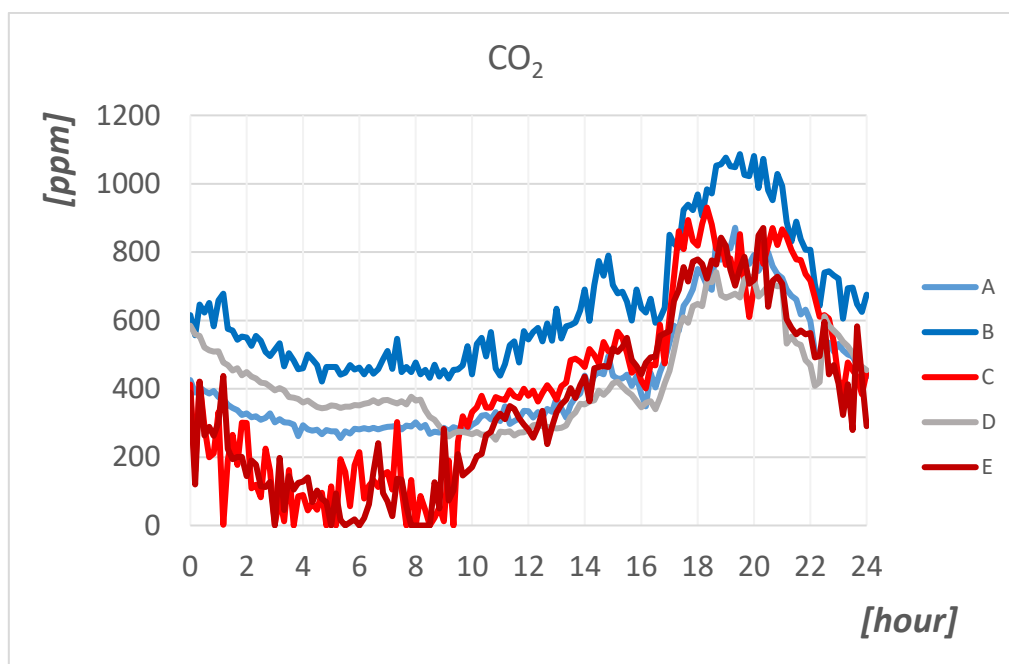
Είναι προφανές ότι η διαφορά στη σχετική υγρασία του αισθητήριου οργάνου C και των υπόλοιπων οφείλεται περισσότερο στην ελαφρώς διαφορετική ένδειξη των αισθητηρίων θερμοκρασίας, παρά στο μέγεθος υγρασίας αυτό καθαυτό. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές της υγρασίας είναι εξαιρετικά υψηλές, συντείνοντας σε αίσθημα θερμικής δυσφορίας για τους χρήστες.

4.9.4 Συγκέντρωση CO₂

Στα σήματα 4.13.α και 4.13.β παρουσιάζεται η συγκέντρωση CO₂ σε διαφορετικές θέσεις του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων και για μία τυπική ημέρα αντίστοιχα.



Σχήμα 4.13.α: Συγκέντρωση CO_2 σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων



Σχήμα 4.13.β: Συγκέντρωση CO_2 σε διάφορες θέσεις του κολυμβητηρίου για μία τυπική ημέρα (ημέρα 3)

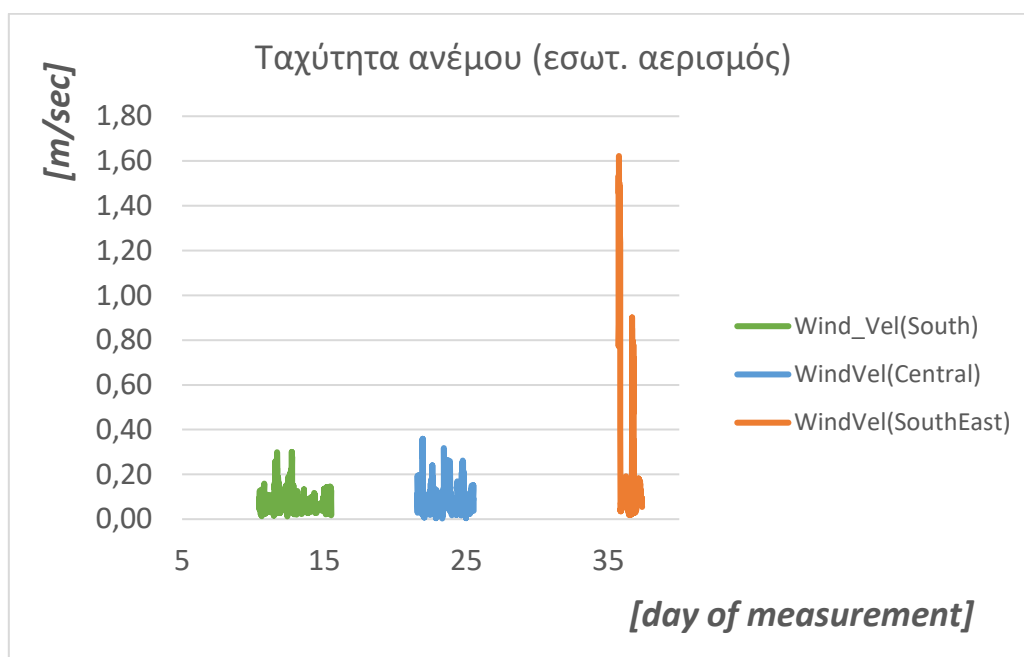
Σύμφωνα με τις μετρήσεις, η συγκέντρωση CO_2 εμφανίζει αύξουσα τάση από τις 10:00. έως τις 22:00, ώρες κατά τις οποίες το κολυμβητήριο είναι σε λειτουργία. Στη συνέχεια εμφανίζει τιμές της τάξης της συγκέντρωσης CO_2 του ατμοσφαιρικού αέρα (≈ 400 ppm).

Η αύξουσα τάση, ειδικά μετά τις 16:00 δικαιολογείται και από το φόρτο παρουσίας ατόμων κατά τη λειτουργία του κολυμβητηρίου, ο οποίο είναι ιδιαίτερα αυξημένος την περίοδο 16:00 – 20:30 όπως παρουσιάστηκε και στον Πίνακα 3.5.α.

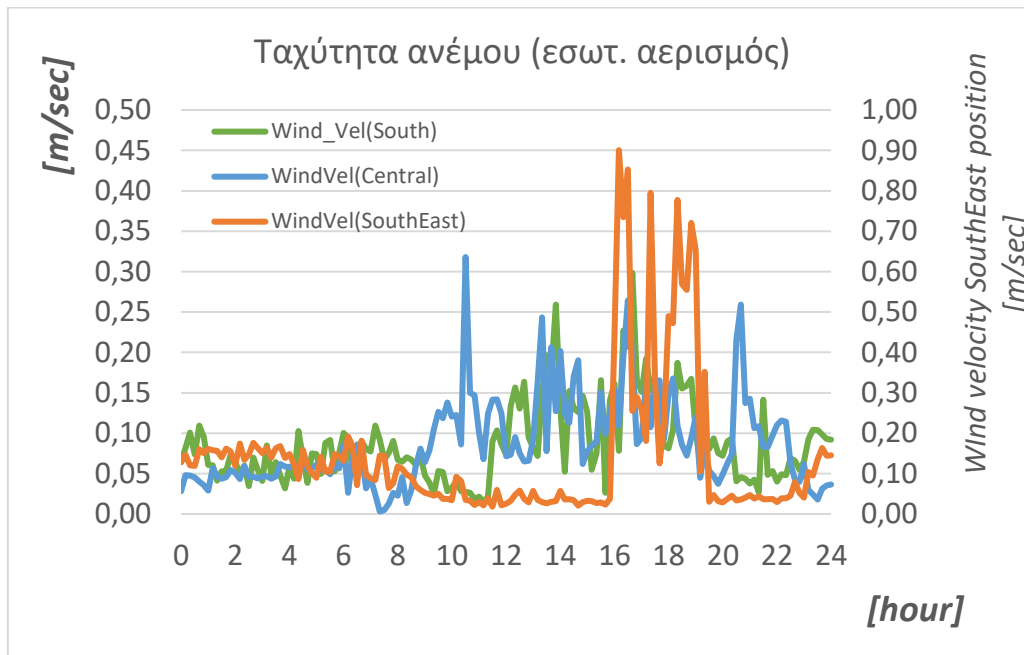
Η συγκέντρωση του CO₂ δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη διαφοροποίηση όσον αφορά την κατανομή της στο χώρο. Παρατηρούνται κάποιες αυξημένες τιμές στο αισθητήριο στους χώρους προς την Βόρεια πλευρά, όπου λαμβάνει χώρα αυξημένη συνάθροιση ανθρώπων σε συνδυασμό με μειωμένο αερισμό.

4.9.5 3D Ανεμόμετρο

Στο Σχήμα 4.14.α παρουσιάζεται το μέτρο της ταχύτητας του αέρα στις τρεις διαφορετικές θέσεις που τοποθετήθηκε το ανεμόμετρο (N πλευρά, κεντρικά και ΝΑ πλευρά) για όλη την περίοδο των μετρήσεων, ενώ στο Σχήμα 4.14.β. αναλύεται το εν λόγω μέγεθος σε επίπεδο τυπικής ημέρας.



Σχέδιο 4.14.α: Μέτρο ταχύτητας 3D Ανεμόμετρου στις τρεις θέσεις του κολυμβητηρίου για όλη την περίοδο των μετρήσεων

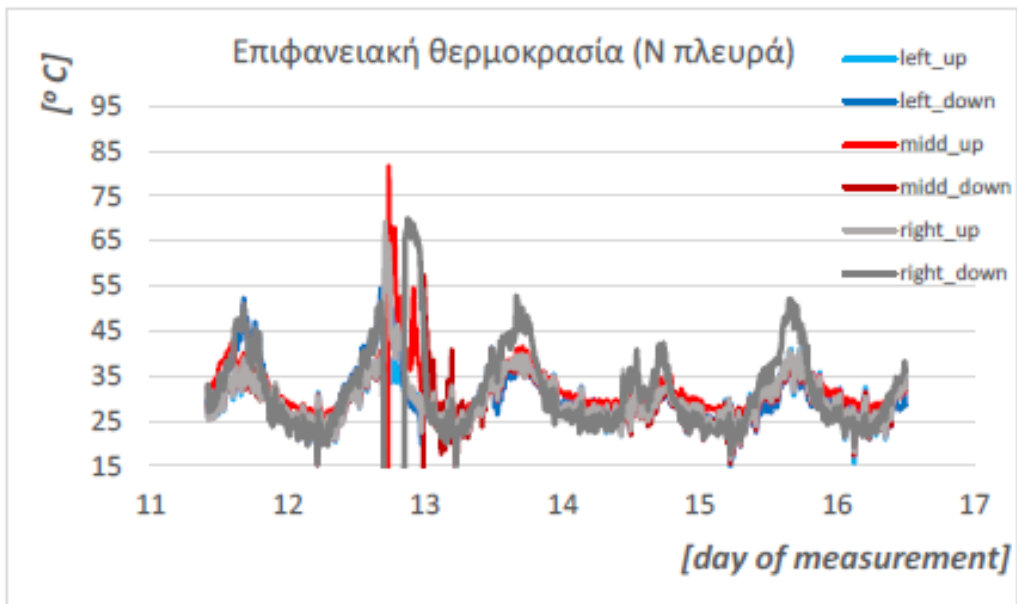


Σχέδιο 4.14.β: Μέτρο ταχύτητας 3D Ανεμόμετρου στις τρεις θέσεις του κολυμβητηρίου σε μία τυπική ημέρα

