

Συμβολή στη Διερεύνηση του Φυσικού Αερισμού. Πειραματικές Μετρήσεις σε Πέντε Κτίρια

Ν. ΠΑΠΑΜΑΝΩΛΗΣ

Δρ Αρχιτέκτων Μηχανικός

Περίληψη

Παρουσιάζονται μετρήσεις αερισμού κτιρίων, υπό πραγματικές συνθήκες, στην Ελλάδα. Πρόκειται για ομάδα δέκα (10) μετρήσεων σε πέντε (5) διαφορετικά κτίρια κατοικίας και εργασίας, από τα οποία τα τρία (3) βρίσκονται στην Αττική και τα δύο (2) στη Θεσσαλονίκη. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά το δεύτερο εξάμηνο του 1992, με τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης αέριου δείκτη, υπό κανονικές για την αντίστοιχη περίοδο περιβαλλοντικές συνθήκες. Από αυτές προέκυψαν τιμές μεταξύ 0,49 και 1,66 ac/h. Παρουσιάζονται, επίσης, εκτιμήσεις για τις συνθήκες φυσικού αερισμού των κτιρίων στη χώρα μας που βασίζονται στην ανάλυση των παραγόντων που τις διαμορφώνουν, δηλαδή των κλιματικών, αρχιτεκτονικών και κατασκευαστικών δεδομένων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παράγοντες, που διαμορφώνουν τις συνθήκες φυσικού αερισμού των κτιρίων, μπορούν να καταταχθούν σε τρεις ομάδες:

- Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Από αυτές, ειδικότερα, ο άνεμος και η θερμοκρασία του αέρα προσδιορίζουν την ισχύ των μηχανισμών που προκαλούν τα φαινόμενα αερισμού, δηλαδή, ουσιαστικά, τις διαφορές πίεσης εκατέρωθεν των ανοιγμάτων στο κέλυφος του κτιρίου.
- Στη δεύτερη ομάδα περιλαμβάνονται τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του κτιρίου. Οι διαστάσεις, το σχήμα και η κατανομή των ανοιγμάτων στο κέλυφος αποτελούν κρίσιμα στοιχεία αυτής της ομάδας. Επίσης, ξεχωριστή σημασία έχουν ο προσανατολισμός και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, εφόσον αυτά κυρίως προσδιορίζουν την κατανομή των ανεμοπιέσεων στο κέλυφος.
- Η τρίτη ομάδα παραγόντων αναφέρεται στην κατασκευή. Ειδικότερα, αφορά στα δομικά στοιχεία του κελύφους, που ως υλικά, τρόπος κατασκευής, μεταξύ τους συναρμογή, ηλικία κ.λπ. προσδιορίζουν την αεροπερατότητα του (airtightness), από την οποία εξαρτώνται άμεσα οι διαφυγές του αέρα (infiltration).

Εάν οι παραπάνω παράγοντες είναι γνωστοί, τότε η ποσότητα αερισμού ενός κτιρίου είναι θεωρητικά υπολογίσιμη με

αναλυτικές μεθόδους [1, 2]. Δεδομένης, όμως, της δυσκολίας εφαρμογής παρόμοιων μεθόδων στην πράξη, οι μετρήσεις προσφέρουν αμεσότερες και ακριβέστερες εκτιμήσεις. Μετρήσεις αερισμού κτιρίων υπό πραγματικές συνθήκες γίνονται με μεθόδους αέριων δεικτών [3], ενώ προκειμένου για ελέγχους, συγκρίσεις, ταξινομήσεις εφαρμόζονται οι μέθοδοι πίεσης [4].

Στην Ελλάδα, οι πρώτες μετρήσεις αερισμού έγιναν το Σεπτέμβριο του 1989, σε κτίρια του ηλιακού χωριού, στη Λυκόβρυση, με στόχο την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς τους [5, 6]. Σε πρόσφατη εργασία [7], όπου εξετάζονται οι συνθήκες ποιότητας εσωτερικού αέρα των κτιρίων στην Ελλάδα, παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα μετρήσεων αερισμού που έχουν γίνει στη χώρα μας μέχρι τις αρχές του 1996.

Στην εργασία παρουσιάζονται οι μετρήσεις αερισμού υπό πραγματικές συνθήκες, που έγιναν στο πλαίσιο σχετικού προγράμματος του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Πρόκειται για δέκα (10) συνολικά μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης αέριου δείκτη, σε πέντε (5) διαφορετικά κτίρια. Στόχος τους υπήρξε η συγκέντρωση ενδείξεων για τις τιμές αερισμού των κτιρίων στη χώρα μας, ικανών να αξιοποιηθούν σε προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας. Εξαιτίας των ελάχιστων μετρήσεων αερισμού που εκτελέστηκαν έκτοτε (2ο εξάμηνο 1992) [7], η συγκεκριμένη ομάδα παραμένει η πολυπληθέστερη και αντιπροσωπευτικότερη. Στην εργασία επιχειρείται, επίσης, η διερεύνηση των συνθηκών φυσικού αερισμού των κτιρίων στη χώρα μας με βάση τα ισχύοντα σε αυτή κλιματικά, αρχιτεκτονικά και κατασκευαστικά δεδομένα.

2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1. Τα κτίρια

Τα κτίρια, στα οποία έγιναν οι μετρήσεις αερισμού, είναι:

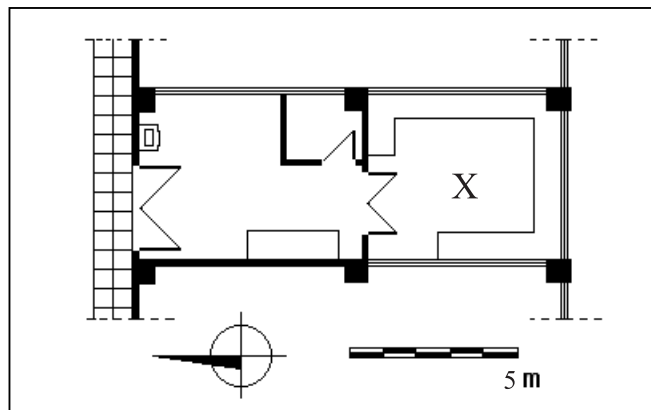
- Μία αίθουσα του Εργαστηρίου Κατασκευών του Γεωργικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γ.Π.Α.).

- Το ισόγειο των γραφείων του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) στο Πικέρμι Αττικής και
- Τρεις κατοικίες, από τις οποίες οι δύο βρίσκονται στη Θεσσαλονίκη και η μία στη Βούλα Αττικής.

Η αίθουσα του Εργαστηρίου Κατασκευών του Γ.Π.Α. είναι διαστάσεων 5,8 x 4,9 m και επικοινωνεί, μέσω δίφυλλης μεταλλικής πόρτας, με παρακείμενη αίθουσα διαστάσεων 6,6 x 4,9 m (σχήμα 1). Οι δύο αυτές αίθουσες συνορεύουν και από τις δύο πλευρές με χώρους άλλων εργαστηρίων του Γ.Π.Α., που βρίσκονται παρατεταγμένοι σε σειρά, σε μακρόστενο ισόγειο κτίριο, προσανατολισμένο κατά τη διεύθυνση Α-Δ (σχήμα 2). Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι από μπετόν και η τοιχοποιία από δωδεκάοπα τούβλα χωρίς πρόσθετη μόνωση. Σειρά μεταλλικών παραθύρων εκτείνεται σε όλο το μήκος των τριών πλευρών της αίθουσας, ενώ στη βόρεια πλευρά υπάρχει ένα συνεχές άνοιγμα στον τοίχο (πάνω από την πόρτα) που καλύπτεται με μονωτικά φύλλα από ξυλόμαλλο. Η προχειρότητα της κατασκευής αλλά και οι πολλές κακότεχνες επεμβάσεις, που ακολούθησαν, επιβάρυναν σημαντικά την αεροπερατότητα του κελύφους τού υπό μέτρηση χώρου. Συγκεκριμένα, πλήθος μικρών και μεγάλων ανοιγμάτων και ρωγμών εντοπίστηκαν στα εξής σημεία:

- Στις πλευρές προσαρμογής των πλαισίων των κουφωμάτων στους τοίχους και μεταξύ των κινητών μερών τους.
- Στις επαφές των μονωτικών φύλλων ξυλόμαλλου μεταξύ τους και με τον τοίχο.
- Σε σημεία διέλευσης αγωγών μέσα από τους τοίχους και τα κουφώματα. Οι αγωγοί αυτοί περιλαμβάνουν σωλήνες καλοριφέρ, ηλεκτρικά καλώδια, καλώδια για τη σύνδεση εξωτερικών οργάνων, αεροσωλήνες του κλιματιστικού μηχανήματος.
- Ακόμη, υπάρχουν δύο παράθυρα αερισμού στο κατώτερο μέρος της μεταλλικής πόρτας.