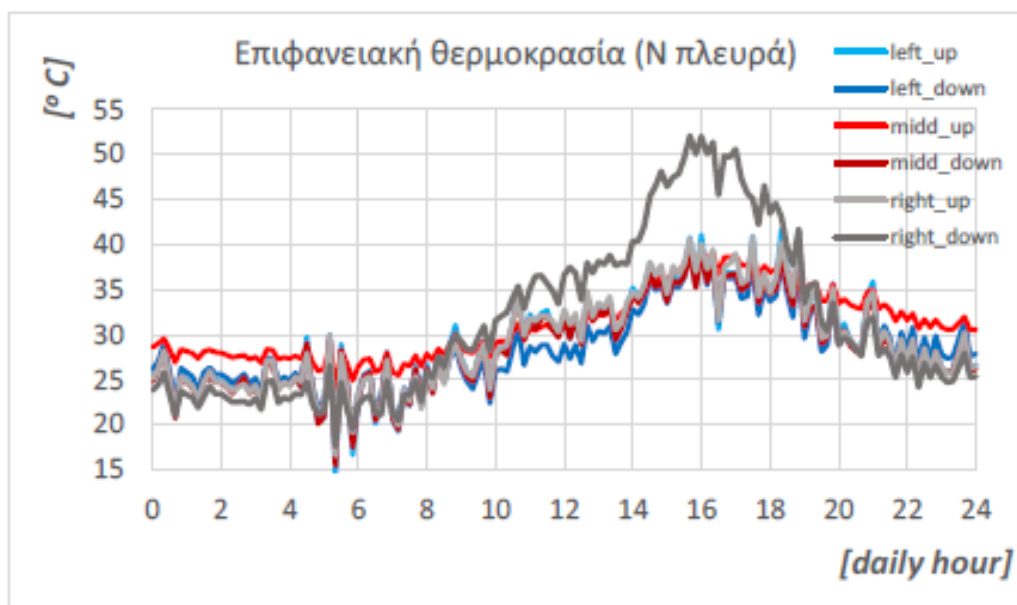
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η ΝΑ θέση εμφανίζει υψηλές τιμές, σε σχέση με τις υπόλοιπες. Παράλληλα, η ταχύτητα του αέρα εντός του κτιρίου παρουσιάζει αυξημένες τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας, οπότε και λειτουργεί το κολυμβητήριο. Αυτό οφείλεται στις υψηλές τιμές υγρασίας και CO₂ καθώς οδηγούν το προσωπικό του κολυμβητηρίου στη λύση του φυσικού αερισμού μέσω του ανοίγματος των κουφωμάτων.

4.9.6 Επιφανειακά θερμομέτρα

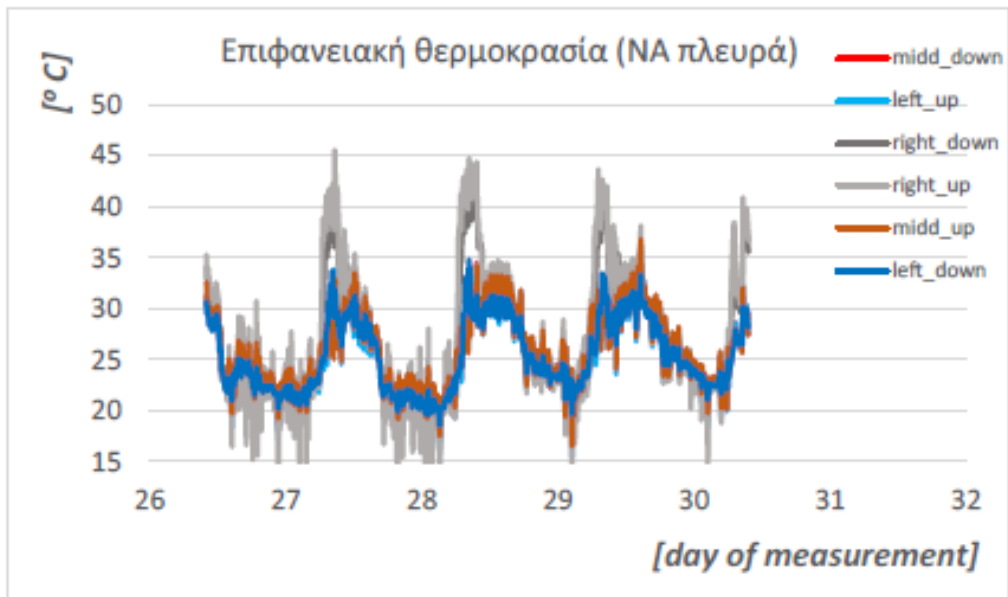
Στα Σχήματα 4.15.α και 4.15.β παρουσιάζονται οι τιμές των επιφανειακών θερμομέτρων στην Ν πλευρά για όλη την περίοδο μέτρησης και για μία τυπική ημέρα αντίστοιχα. Τα Σχήματα 4.16.α και 4.16.β αναφέρονται στα ίδια μεγέθη για τη ΝΑ πλευρά. Παράλληλα στο Σχήμα 4.17 γίνεται σύγκριση των τιμών για τις δύο πλευρές. Η τιμή της κάθε πλευράς υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τιμών των 6 αισθητηρίων.



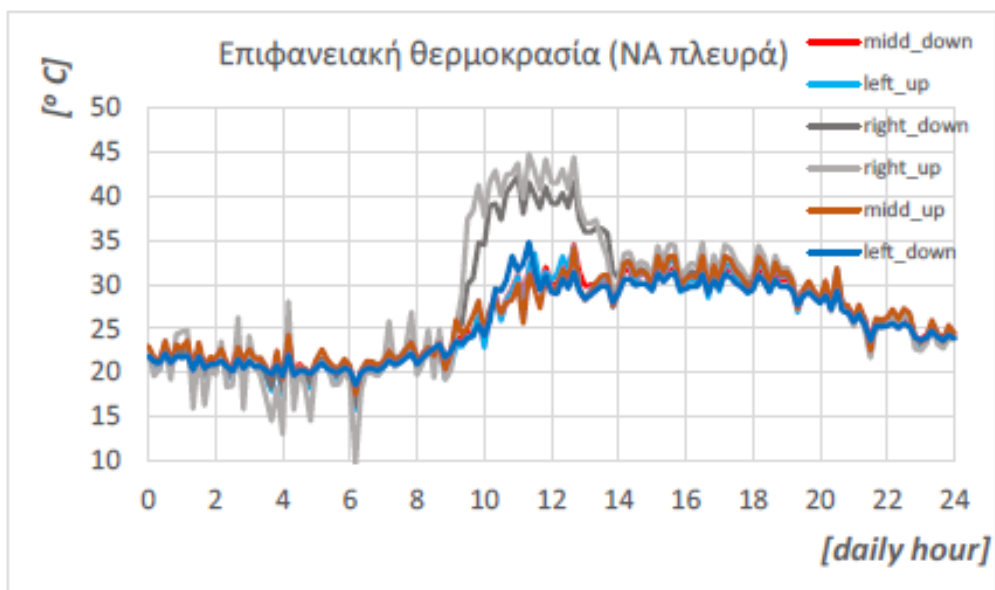
Σχήμα 4.15.α: Επιφανειακή θερμοκρασία σε διάφορες θέσεις της Ν πλευράς του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων



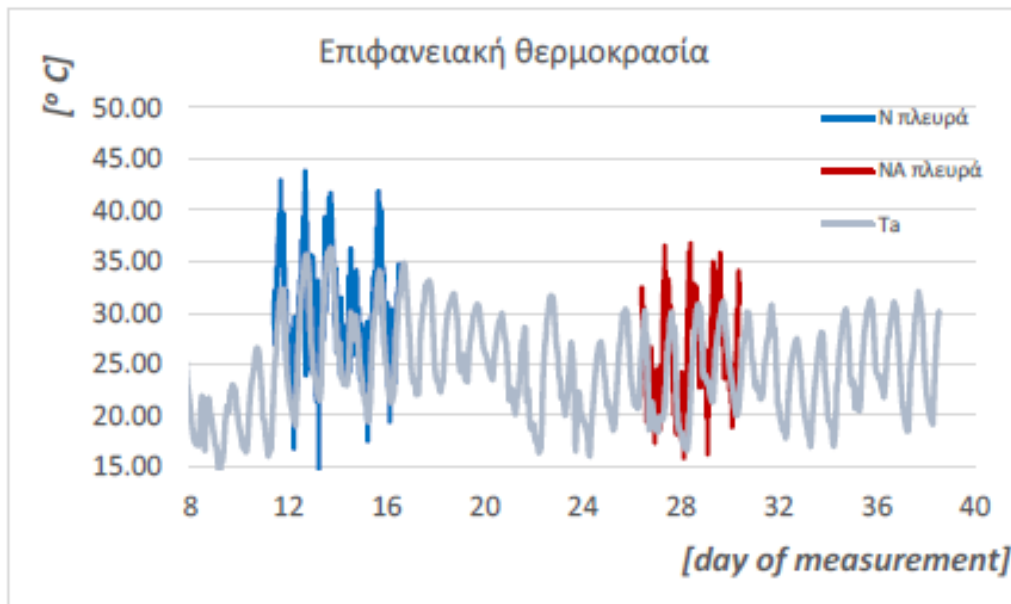
Σχήμα 4.15.β: Επιφανειακή θερμοκρασία σε διάφορες θέσεις της Ν πλευράς του κολυμβητηρίου για μία τυπική ημέρα



Σχήμα 4.16.α: Επιφανειακή θερμοκρασία σε διάφορες θέσεις της NA πλευράς του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων



Σχήμα 4.16.β: Επιφανειακή θερμοκρασία σε διάφορες θέσεις της NA πλευράς του κολυμβητηρίου για μία τυπική ημέρα



Σχήμα 4.17: Επιφανειακή θερμοκρασία στις θέσεις της Ν και ΝΑ πλευράς του κολυμβητηρίου για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων και θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_a)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι τιμές της Ν πλευράς εμφανίζονται σχετικά υψηλότερες της ΝΑ πλευράς. Αν συνυπολογιστεί και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η παρατηρούμενη διαφορά συσχετίζεται με αυτή. Το διάστημα που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στην Ν πλευρά, η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν σταθερά υψηλότερη από αυτή του διαστήματος που οι μετρήσεις έγιναν στην ΝΑ πλευρά.

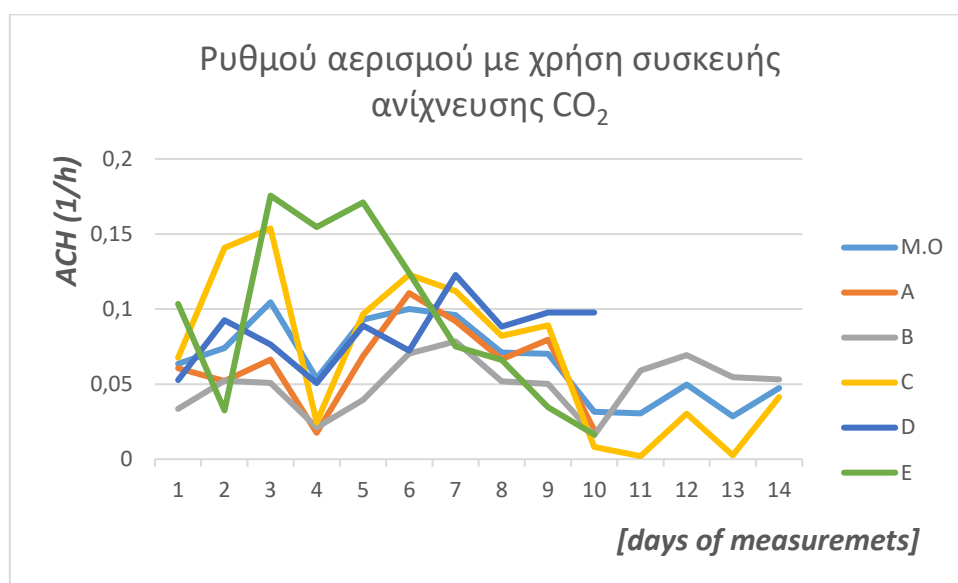
Όσον αφορά την κάθε πλευρά, παρατηρείται αύξουσα τάση κατά τη διάρκεια της ημέρα, σύμφωνη με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

4.9.7 Υπολογισμός αερισμού στο δημοτικό κολυμβητήριο Κοζάνης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο ρυθμός του αερισμού υπολογίστηκε με βάση την μέθοδο χρήσης συσκευής ανίχνευσης CO_2 , ενώ υπολογίστηκε και για τα διαστήματα μέγιστης προσέλευσης κόσμου με τη μέθοδο ανάλυσης ισορροπίας. Στην δεύτερη περίπτωση, το χρονικό διάστημα που μας ενδιέφερε για τον υπολογισμό του αερισμού είναι αυτό της λειτουργίας του Κολυμβητηρίου, δηλαδή το διάστημα 09:00 – 22:30 τις καθημερινές και 09:00 – 20:30 τα Σάββατα. Δεδομένου όμως του όγκου προσέλευσης κόσμου τις ώρες 16:00 – 20:30, δόθηκε μεγαλύτερη προσοχή σε αυτό το διάστημα.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο κεφάλαιο αυτό, η μέθοδος εκτίμησης του αερισμού με χρήση συσκευή ανίχνευσης διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιεί τις τιμές του διοξειδίου του άνθρακα μόλις το κτίριο αδειάζει και λίγο πριν ξεκινήσει ξανά η λειτουργία του (Kalimeri et al., 2016). Στο κολυμβητήριο της Κοζάνης, η μέγιστη προσέλευση κόσμου παρατηρείται κατά το χρονικό διάστημα 16:00 – 20:30. Η λειτουργία του όμως σταματά στις 22:30. Επομένως, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα αρχίζει φθίνουσα πορεία νωρίτερα από τη στιγμή που το κτίριο αδειάζει. Επομένως, έγινε χρήση της μεθόδου αυτή από το σημείο με το μέγιστο CO_2 (στο διάστημα 20:30-22:30) μέχρι το ελάχιστο (πρώι επόμενης ημέρας).

Στο Σχήματα 4.17 παρουσιάζεται ο υπολογιζόμενος ρυθμός αερισμού με χρήση συσκευής ανίχνευσης διοξειδίου του άνθρακα.

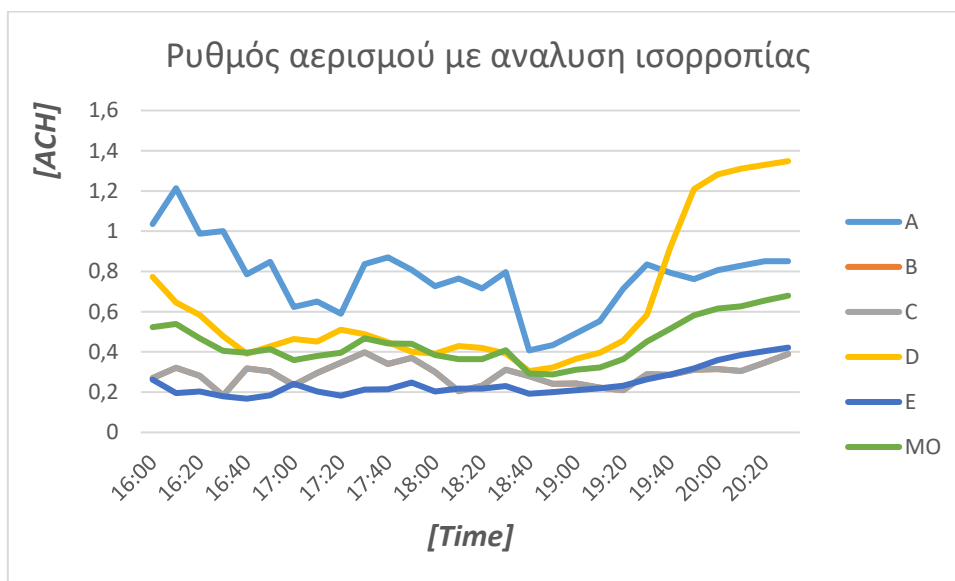


Σχήμα 4.17.α: Εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση συσκευής ανίχνευσης CO₂

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι όλες οι καμπύλες ακολουθούν μία πτωτική πορεία. Αυτό εν μέρη οφείλεται στα μετεωρολογικά στοιχεία όπως θα αναλυθεί και στο επόμενο κεφάλαιο. Το αισθητήριο E φαίνεται να παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές. Πράγμα πολύ λογικό δεδομένης της θέσης του στην N πλευρά πάνω από ανοίγματα που καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας συχνά τα άνοιγαν το προσωπικό του κολυμβητηρίου. Όμοια, και για το αισθητήριο C.

Αξίζει να σημειωθεί ότι την δέκατη ημέρα (21 Ιουνίου) τα αισθητήρια A και D απομακρύνθηκαν από τον χώρο του κολυμβητηρίου ενώ το E τοποθετήθηκε στον εξωτερικό χώρο πλησίον του κολυμβητηρίου. Το αισθητήριο C ξεκίνησε να μετρά συστηματικά χαμηλές τιμές διοξειδίου του άνθρακα. Επομένως το πιο αξιόπιστο για το τελευταίο διάστημα ήταν το αισθητήριο B.

Όσον αφορά την μέθοδο εκτίμησης ρυθμού αερισμού με ανάλυση ισορροπίας κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της για μία συγκεκριμένη ημέρα. Στο Σχήμα 4.17.β παρουσιάζεται ο ρυθμός μεταβολής του αερισμού για χρονικά διαστήματα των 10 λεπτών την ημέρα 15 Ιουνίου (ημέρα 10) και για το χρονικό διάστημα 16:00-20:30. Η μέθοδος αυτή υπολόγιζε τα λίτρα αέρα που εισέρχονται στο κτίριο ανά λεπτό (L/s), επομένως χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί μετατροπή των μονάδων προκειμένου να υπολογίζονται οι αλλαγές του αέρα ανά ώρα (ACH).



Σχήμα 4.17.β: Εκτίμηση ρυθμού αερισμού με χρήση μεθόδου ανάλυσης ισορροπίας

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω γράφημα, όλες οι καμπύλες έχουν μία αυξητική τάση. Επομένως, είναι φανερό ότι λόγω της μεγάλης συνάθροισης του κόσμου σε αυτό το διάστημα το βοηθητικό προσωπικό του κολυμβητηρίου μάλλον επέλεξε να ανοίξει κάποιες πόρτες ή παράθυρα. Συγκεκριμένα για τον αισθητήρα A, δίνει ένδειξη για μεγαλύτερο ρυθμό αερισμού από τους υπόλοιπους. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο άνοιγμα της πόρτας πλησίον του αισθητήρα καθ' όλη τη διάρκεια.

Από τα δύο γραφήματα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η πρώτη μέθοδος δίνει χαμηλότερο ρυθμό αερισμού από την δεύτερη. Λογική εξήγηση αυτού του συμπεράσματος αποτελεί το γεγονός ότι η πρώτη μέθοδος αναφέρεται σε εικοσιτετράωρο αερισμό, δηλαδή και τα διαστήματα που σταματά η λειτουργία του κολυμβητηρίου. Σε αυτά τα διαστήματα όλα τα κουφώματα του κολυμβητηρίου παραμένουν κλειστά. Αντίθετα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του το προσωπικό ανοίγει κάποια όταν θεωρείται σκόπιμο (αυξημένη θερμοκρασία και προσέλευση κόσμου).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η διαφορά στις δύο μεθόδους έγκειται στο γεγονός ότι η μέθοδος εκτίμησης αερισμού με χρήση συσκευή διοξειδίου του άνθρακα εκτιμά τον ρυθμό του αερισμού για μία ημέρα, ενώ η μέθοδος ανάλυσης ισορροπίας για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο επιλέγουμε.

Κεφάλαιο 5. Υπολογιστικός προσδιορισμός επιπέδου αερισμού

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε και υπολογιστικός προσδιορισμός επιπέδου αερισμού, με σκοπό τη σύγκριση με τα αποτελέσματα του πειραματικού. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Comis (<http://www-epb.lbl.gov/comis>).

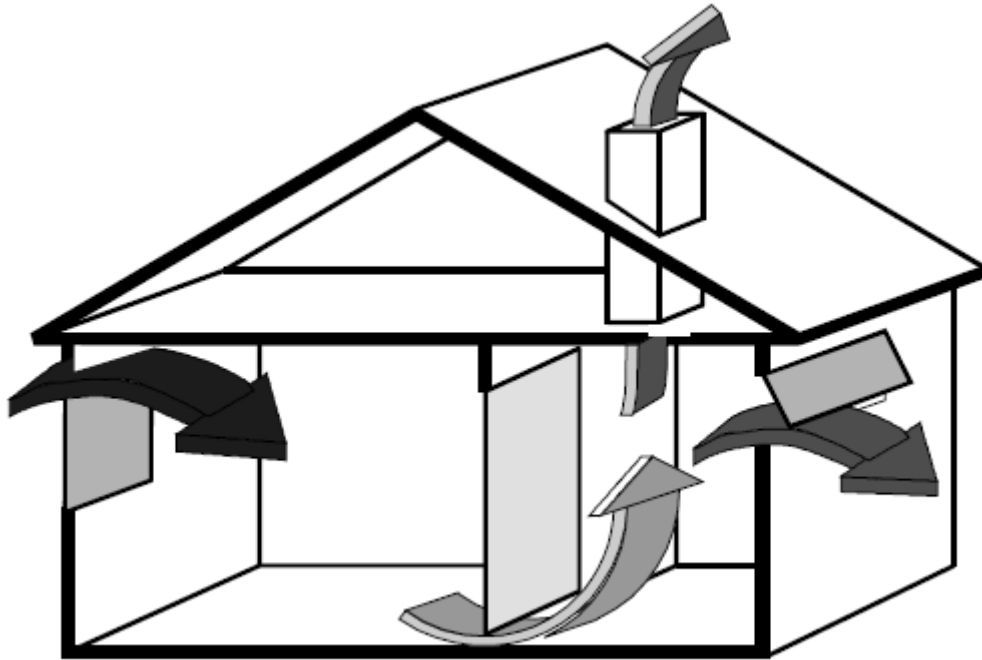
Το λογισμικό Comis είναι δυνατόν να υπολογίσει, στη βάση ημι-εμπειρικών σχέσεων, το ρυθμό αερισμού των διάφορων χώρων, τις μεταξύ τους ροές αέρα αλλά και τον αέρα που περνάει από κάθε άνοιγμα των κουφωμάτων σε χρονικό βήμα που καθορίζεται από τον χρήστη (*Ren, et al., 2008*). Στην προσομοίωση χρησιμοποιούνται ως δεδομένα τα ακόλουθα:

- Χαρακτηριστικά του κτιρίου
 - Γεωμετρία του κάθε χώρου (κύριος χώρος πισίνας, γραφεία, αποδυτήρια)
 - Χαρακτηριστικά από τις πόρτες και τα παράθυρα
- Φυσικοί παράμετροι
 - Εσωτερικοί φυσικοί παράμετροι (θερμοκρασία, υγρασία)
 - Μετεωρολογικά δεδομένα (ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση, θερμοκρασία, υγρασία, Βαρομετρική πίεση)

5.1. Λειτουργία Comis

Τα μοντέλα αερισμού μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες, στα μονοζωνικά και πολυζωνικά. Με τον όρο μονοζωνικά εννοούμε τα κτίρια τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ότι αποτελούνται μόνο από έναν χώρο στον οποίο ο αέρα που περιέχεται είναι ομοιογενής. Τα περισσότερα κτίρια όμως, αποτελούνται από περισσότερους από έναν χώρους οι οποίοι μπορεί να έχουν διαφορές είτε στη θερμοκρασία και στην υγρασία, είτε στην πίεση.

Σε αυτές τις περιπτώσεις τα κτίρια αυτά περιγράφονται με τη χρήση περισσότερων ζωνών, οι οποίοι αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους μέσω συνδέσεων. Η κάθε ζώνη αποτελεί έναν χώρο με ομοιόμορφες συνθήκες πίεσης, εντός ή εκτός του κτιρίου, ενώ η αλληλεπίδραση που έχει με τις υπόλοιπες ζώνες ευθύνεται για την μεταφορά του αέρα (αερισμός). Αυτά τα μοντέλα συνήθως χρησιμοποιούν την αρχή διατήρησης της μάζας. Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται ένα πολύ απλό παράδειγμα πολυζωνικού χώρου.