Το κτίριο του Κ.Α.Π.Ε., ένα τριώροφο, συνολικής έκτασης περίπου 2200 m², κατασκευάστηκε το έτος 1980. Το 1992, όταν επιλέχτηκε ως έδρα του Κέντρου στην Αθήνα, έγιναν σε αυτό εκτεταμένες εργασίες ανακατασκευής. Στο πλαίσιο αυτών των εργασιών ο χώρος του ισογείου (περίπου 800 m²), που αρχικά ήταν ενιαίος, διαμορφώθηκε, με χρήση γυψοσανίδων, σε γραφεία και κοινόχρηστους χώρους (σχήμα 3). Επίσης, διανοίχτηκε περιμετρικά μία συνεχής ζώνη παραθύρων με πόρτες, κατά διαστήματα, για επικοινωνία με το προαύλιο. Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι από μπετόν και η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από διπλή σειρά εξάοπων τούβλων με εσωτερική μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης. Τα κουφώματα είναι από αλουμίνιο με απλά τζάμια. Το κτίριο είναι κτισμένο στην κορυφή ενός υψώματος σε αραιοδομημένη περιοχή. Οι όροφοι βρίσκονται εκτεθειμένοι



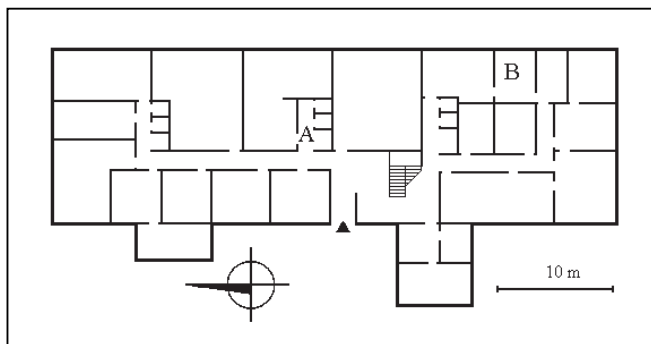
Σχήμα 1: Κάτοψη του Εργαστηρίου Κατασκευών του Γ.Π.Α. (Με "X" σημειώνεται η θέση μέτρησης).

Figure 1: Plan of Lab. of Construction at the Agricultural Univ. of Athens. ("X" symbolizes the measurement position).



Σχήμα 2: Η νότια όψη του Εργαστηρίου Κατασκευών του Γ.Π.Α.

Figure 2: The south face of Lab. of Construction at the Agricultural Univ. of Athens.



Σχήμα 3: Κάτοψη ισογείου του κτιρίου του Κ.Α.Π.Ε. στην Αθήνα.

Figure 3: Plan of C.R.E.S. building's ground floor in Athens.

στον άνεμο, αλλά στο ισόγειο, λόγω των περιμετρικών αναχωμάτων, οι ανεμοπιέσεις είναι μάλλον ασθενείς.

Οι τρεις κατοικίες, που αποτέλεσαν το δείγμα για τις μετρήσεις, επιλέχθηκαν με διαφορετικά κριτήρια αντιπροσωπευτικότητας. Δηλαδή:

- Είναι της ίδιας περίπου καθαρής επιφάνειας (50-60 m²), που αντιστοιχεί σε στατιστικά πολυπληθή κλάση κατοικιών στην Ελλάδα.
- Αποτελούνται από τους ίδιους χώρους (2 δωμάτια, σαλόνι, κουζίνα, λουτρό-WC), μολονότι διαφέρουν ως προς τη διαρρύθμιση.
- Διαφέρουν ως προς τις συνθήκες έκθεσης στον άνεμο (ρετιρέ σε αραιοδομημένη ζώνη, πρώτος όροφος σε αραιοδομημένη ζώνη, μονοκατοικία σε πυκνοδομημένη ζώνη).
- Καλύπτουν ευρύ φάσμα ηλικιών κατασκευής (νεόδμητη, 15 ετών και 65 ετών, κατά το χρόνο της μέτρησης).
- Βρίσκονται σε δύο διαφορετικές περιοχές (Αθήνα και Θεσσαλονίκη) που συγκεντρώνουν την πλειοψηφία των κτιρίων στη χώρα μας.