Σχήμα 5.1: Παράδειγμα πολυζωνικού κτιρίου

Ένα από τα σύγχρονα προγράμματα που αναπτύχθηκαν για τον υπολογισμό του αερισμού σε πολυζωνικά κτίρια είναι το Comis. Αυτό το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσομοιωθεί η κίνηση του ρευστού (αέρα) διαμέσου μικρών και μεγάλων ανοιγμάτων αλλά και συστημάτων εξαναγκασμένου αερισμού.

Το κτίριο αντιμετωπίζεται με την λογική των κόμβων. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται ότι ο κάθε χώρος (ζώνη) είναι ένας κόμβος με ομοιογένεια ως προς την θερμοκρασία, υγρασία και συγκέντρωση ουσιών. Οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους με ανοίγματα, σωλήνες, πόρτες και παράθυρα. Η επίδραση της πίεσης, που σχετίζεται με την ταχύτητα του ανέμου που χτυπά το κτίριο, προσδιορίζει τους εξωτερικούς κόμβους.

Η μεταφορά του αέρα σε κτίριο γίνεται από τον ένα χώρο στον άλλο με βάση τη διαφορά της πίεσης. Για τα κτίρια που είναι παθητικά, δηλαδή που δεν έχουν κάποιο σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού, αυτή η διαφορά δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta p = p_{\text{από}} - p_{\text{προς}} \quad (5.1)$$

Αντίθετα, για τα κτίρια που έχουν κάποιο σύστημα εξαερισμού ο αέρας κατευθύνεται σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που θα είχε κανονικά. Έτσι η διαφορά πίεσης που χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα είναι:

$$\Delta p = p_{\text{προς}} - p_{\text{απο}} \quad (5.2)$$

Στην περίπτωση του Δημοτικού κολυμβητηρίου της Κοζάνης, δεν υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα μηχανικού αερισμού. Επομένως, οι ροές οι οποίες υπολογίζονται είναι αυτές ακριβώς που υπάρχουν χωρίς εξωτερική παρέμβαση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πίεση που χρησιμοποιεί το Comis είναι η πίεση αναφοράς στο σημείο αναφοράς του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση μειώνεται κατά 12 Pa ανά μέτρο ύψους, όπως και στην πραγματικότητα.

5.2. Επιλογή C_p

Για τον υπολογισμό της μεταφοράς του αέρα διαμέσου των δομικών στοιχείων ενός κτιρίου, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την διαφορά της πίεσης στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτιρίου. Αυτό εν μέρει καθορίζεται από την ροή του ανέμου πάνω στο κτίριο., έτσι πρέπει να καθοριστεί η επίδραση του ανέμου στο κέλυφος του κτιρίου.

Ακόμη και σε μικρή κλίμακα, ο ατμοσφαιρικός άνεμος είναι τυρβώδης στην φύση. Οποιαδήποτε τραχιά επιφάνεια ή προεξοχή που παρεμβαίνει την ροή του έχει ως αποτέλεσμα να προκαλέσει δίνες ή και διαχωρισμό της ροής. Αυτή η δίνη μπορεί να έχει σαν συνέπεια την ταχεία αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, ακόμη και αναστροφή της πορείας του (Moeseke, 2005).

Η κύρια πίεση της επιφάνειας \bar{P} , η οποία δημιουργείται στο κτίριο λόγω του ανέμου, μπορεί να θεωρηθεί ως γραμμικός συνδυασμός από δύο σχετικές πιέσεις, μίας στατικής και μίας δυναμικής. (Orme, et al., 1998) Ως στατική πίεση αναφοράς συνήθως χρησιμοποιούμε την τοπική ατμοσφαιρική πίεση P_{am} της ελεύθερης ροής, πάνω από το οριακό στρώμα της τοποθεσίας του κτιρίου. Η δυναμική πίεση αναφοράς συνήθως ισούται με την πίεση P_r σύμφωνα με τον άνεμο, στο ίδιο ύψος με το κτίριο, γ:

$$P_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2 \quad (5.3)$$

Όπου,

P_r = η πίεση σύμφωνα με τον άνεμο (Pa)

v_r = η κύρια ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του κτιρίου ($\frac{m}{s}$)

ρ = η πυκνότητα του ανέμου ($\frac{kg}{m^3}$)

Με την παραδοχή ότι η τοπική ατμοσφαιρική πίεση παραμένει σταθερή:

$$\bar{P} = P_{am} + C_{\bar{P}} P_r \quad (5.4)$$

Με αντικατάσταση του P_r :

$$\bar{P} = P_{am} + C_{\bar{P}} \frac{1}{2} \rho v_r^2 \quad (5.5)$$

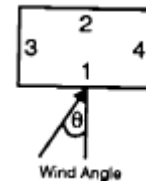
Όπου οι τιμές του αδιάστατου συντελεστή $C_{\bar{P}}$ μπορούν να καθοριστούν για διαφορετικά σημεία του κτιρίου. Έχω δηλαδή:

$$C_{\bar{p}} = \frac{\bar{P} - P_{atm}}{\frac{1}{2} \rho v_r^2} \quad (5.6)$$

Οι τιμές του $C_{\bar{p}}$ ισχύουν μόνο για συγκεκριμένες γωνίες ανέμου, οι οποίες εκφράζονται σε σχέση με την κατεύθυνση του κτιρίου. Επίσης, διαφέρουν ανάλογα με το τι περιβάλλει το κτίριο που εξετάζουμε.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πίεση που υπάρχει σε κάποια πλευρά του κτιρίου δεν επηρεάζεται από το $C_{\bar{p}}$ αλλά από την ταχύτητα του ανέμου που χτυπά την συγκεκριμένη πλευρά, στο συγκεκριμένο ύψος. Αυτό συμβαίνει γιατί η πίεση αυξάνεται όχι γραμμικά αλλά ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας.

Για τις ανάγκες τις παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το $C_{\bar{p}}$ από 8 γωνίες ανέμου σύμφωνα με το (Orme, et al., 1994). Επιλέχθηκε το ορθογώνιο κτίριο με χαμηλά εμπόδια γύρω του με ταχύτητα μετρημένη στο ύψος του Κολυμβητηρίου. Οι τιμές που επιλέχθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 5.1.



Πίνακας 5.1: Τιμές $C_{\bar{p}}$ για τις διάφορες γωνίες

	Γωνία Ανέμου							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Πλευρά 1	0,5	0,25	-0,5	-0,8	-0,7	-0,8	-0,5	0,25
Πλευρά 2	-0,7	-0,8	-0,5	0,25	0,5	0,25	-0,5	-0,8
Πλευρά 3	-0,9	0,2	0,6	0,2	-0,9	-0,6	-0,35	-0,6
Πλευρά 4	-0,9	-0,6	-0,35	-0,6	-0,9	0,2	0,6	0,2

5.3. Χαρακτηριστικά του κτιρίου

Τα χαρακτηριστικά του Κολυμβητηρίου που χρειάστηκε να καθοριστούν μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Σε αυτά της περιγραφής των ζωνών και στην περιγραφή των δομικών στοιχείων που λειτουργήσαν σαν δίοδοι της μεταφοράς του ανέμου.

Στο Comis, όμως ζητείται να καθοριστούν και άλλα χαρακτηριστικά του κτιρίου όπως αυτά φαίνονται στο Σχήμα 5.2. Ζητείται το υψόμετρο, το ύψος και οι συντεταγμένες του κτιρίου. Η Γωνία που έχει επιλεγεί ως 30° είναι η γωνία του άξονα του κτιρίου μετρημένη δεξιόστροφα από τον Βορά.

General Information X

General | Options | Control | Pollutant | **Building** | Meteo | Output | Schedules/Layers/Occupants

Building characteristic

Height	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="m"/>	<input type="button" value="More"/>
Altitude	<input type="text" value="710"/>	<input type="text" value="m"/>	<input type="button" value="More"/>
Angle	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="degrees"/>	<input type="button" value="More"/>

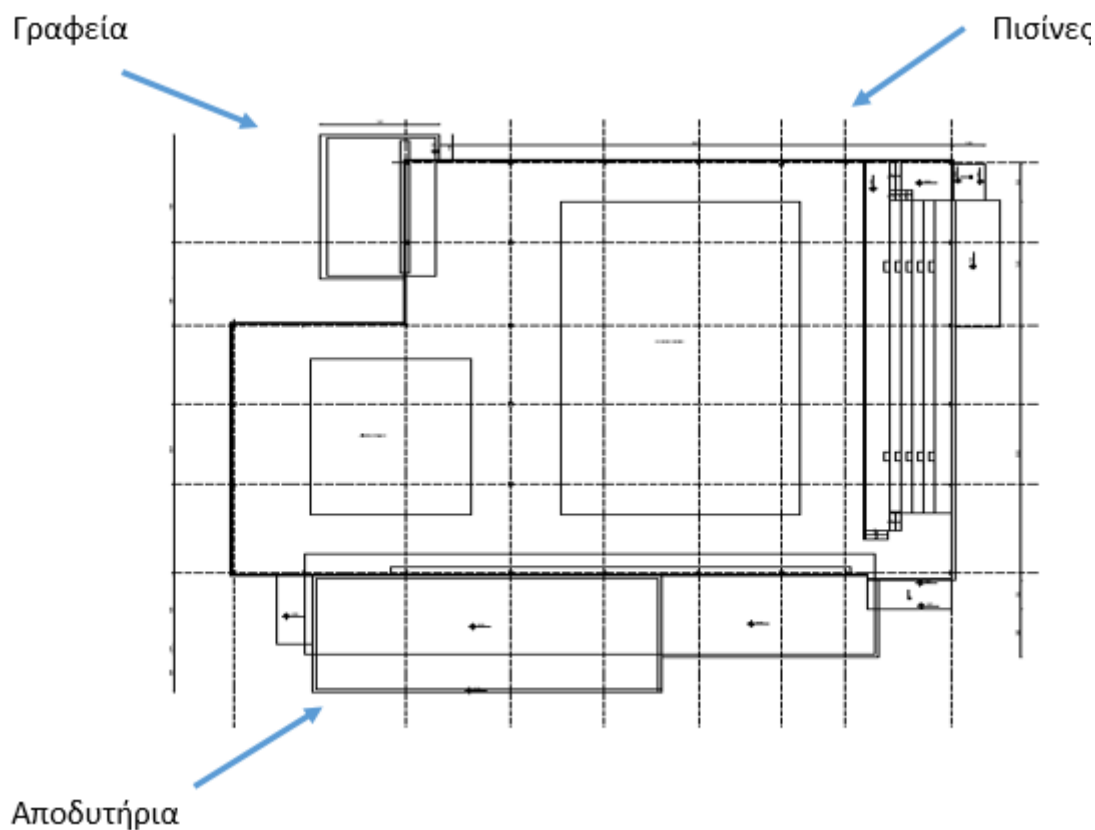
Geographic position

Latitude	<input type="text" value="40.182"/>	<input type="text" value="degrees"/>	<input type="button" value="More"/>
Longitude	<input type="text" value="21.4720"/>	<input type="text" value="degrees"/>	<input type="button" value="More"/>

Σχήμα 5.2: Χαρακτηριστικά του κτιρίου στο Comis

5.4. Περιγραφή Ζωνών

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3 το Κολυμβητήριο μπορεί να χωριστεί σε τρεις διαφορετικές ζώνες (χώρος της πισίνας, αποδυτήρια, γραφεία). Για της ανάγκες της παρούσας διπλωματικής έγινε η παραδοχή ότι τα αποδυτήρια ανδρών και γυναικών είναι ένας ενιαίος χώρος καθώς επικρατούσαν ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.