Συγκεκριμένα:

Η πρώτη κατοικία (Α) βρίσκεται στον πέμπτο όροφο (ρετιρέ) πολυκατοικίας, ηλικίας περίπου 15 ετών (κατά το χρόνο της μέτρησης), στη Βούλα Αττικής (σχήμα 4). Είναι μοναδική κατοικία στον όροφο με ανοίγματα σε όλες τις πλευρές. Ο φέρων οργανισμός είναι από μπετόν, η εξωτερική τοιχοποιία μπατική από εξάοπα τούβλα χωρίς μόνωση, τα κουφώματα αλουμινίου με μονά τζάμια. Η ευρύτερη περιοχή είναι αραιοδομημένη με μονοκατοικίες και λίγες πολυώροφες οικοδομές, που όμως βρίσκονται σε απόσταση (>30 m) και είναι χαμηλότερες σε ύψος. Έτσι, η κατοικία είναι εκτεθειμένη σε όλες τις διευθύνσεις του ανέμου που, λόγω μικροκλιματικών συνθηκών, πνέουν ισχυροί στην περιοχή. Η αεροπερατότητα του κελύφους είναι αυξημένη εξαιτίας της απλής κατασκευής και της φθοράς του χρόνου. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν ανοίγματα διαφυγών στα εξωτερικά κουφώματα (κυρίως στο παράθυρο του λουτρού), τον απορροφητήρα της κουζίνας και το τζάκι. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το επικρατούν μοντέλο διαμπερούς αερισμού, δικαιολογούν γενικά αυξημένες τιμές αερισμού της κατοικίας, όπως εξάλλου επιβεβαιώνεται και από την εμπειρία των ενοίκων.

Η δεύτερη κατοικία (Β) βρίσκεται στον πρώτο όροφο νεόδμητης (κατά το χρόνο της μέτρησης) τετραώροφης οικοδομής στην Καλαμαριά Θεσσαλονίκης (σχήμα 5). Πρόκειται για κτίριο προσεγγισμένης κατασκευής, με φέροντα οργανισμό από μπετόν, εξωτερική διπλή τοιχοποιία με εσωτερική μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης και κουφώματα αλουμινίου με διπλά τζάμια. Ορισμένες κατασκευαστικές ατέλειες, που σχετίζονται με την αεροπερατότητα του κελύφους, εντο-

πίστηκαν κυρίως στην προσαρμογή των πλαισίων των κουφωμάτων στους τοίχους. Παρ' όλο που η ευρύτερη περιοχή είναι αραιοδομημένη, τρεις οικοδομές "προστατεύουν" από τον άνεμο αντίστοιχες πλευρές του κτιρίου και μόνο η ανατολική είναι ελεύθερη σε μεγάλη απόσταση (σχήμα 6). Εξαιτίας αυτού αλλά και του χαμηλού υψόμετρου, οι ανεμοπιέσεις στο κέλυφος του διαμερίσματος είναι γενικά ασθενείς. Το διαμέρισμα έχει ανοίγματα σε δύο αντίθετες πλευρές. Από την εμπειρία των ενοίκων προκύπτει ότι ο αερισμός του υπό συνθήκες ασθενούς ανέμου είναι συχνά ανεπαρκής, γεγονός που αντιμετωπίζεται με την επέμβασή τους (άνοιγμα παραθύρων).

Το τρίτο κτίριο (Γ) είναι ισόγεια κατοικία με υπόγειο στην περιοχή Αρετσού Θεσσαλονίκης (σχήμα 7). Πρόκειται για παλιό κτίριο (άνω των 65 ετών) με εξωτερική φέρουσα μπατική τοιχοποιία από εξάοπα τούβλα, χωρίς μόνωση. Τα κουφώματα είναι ξύλινα. Ξύλινη είναι, επίσης, η τετράκλινη στέγη, καθώς και το δάπεδο πάνω από το λιθόκτιστο υπόγειο. Τα τελευταία τρία χρόνια, πριν από τη μέτρηση, παρέμενε ακατοίκητο. Παρά ταύτα, δεν διαπιστώθηκαν έντονα δείγματα καταστροφών στο κέλυφός του. Ενδεικτικά, όλα τα τζάμια στα παράθυρα ήταν ακέραια και η κεραμοσκεπής στέγη διατηρούνταν σε καλή κατάσταση. Η πυκνή βλάστηση στον κήπο, που περιβάλλει το κτίριο, αλλά και οι πολυώροφες οικοδομές, με τις οποίες συνορεύει περιμετρικά, το "προφυλάσσουν" από όλες τις διευθύνσεις του ανέμου. Ανοίγματα υπάρχουν σε όλες τις πλευρές του κελύφους (σχήμα 7).