Σχήμα 5.3: Κάτοψη Κολυμβητηρίου

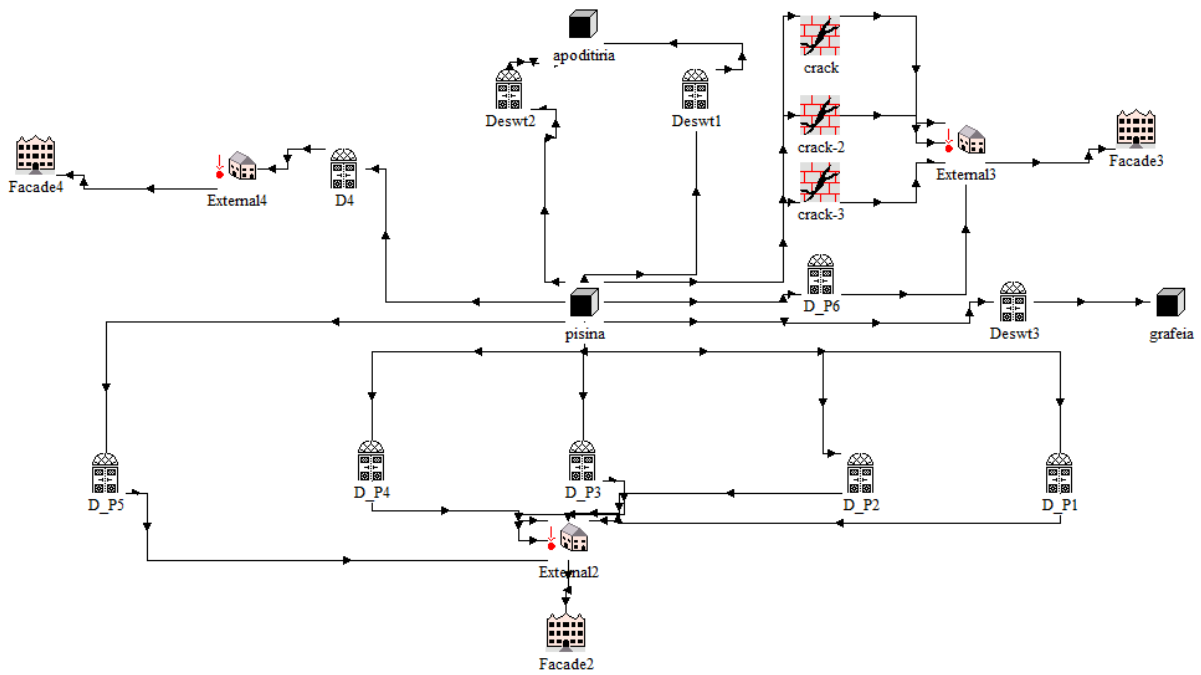
Κάπου εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες του Comis κάποια μεγέθη προσαρμόστηκαν ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία του προβλήματος με το λογισμικό. Πιο συγκεκριμένα, το κολυμβητήριο παρουσιάζει διαφορές στα ύψη ανάμεσα στις τρεις ζώνες, καθώς όμως αυτό δεν μπορούσε να οριστεί πραγματοποιήθηκε μεταβολή σε κάποια άλλα μεγέθη, είτε το μήκος είτε το πλάτος, ώστε όλοι οι χώροι να έχουν το ίδιο ύψος αλλά να διατηρηθεί ο όγκος της κάθε ζώνης.

Έτσι, επιλέχθηκε ένα μέσο ύψος στα 5 m. Για τον χώρο της πισίνας έχουμε μήκος 44,8 x 32,25 m. Για τα αποδυτήρια 25.8 x 5 m, ενώ για το γραφείο 2,1 x 10 m.

5.4.1 Περιγραφή ανοιγμάτων

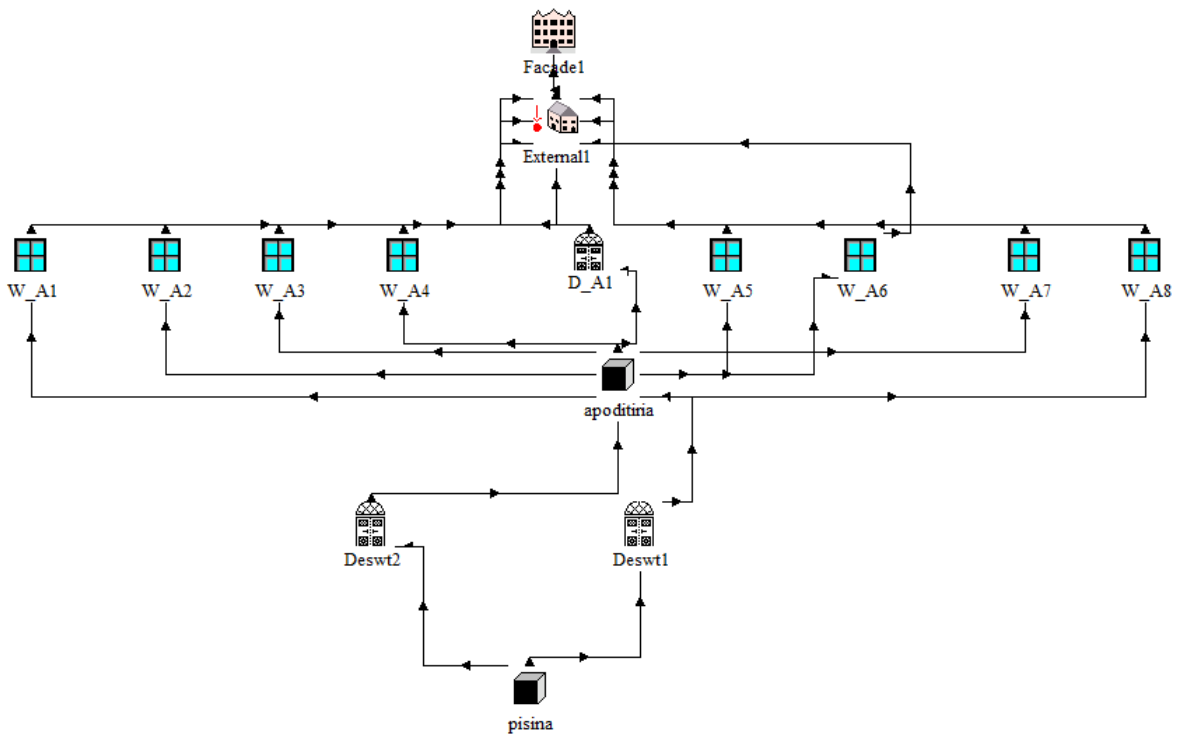
Η κάθε ζώνη επικοινωνεί με τις υπόλοιπες αλλά και με το εξωτερικό διαμέσου ορισμένων ανοιγμάτων. Αυτά τα ανοίγματα είναι πόρτες, παράθυρα ή μικρά ανοίγματα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο κολυμβητήριο δεν υπάρχει σύστημα εξαερισμού. Επομένως, ο αερισμός επιτυγχάνεται αποκλειστικά από αυτά τα ανοίγματα.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4 ο χώρος της πισίνας επικοινωνεί με 2 εσωτερικές πόρτες με τα αποδυτήρια (Deswt1, Deswt2), με μία εσωτερική με τα γραφεία (Deswt3), με πέντε πόρτες με την Ν πλευρά (D_P1- D_P5), με μία με την ΒΔ (D4), ενώ με την ΝΑ επικοινωνεί με 3 μικρά ανοίγματα (cracks) και με μία πόρτα (D_P6).



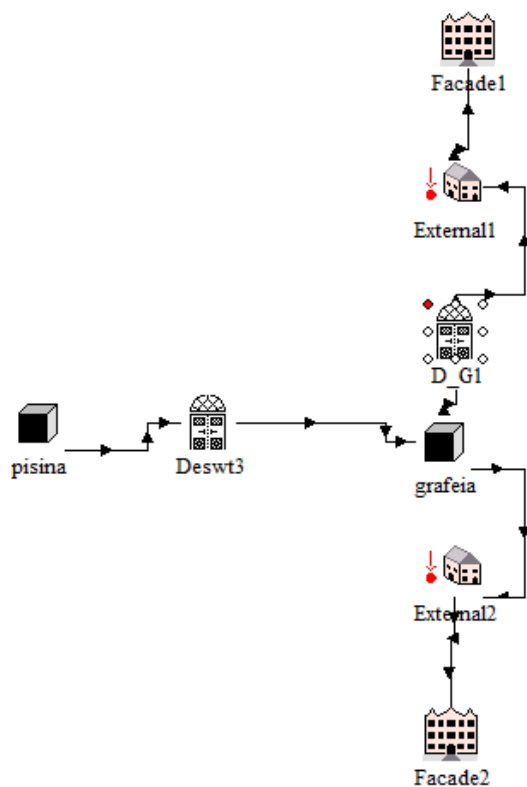
Σχήμα 5.4: Αναπαράσταση του χώρου της πισίνας στο Comis

Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται ο χώρος των αποδυτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, τα αποδυτήρια εκτός από τις δύο εσωτερικές πόρτες (Deswt1, Deswt2) με τις οποίες επικοινωνεί με την πισίνα, έχουν οχτώ παράθυρα προς την Β πλευρά (W1- W8), καθώς επίσης και μία πόρτα (D_A1).



Σχήμα 5.5: Αναπαράσταση του χώρου των αποδυτηρίων στο Comis

Τέλος, στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται ο χώρος του γραφείου. Εκεί, εκτός από την εσωτερική πόρτα (D_eswt3), υπάρχει μόνο μία εξωτερική που την συνδέει με την Β πλευρά



Σχήμα 5.6: Αναπαράσταση του χώρου του γραφείου στο Comis

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα μεγέθη των παραθύρων και των πορτών στο κολυμβητήριο, όπως αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί στο Comis. Το είδος όλων επιλέχθηκε να είναι LVO 1, καθώς μιλάμε για παράθυρα και πόρτες με ορθογώνια ανοίγματα και κατακόρυφο άξονα.

Πίνακας 5.2: Μεγέθη παραθύρων και πορτών

	Μήκος (Lwmax)	Πλάτος (Lhmax)
W1	1	0.5
W2	1	0.5
W3	1	0.5
W4	1	0.5
W5	1	0.5
W6	1	0.5
W7	1	0.5
W8	1	0.5
D_A1	1.85	2.2
Deswt1	0.8	2.1
Deswt2	0.8	2.1
Deswt3	0.8	2.1
D_G1	1.1	2.15
D_P1	1.1	2.15
D_P2	1.1	2.15
D_P3	1.1	2.15
D_P4	1.1	2.15
D_P5	1.1	2.15
D_P6	1.1	2.15
D4	2.5	2.2

5.4.2 Υπολογισμός συντελεστή παροχής, C_d

Ο συντελεστής παροχής C_d είναι ένας αδιάστατος αριθμός που χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς της ροής και την απώλεια πίεσης (Cruz, et al., 2016). Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται από το Comis με τους ακόλουθους τρόπους.

Για τις εσωτερικές πόρτες και παράθυρα τύπου LVO 1, ο συντελεστής παροχής C_d δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C_d = 0.609H_{rel} - 0.066 \quad (5.7)$$

Όπου,

$$H_{rel} = \frac{H_{door}}{H_{room}} \quad (5.8)$$

H_{door} : το ύψος της πόρτας (m)

H_{room} : το συνολικό ύψος του δωματίου (m)

Αξίζει να σημειωθεί ότι $0.05 \leq C_d \leq 0.5$ και $0.2 \leq H_{rel} \leq 0.9$.

Για τις εξωτερικές πόρτες και παράθυρα τύπου LVO 1, ο συντελεστής παροχής δίνεται από την σχέση στη συνέχεια:

$$C_d = 0.08 \left(\frac{gH^3 \Delta T}{T_m U^2 D^2} \right)^{-0.38} \quad (5.9)$$

Όπου

U: η ταχύτητα του ανέμου (m/s)

ΔT : η διαφορά στη θερμοκρασία εντός και εκτός του δωματίου (K)

T_m : η μέση θερμοκρασία εντός και εκτός (K)

H: το ύψος του ανοίγματος (m)

D: το βάθος του δωματίου (m)

Σε αυτή τη περίπτωση $0.6 \leq Cd \leq 1.5$.

5.4.3 Υπολογισμός συντελεστή ροής για κλειστά παράθυρα και πόρτες, C_s

Η ροή του αέρα που περνά μέσα από μικρές ρωγμές (cracks) και εσοχές του κελύφους του κτιρίου δίνονται από την παρακάτω σχέση:

$$Q = C_s \Delta P^n \quad (5.10)$$

Όπου

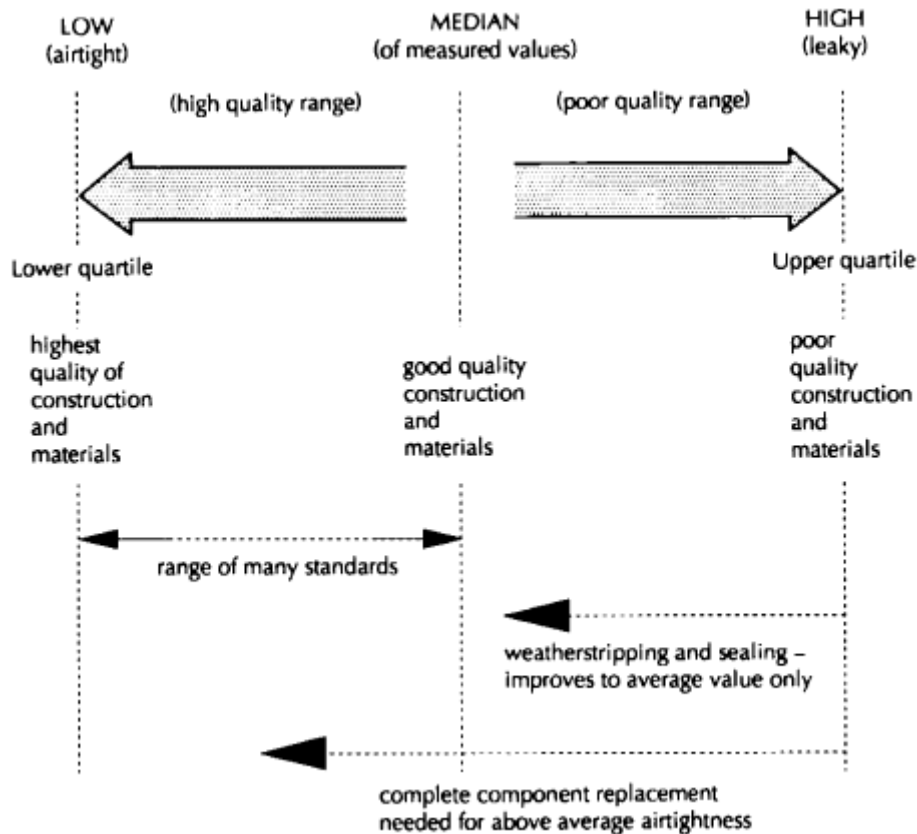
C_s : ο συντελεστής ροής ($\frac{m^3}{s} Pa^{-n}$)

n: ο εκθέτης της ροής

ΔP : η διαφορά της πίεσης στις δύο πλευρές του ανοίγματος. (Pa)

Ο εκθέτης της ροής, n, χαρακτηρίζει την ίδια τη ροή. Η ελάχιστη τιμή του n αναφέρεται σε τυρβώδη ροή, ενώ η μέγιστη του σε στρωτή ($0.5 \leq n \leq 1$). Η γεωμετρία του ανοίγματος είναι αυτή που καθορίζει το είδος της ροής.

Ο συντελεστής της ροής, C_s , σχετίζεται με το μέγεθος του ανοίγματος και το είδος της στεγανότητας των κουφωμάτων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.7 ο διαχωρισμός γίνεται σε υψηλή, μέτρια και χαμηλή στεγανότητα κουφωμάτων.



Σχήμα 5.7: Διαφυγή του αέρα από τα κουφώματα (Πηγή: TN44)

Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου, τα κουφώματα θεωρήθηκαν ότι είναι της τρίτης κατηγορίας καθώς είναι κουφώματα αλουμινίου παλαιού τύπου με μεγάλες φθορές.

Τα χαρακτηριστικά διαρροής για τα διάφορα δομικά στοιχεία του κολυμβητηρίου που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Χαρακτηριστικά διαρροή κουφωμάτων, συντελεστής C_s

	Παράθυρο (συρόμενο)	Πόρτα Εσωτερική	Πορτα εξωτερική (κρεμαστή)	Πορτα εξωτερική (συρόμενη)
C_s (kg/s m@ 1Pa)	0.00037	0.002	0.0014	0.0014
Exp n	0.6	0.6	0.6	0.6

5.5. Φυσικοί παράμετροι

Προκειμένου να υπολογιστεί ο φυσικός αερισμός των χώρων του κολυμβητηρίου, αλλά και ολόκληρου του κτιρίου χρειάστηκαν να προσδιοριστούν οι φυσικοί παράμετροι (οριακές τιμές). Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που το πρόγραμμα επεξεργάστηκε ήταν η θερμοκρασία και υγρασία του κάθε χώρου αλλά και οι μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού που ήταν εγκατεστημένος πλησίον του κολυμβητηρίου.

5.5.1 Θερμοκρασία και υγρασία του κάθε χώρου

Μετά το πέρας των μετρήσεων στο κολυμβητήριο πραγματοποιήθηκε μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας στον κάθε ένα χώρο ξεχωριστά. Σκοπός αυτών των μετρήσεων ήταν ο προσδιορισμός της διαφοράς της θερμοκρασίας και της υγρασίας, μεταξύ των χώρων της πισίνας και των αποδυτηρίων και γραφείων. Έτσι, με σταθερή τη διαφορά υπολογίσθηκαν οι συνθήκες για κάθε ημέρα των μετρήσεων. Αυτό συνέβη καθώς την περίοδο Ιουνίου, Ιουλίου δεν είχαν τοποθετηθεί αισθητήρες στους υπόλοιπους χώρους εκτός της πισίνας.

Στην Εικόνα 5.1 φαίνονται τα αισθητήρια στις διάφορες θέσεις που τοποθετήθηκαν. Στα αποτελέσματα φάνηκε ότι η θερμοκρασία και η υγρασία στα αποδυτήρια τόσο των γυναικών όσο και στον ανδρών ήταν σχεδόν οι ίδιες. Επομένως, θεωρητικά θεωρούνται σαν ένας συγχωνευμένος χώρος με θερμοκρασία και υγρασία τις μέσες τιμές από τους δύο προηγούμενους.

Οι διαφορές που προέκυψαν δίνονται στη συνέχεια:

Θερμοκρασία: $T_{\Pi}=1.9+T_{\text{ΑΠΟΔ}}$

$$T_{\Pi}=2.5+T_{\text{ΓΡΑΦ}}$$

Υγρασία: $RH_{\Pi}=RH_{\text{ΑΠΟΔ}}-0.05$

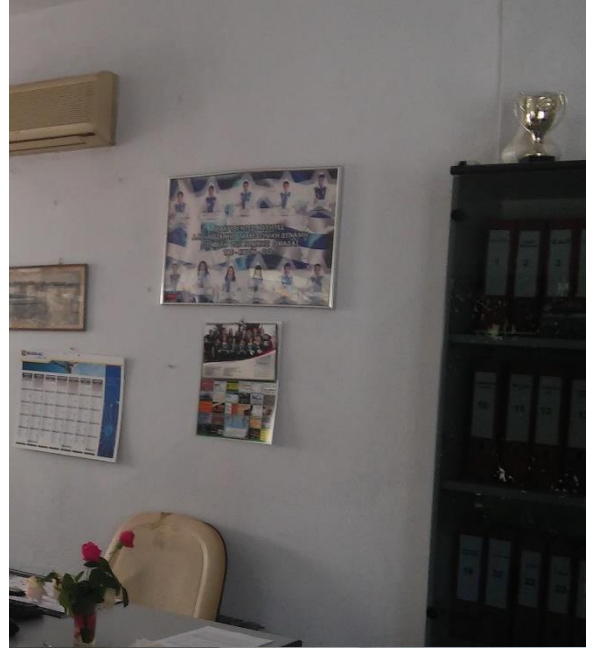
$$RH_{\Pi}=3.5+RH_{\text{ΓΡΑΦ}}$$

Οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας για κάθε ζώνη και για κάθε μέρα δίνονται στον Πίνακα 5.4.

Κεντρικός χώρος πισίνας



Γραφείο



Αποδυτήρια Γυναικών



Αποδυτήρια ανδρών

Εικόνα 5.1: Τοποθέτηση αισθητήρων μέτρησης Θερμοκρασίας-Υγρασίας

Πίνακας 5.4: μέση τιμή θερμοκρασίας και υγρασίας για κάθε ζώνη

	Πισίνες		Αποδυτήρια		Γραφείο	
	T	H	T	H	T	H
12/6/2016	26,36	14,68	24,46	14,73	23,86	11,18
13/6/2016	24,64	15,46	22,74	15,51	22,14	11,96
14/6/2016	24,62	15,24	22,72	15,29	22,12	11,74
15/6/2016	25,63	14,51	23,73	14,56	23,13	11,01
16/6/2016	26,62	14,56	24,72	14,61	24,12	11,06
17/6/2016	28,16	14,58	26,26	14,63	25,66	11,08
18/6/2016	29,02	13,02	27,12	13,07	26,52	9,52
19/6/2016	26,94	13,19	25,04	13,24	24,44	9,69
20/6/2016	27,53	13,62	25,63	13,67	25,03	10,12
21/6/2016	28,87	13,02	26,97	13,07	26,37	9,52
22/6/2016	28,61	11,15	26,71	11,20	26,11	7,65
23/6/2016	28,21	11,43	26,31	11,48	25,71	7,93
24/6/2016	28,56	12,43	26,66	12,48	26,06	8,93
25/6/2016	28,10	11,65	26,20	11,70	25,60	8,15
26/6/2016	25,94	12,09	24,04	12,14	23,44	8,59
27/6/2016	26,84	11,15	24,94	11,20	24,34	7,65
28/6/2016	25,95	11,96	24,05	12,01	23,45	8,46
29/6/2016	25,56	11,25	23,66	11,30	23,06	7,75
30/6/2016	26,93	11,93	25,03	11,98	24,43	8,43
1/7/2016	26,12	13,84	24,22	13,89	23,62	10,34
2/7/2016	25,25	13,66	23,35	13,71	22,75	10,16
3/7/2016	25,89	12,97	23,99	13,02	23,39	9,47
4/7/2016	27,20	12,74	25,30	12,79	24,70	9,24
5/7/2016	27,07	13,32	25,17	13,37	24,57	9,82
6/7/2016	25,68	14,51	23,78	14,56	23,18	11,01

5.5.2 Μετεωρολογικά δεδομένα

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν υπολογίστηκαν σε μετεωρολογικό σταθμό πλησίον του Κολυμβητηρίου (βλ. §4.8.1). Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν την ταχύτητα του ανέμου, την διεύθυνσή του, την θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος και τέλος, την ατμοσφαιρική πίεση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί το γεγονός ότι οι τιμές της διεύθυνσης του ανέμου μετατράπηκαν στην κοντινότερη γωνία για την οποία είχαμε δεδομένες τιμές Cr. Υπολογίστηκε το σχετικό σφάλμα για τις δύο γωνίες που την περιλάμβαναν, ενώ η μετατροπή έγινε στην γωνία που είχε το μικρότερο σφάλμα.

Τα δεδομένα που εισάγονται στο Comis, φαίνονται στο Σχήμα 5.8. Το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού στα 710 m (όσο είναι και το υψόμετρο της Κοζάνης).

General | Options | Control | Pollutant | Building | **Meteo** | Output | Schedules/Layers/Occupants

Wind characteristic

Ref. height for wind speed: 10.0 m More

Altitude meteo station: 710 m More

Wind velocity profile exp.: 0.14 m More

	Wind direction angle [deg]	Wind Velocity profile exp. [-]
1	0.0	0.14

Insert line
Delete line
Undo

Schedule

Load meteo data from a file

File name: Browse

Format file: COMIS DOE2

	Time [-]	Wind Speed [m/s]	Wind Direction [deg]	Temp [°C]	Humidity [g/kg]	Barometr pres abs [kPa]
1	0:00:00	0,56	45	24,7265	14,4335613	102,3
2	1:00:00	0,8	315	23,9803	14,4773767	102,3
3	2:00:00	0,88	225	23,2752	14,8194990	102,3
4	3:00:00	0,8	315	22,6709	16,8465116	102,3
5	4:00:00	0,88	0	21,9659	17,2608765	102,3

Insert line
Delete line
Undo

OK Cancel

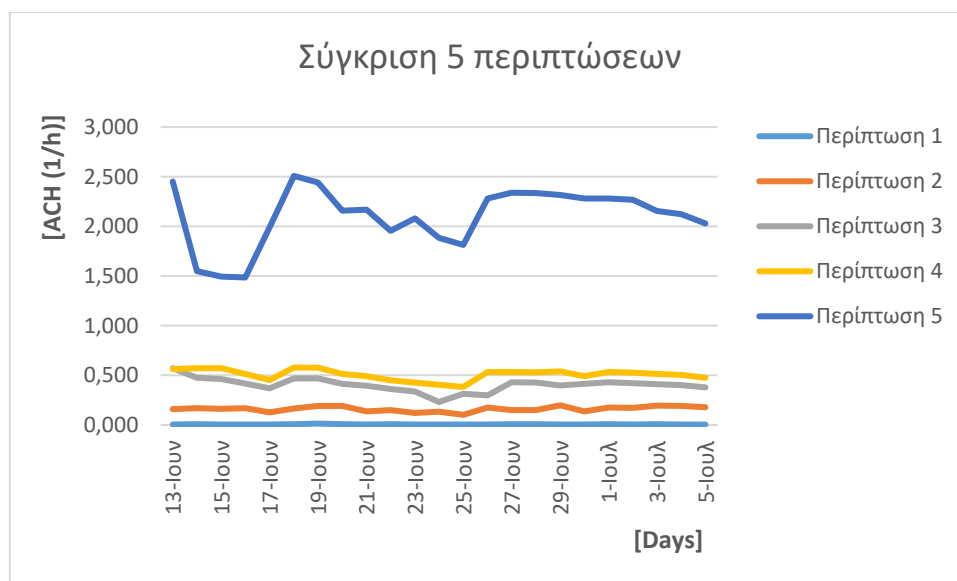
Σχήμα 5.8: Μετεωρολογικά δεδομένα στο Comis

5.6. Υπολογισμός του αερισμού με χρήση του Comis

Για τον υπολογισμό του αερισμού με χρήση του Comis εξετάστηκαν πέντε περιπτώσεις.

- 1) Όλα τα κουφώματα κλειστά αεροστεγώς
- 2) Ανοιχτά στο 50% P1, W4,W5
- 3) Ανοιχτές 100% P1 & A1
- 4) Ανοιχτά 100% P1 & A1, 50% W4,W5,P3
- 5) Ανοιχτά 100% P1,A1,W4,W5,P6,P3, 50% D4

Οι περιπτώσεις αυτές επιλέχθηκαν με βάση τις συνήθειες των χρηστών του κολυμβητηρίου, έπειτα από παρατήρηση τους. Τα αποτελέσματα του ρυθμού αερισμού για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.9.

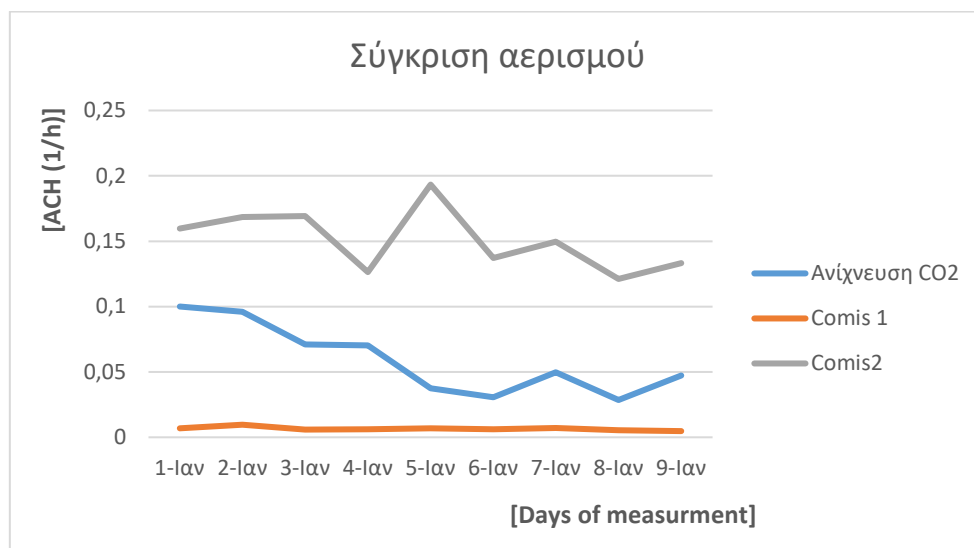


Σχήμα 5.9: Σύγκριση των πέντε περιπτώσεων προς μελέτη

Όπως είναι φανερό, η περίπτωση 1 ο ρυθμός αερισμού είναι πάρα πολύ κοντά στο μηδέν, αυτό είναι λογικό καθώς ο αερισμός από τα κλειστά κουφώματα είναι ο ελάχιστος. Η περίπτωση 2 είναι και πάλι πολύ χαμηλή, όμως είναι κοντά στο αερισμό που υπολογίστηκε με τη μέθοδο χρήσης ανιχνευτή για CO₂. Οι περιπτώσεις 3 και 4 είναι πάρα πολύ κοντά η μία με την άλλη. Τέλος, η περίπτωση 5 είναι αυτή που μας δίνει τον επιθυμητό αερισμό (2 ACH) (Μπαλαράς, 1996)

5.6.1 Σύγκριση αερισμού σε πειραματικό και υπολογιστικό επίπεδο σε ACH

Το επίπεδο του αερισμού σε ACH που υπολογίστηκε με την μέθοδο του ανιχνευτή διοξειδίου του άνθρακα βρίσκεται κάπου ανάμεσα στο υπολογισμένο επίπεδο για τις περιπτώσεις 1 και 2. Αυτό συμβαίνει καθώς κατά την διάρκεια της ημέρας στο κολυμβητήριο άνοιγαν κάποια παράθυρα και πόρτες ειδικά κατά τα διαστήματα που η προσέλευση του κόσμου ήταν αυξημένη, αλλά και κατά τις μεσημεριανές ώρες όπου η θερμοκρασία ήταν αυξημένη. Στο Σχήμα 5.10 φαίνεται η σύγκριση του αερισμού από τις πειραματικές μετρήσεις με αυτές των περιπτώσεων 1 και 2, όπως υπολογίστηκαν από το Comis.



Σχήμα 5.10: Σύγκριση αερισμού (περιπτώσεις 1-2) και μέσου όρου ρυθμού αερισμού από εκτίμηση με χρήση συσκευή ανίχνευσης CO₂

Η σύγκριση των μέσων όρων τους παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5: Σύγκριση μέσων όρων αερισμού (ACH) περίπτωση 1,2 και ρυθμού αερισμού από εκτίμηση με χρήση συσκευή ανίχνευσης CO₂

Μέθοδος	M.O
Περίπτωση 1	0,007
Περίπτωση 2	0,161
Αναλυση ισορροπίας	0.060

5.6.2 Σύγκριση πειραματικά και θεωρητικά υπολογιζόμενου αερισμού για μία συγκεκριμένη ημέρα

Στην περίπτωση αυτή, κρίνεται σκόπιμο να μην χρησιμοποιηθεί διάγραμμα καθώς δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθεί ακριβώς το άνοιγμα των κουφωμάτων από το προσωπικό για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά, στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του ρυθμού του αερισμού που υπολογίστηκαν στην Περίπτωση 3 και 4, καθώς παρουσιάζουν αντίστοιχες συνθήκες, όσον αφορά τα ανοίγματα που είναι ανοιχτά (κύρια είσοδος και δύο παράθυρα αποδυτηρίων), με τις ισχύουσες κατά το μεγαλύτερο μέρος των ωρών πραγματικής λειτουργίας του κολυμβητηρίου, με τον μέσο όρο του προσδιοριζόμενου ρυθμού αερισμού με χρήση συσκευή ανίχνευσης CO₂ για αυτό το χρονικό διάστημα την 15^η ημέρα των μετρήσεων.

Πίνακας 5.6: Σύγκριση μέσων όρων αερισμού (ACH) περίπτωση 3,4 και ρυθμού αερισμού από εκτίμηση ανάλυσης ισορροπίας

Μέθοδος	Μ.Ο.
Περίπτωση 3	0,404
Περίπτωση 4	0,508
Υπολογισμός αερισμού με χρήση ανάλυσης ισορροπίας	0.44

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, ο μέσος αερισμός που υπολογίστηκε πειραματικά είναι πολύ κοντά με τις περιπτώσεις 3 και 4 που προσομοιώνουν την λειτουργία του κολυμβητηρίου με ανοιγμένα τα κουφώματα που το προσωπικό επιλέγει συνήθως.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα – Προτάσεις

6.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική και θεωρητική διερεύνηση της επάρκειας του αερισμού και των συνθηκών θερμικής άνεσης στο Δημοτικό Κολυμβητήριο Κοζάνης. Αξίζει να σημειωθεί η σπουδαιότητα του επαρκή αερισμού σε ένα οποιοδήποτε κτίριο, καθώς με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται προβλήματα υγείας που σχετίζονται με αναπνευστικά, οφθαλμικά, ψυχολογικά, δερματικά και άλλα συμπτώματα. Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί έναν δείκτη της ποιότητας του αέρα, ενώ ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του, βάσει συγκεκριμένων και εναλλακτικών μεθόδων, μπορεί να οδηγήσει στον προσδιορισμό του ρυθμού αερισμού του χώρου υπό μελέτη.

Σύμφωνα με την πειραματική διερεύνηση συνθηκών θερμικής άνεσης, μπορεί να διατυπωθεί ότι στο Δημοτικό Κολυμβητήριο της Κοζάνης η θερμοκρασία του χώρου είναι ομοιογενής, με υψηλότερες τιμές στην Νότια και Νοτιοανατολική πλευρά, ενώ η ίδια πλευρά έχει και τις μεγαλύτερες τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το κολυμβητήριο από εκείνη την πλευρά είναι εκτεθειμένο άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία. Η μέση θερμοκρασία είναι υψηλή και πέραν των ορίων θερμικής άνεσης ($>26^{\circ}\text{C}$). Το ίδιο ισχύει για την υγρασία η οποία μετρήθηκε να έχει εξαιρετικά υψηλές τιμές, συντείνοντας σε αίσθημα θερμικής δυσφορίας για τους χρήστες. Η συγκέντρωση του CO_2 εμφανίζει αύξουσα τάση από τις 10:00 ως τις 22:00, ώρες κατά τις οποίες το κολυμβητήριο είναι σε λειτουργία και έχουμε μεγάλη συνάθροιση κόσμου, ειδικά κατά το διάστημα 16:00 – 20:30. Η συγκέντρωση φαίνεται να έχει ομοιογένεια μέσα στον χώρο, ενώ οι υψηλότερες τιμές της αντιστοιχούν στην Βόρεια πλευρά όπου λαμβάνει χώρα πλήθος ατόμων (κερκίδες) σε συνδυασμό με τον μειωμένο αερισμό. Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου εντός του κολυμβητηρίου, υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στην Νοτιοανατολική θέση, όπου υπάρχουν και τα περισσότερα ανοίγματα, ενώ οι αυξημένες τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας οφείλονται στις υψηλές τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και CO_2 που οδηγούν το προσωπικό στη λύση του φυσικού αερισμού μέσω του ανοίγματος των κουφωμάτων.

Σχετικά με τον αερισμό του Κολυμβητηρίου, αν και το κέλυφος του μπορεί να χαρακτηριστεί πεπαλαιωμένο με ελλιπή θερμομονωτική συμπεριφορά, λόγω της κακής κατάστασης της μόνωσης, αλλά και της παρουσίας κουφωμάτων αλουμινίου παλαιού τύπου με προβληματική συναρμογή, το επίπεδο αερισμού δεν είναι το επιθυμητό. Πιο συγκεκριμένα, ο πειραματικά προσδιοριζόμενος ρυθμός του αερισμού έχει έναν μέσο όρο 0.06 ACH για το εικοσιτετράωρο, ενώ για την περίοδο της ημέρας με τη μέγιστη συνάθροιση κοινού (χρηστών και συνοδών), οπότε και το προσωπικό επιλέγει να ανοίξει τα κουφώματα, προσδιορίστηκε τιμή 0.44 ACH. Σε κάθε περίπτωση, οι πειραματικά προσδιοριζόμενες τιμές είναι αρκετά χαμηλές, όπως επιβεβαιώνεται και από τις υψηλές συγκεντρώσεις υγρασίας αλλά και από τη σύγκριση με αντίστοιχες τιμές από τη βιβλιογραφία, της τάξης των 2 ACH.

Η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με κατάλληλο υπολογιστικό πρόγραμμα (Comis), δείχνει ότι όταν όλα τα κουφώματα είναι κλειστά ο ρυθμός του αερισμού έχει μέσο όρο 0.007 ACH, ενώ με ανοιχτή την κύρια είσοδο και δύο παράθυρα ανοιχτά στα αποδυτήρια φτάνει το 0.161 ACH. Στην προσομοίωση με ανοιχτά τα κουφώματα και τις πόρτες που το προσωπικό επέλεγε να ανοίξει συνήθως ο αερισμός κυμαίνεται από 0.4 – 0.51 ACH. Αερισμός τις τάξης

των 2.1 ACH, ο οποίος είναι και ο επιθυμητός, παρατηρείται για ανοιχτά στο μεγαλύτερο ποσοστό τους τα κουφώματα που συνήθως επιλέγουν να ανοίξει το προσωπικό του κολυμβητηρίου.

Τέλος, παρατηρείται αρκετά καλή συμφωνία μεταξύ των υπολογιζόμενων τιμών του ρυθμού αερισμού με την χρήση του Comis με τις αντίστοιχες πειραματικά προσδιοριζόμενες τιμές. Ειδικότερα ο πειραματικά προσδιοριζόμενος ρυθμός βρίσκεται μεταξύ των τιμών του υπολογιζόμενου από το Comis για τις περιπτώσεις 1 (όλα τα κουφώματα κλειστά) και 2 (ανοιχτή η κύρια είσοδος, και δύο παράθυρα στα αποδυτήρια). Σημειώνεται ότι οι περιπτώσεις 1 και 2 παρουσιάζουν αντίστοιχες συνθήκες, όσον αφορά τα ανοίγματα που είναι ανοιχτά, με τις ισχύουσες κατά το μεγαλύτερο μέρος των ωρών πραγματικής λειτουργίας του κολυμβητηρίου. Όσον αφορά τον ρυθμό αερισμού για τις ώρες με τη μέγιστη προσέλευση κόσμου, ο μέσος αερισμός που υπολογίστηκε πειραματικά είναι πολύ κοντά με τις περιπτώσεις 3 και 4 που προσομοιώνουν την λειτουργία του κολυμβητηρίου με ανοιγμένα τα κουφώματα που το προσωπικό επιλέγει συνήθως κατά τη λειτουργία στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

6.2. Προτάσεις για βελτίωση των συνθηκών αερισμού και θερμικής άνεσης

Σχετικά με τις προτάσεις βελτίωσης, η υπολογιστική προσομοίωση κατέδειξε ότι στην περίπτωση όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των κουφωμάτων, που συνήθως επιλέγονται, είναι ανοικτά, επιτυγχάνεται αερισμός της τάξης των 2.1 ACH, ο οποίος καλύπτει τις ανάγκες για επάρκεια του αερισμού. Σε μια τέτοια όμως περίπτωση θα πρέπει να συνυπολογιστεί το γεγονός εισαγωγής μεγάλων ποσοτήτων νεπού αέρα, ψυχρού το χειμώνα και θερμού το καλοκαίρι, ο οποίος θα επιβαρύνει θερμικά το χώρο. Και αν η επίδραση του το χειμώνα αναμένεται ευεργετική σε επίπεδο λανθανόντων φορτίων, το καλοκαίρι θα είναι επιβαρυντική σε επίπεδο τόσο αισθητού όσο και λανθάνοντος φορτίου. Παράλληλα, θα λάβει χώρα και παρουσία υψηλών ταχυτήτων ανέμου εντός του κυρίου χώρου της πισίνας, γεγονός που πρέπει να αποφεύγεται δεδομένου της έλλειψης ρουχισμού των χρηστών του κολυμβητηρίου. Γενικά, υψηλές ταχύτητες ανέμου είναι σημαντικό να αποφεύγονται για λόγους θερμικής άνεσης και διασφάλισης της υγείας των χρηστών.

Σε κάθε περίπτωση η πρακτική του φυσικού αερισμού αποτελεί μια ενδιαφέρουσα λύση για αντίστοιχες εφαρμογές, τόσο σε επίπεδο ανανέωσης αέρα αλλά και κάλυψης αισθητών και λανθανόντων φορτίων, θα πρέπει όμως να υλοποιηθεί κατάλληλα, ώστε να μην επιβαρύνει ενεργειακά το χώρο αλλά και να επιτυγχάνει βελτίωση της ποιότητας του αέρα και των συνθηκών θερμικής άνεσης. Ενδεχόμενα, σε περιπτώσεις όπου η εφαρμογή του φυσικού αερισμού παρουσιάζει περιορισμούς, η εφαρμογή υβριδικής πρακτικής, συνδυασμού δηλαδή φυσικού και τεχνητού αερισμού να αποτελεί την κατάλληλη τεχνολογική λύση.

6.3. Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Η παρούσα διερεύνηση παρουσιάζει προοπτικές μελλοντικής έρευνας, τόσο σε πειραματικό όσο και υπολογιστικό επίπεδο. Ειδικότερα, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο κολυμβητήριο πραγματοποιήθηκαν μόνο κατά τους θερινούς μήνες, όταν δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση του χώρου. Θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθεί μέτρηση και κατά την

περίοδο της χειμερινής περιόδου, ώστε να υπάρχει μία ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης. Παράλληλα, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι επίσης προφανής η σημασία προσαρμογής των υφιστάμενων μεθόδων πειραματικής ανάλυσης στις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν εφαρμογές αθλητικών χώρων και ειδικότερα των κολυμβητηρίων. Σε επίπεδο μετρήσεων, θα μπορούσε να γίνει πιο εκτεταμένη διερεύνηση, συμπεριλαμβάνοντας και το χώρο των αποδυτηρίων, και φυσικά αντιμετωπίζοντας κάποια τεχνικά θέματα σχετικά με την αξιοπιστία των μετρούμενων τιμών.

Σε υπολογιστικό επίπεδο, η ανάλυση με το λογισμικό Comis θα μπορούσε να επεκταθεί διερευνώντας την αποτελεσματικότητα διάφορων θέσεων ανοιγμάτων, ακόμα και εγκατάστασης νέων, ειδικότερα σε επίπεδο διαμερούς αερισμού. Οι διαφορετικές απαιτήσεις για τη θερμοκρασία του αέρα στην κύρια περιοχή της πισίνας αποτελούν μία μεγάλη πρόκληση στο σχεδιασμό των συστημάτων εξαερισμού, κλιματισμού και κυκλοφορίας του αέρα. Για παράδειγμα, το σύστημα του εξαερισμού και του κλιματισμού μπορεί να σχεδιαστεί κατάλληλα, έτσι ώστε να δημιουργεί ζώνες άνεσης όπου απαιτείται από τους αθλητές, τους θεατές και τους άλλους χρήστες, συνδυάζοντας ζώνες με διαφορετικές συνθήκες. Η πορεία της ροής του αέρα πρέπει να έχει υπολογιστεί εκ των προτέρων αφού δεν υπάρχουν χωρίσματα τα οποία θα ρυθμίζουν την κίνηση της ροής του αέρα. Η υπολογιστική ανάλυση σε πρόγραμμα ρευστοδυναμικής (CFD, Computational Fluid Dynamic) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει κάποιες χρήσιμες κατευθύνσεις για τον σχεδιασμό του συστήματος το οποίο θα ικανοποιεί τις εν λόγω απαιτήσεις. Η υπολογιστική ανάλυση CFD μπορεί να είναι και πολύ χρήσιμη για τη διερεύνηση των ανεπιθύμητων μεγάλων ταχυτήτων του αέρα σε συγκεκριμένες περιοχές του κυρίως χώρου, κολυμβητηρίου.

Τέλος, η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της πρακτικής συνδυασμού τεχνητού και φυσικού αερισμού και βελτιστοποίησης αυτής, παρουσιάζει σημαντική προοπτική σε ερευνητικό επίπεδο.

Βιβλιογραφία

- Annual Book of ASTM Standards, 2010
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1 – 2004, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- Asadia S., Fakhari M., Fayazb R, Mahdavi Parsa A., “The effect of solar chimney layout on ventilation rate in buildings”, *Energy and Buildings* 123 (2016) 71–78
- ASHRAE Fundamentals, 2009
- ASHRAE Handbook, 2007
- ASTM D6245 – 07, Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation
- COMIS 3.2 – User Guide
- Cruz H, Viegas J., “On-site assessment of the discharge coefficient of open windows” *Energy and Buildings* 126 (2016) 463–476
- Hegger M, “Energy manual: sustainable architecture”, Basel, Boston, 2008
- International Center for Energy and Environmental Technology (ICEU), Energy Efficient Technologies in Sport Facilities, A thermie programme action, European Commission, Directorate General for energy, 1994
- Kalimeri K., Saraga D., Lazaridis V., Legkas N., Missia D., Tolis E., Bartzis J., “Indoor air quality investigation of the school environment and estimated health risks: Two-season measurements in primary schools”, *Atmospheric Pollution Research* xxx (2016) 1-15, in press
- Kima M., Baldinib L., Leibundguta H., Wurzbacherc J., Piatkowskic N., “A novel ventilation strategy with CO₂ capture device and energysaving in buildings”, *Energy and Buildings* 87 (2015) 134–141
- Mahyuddin N. and Awbi H., “A Review of CO₂ Measurement Procedures in Ventilation Research”, *International Journal of Ventilation* ISSN 1473-3315 Volume 10 No 4 March 2012
- Moeseke G., Gratia E., Reiter S., Herde A., “Wind pressure distribution influence on natural ventilation for different incidences and environment densities”, *Energy and Buildings* 37 (2005) 878–889
- Norhidayah A., Chia – Kuang L., Azhar M., Nurulwahida S., “Indoor Air Quality and Sick Buildings Syndrome in Three Selected Buildings”, *Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology 2012, MUCET 2012*
- Orme M., Liddament M., Wilson A., “Numerical Data for Air Infiltration & Natural Ventilation Calculations”, Oscar Faber Group Ltd 1998
- Ren Z., Stewart J., “Simulating air flow and temperature distribution inside buildings using a modified version of Comis with sub-zonal divisions”, *Energy and Buildings* 35 (2003) 257-271
- Seresco Natatorium Design Guide 2013
- Sports Council. Guidance note: Swimming Pools – Building Services, London, 1994
- Stathopoulou O., Assimakopoulos V., Flocas H., Helmis C., “An experimental study of air quality inside large athletic halls”, *Building and Environment* 43 (2008) 834–848

- Zhanga W., Wanga L., Ji Z., Maa L., Huia Y, “Test on Ventilation Rates of Dormitories and Offices in University by the CO₂ Tracer Gas Method”, *Procedia Engineering* 121 (2015) 662 – 666
- Μπαλαράς Κ., “Στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας σε αθλητικά κέντρα”, Εκδόσεις Άνωση, 1996
- www.energy.gov (DEPARTMENT OF ENERGY FACILITIES, USA)