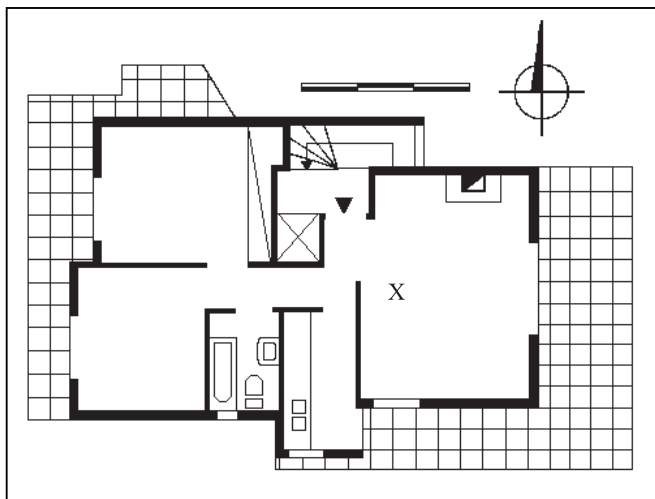
2.2. Εξοπλισμός

Σε όλες τις μετρήσεις ως βασικός εξοπλισμός χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός αναλυτής αερίων (ακρίβεια: $\pm 15\%$) και μια μεταλλική οβίδα 20 l για τη μεταφορά του αερίου δείκτη (N₂O ή SF₆) υπό πίεση.

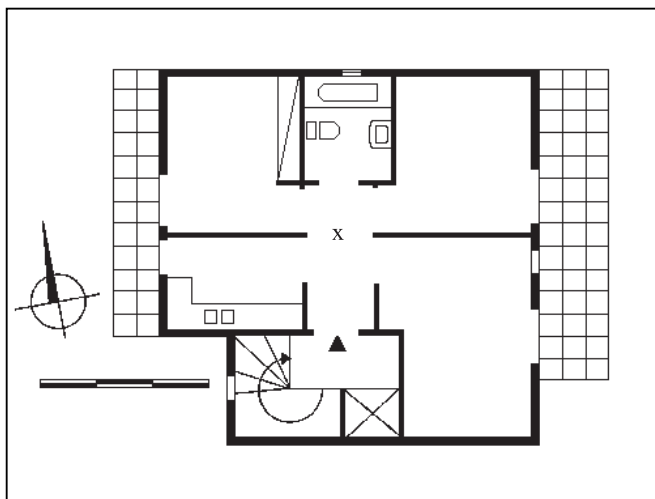
Στο κτίριο του Κ.Α.Π.Ε. δεν χρησιμοποιήθηκαν άλλα όργανα. Εδώ, οι μετρήσεις αερισμού έγιναν ταυτόχρονα με μετρήσεις συγκεντρώσεων φορμαλδεΐδης στο εσωτερικό του κτιρίου, για να διερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισής τους [8].

Στην περίπτωση του Εργαστηρίου Κατασκευών του Γ.Π.Α. χρησιμοποιήθηκαν, από τα μόνιμα εγκατεστημένα στο δώμα του κτιρίου μετεωρολογικά όργανα, ένα θερμόμετρο αντίστασης για τη μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ένα ανεμόμετρο με κύπελλα (ακρίβεια: $\pm \max [1\%, 0.1 \text{ m/s}]$). Τα όργανα αυτά, καθώς και ο αναλυτής αερίων, ήταν σειριακά συνδεδεμένα με υπολογιστή, όπου οι ενδείξεις τους καταγράφονταν συνεχώς. Για τη μέτρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ένα μετεωρολογικό θερμόμετρο υδραργύρου, του οποίου οι ενδείξεις σημειώνονταν κάθε 5 λεπτά.

Στα κτίρια των κατοικιών χρησιμοποιήθηκε ο ελάχιστος και απλούστερος εξοπλισμός που απαιτεί η εφαρμογή της



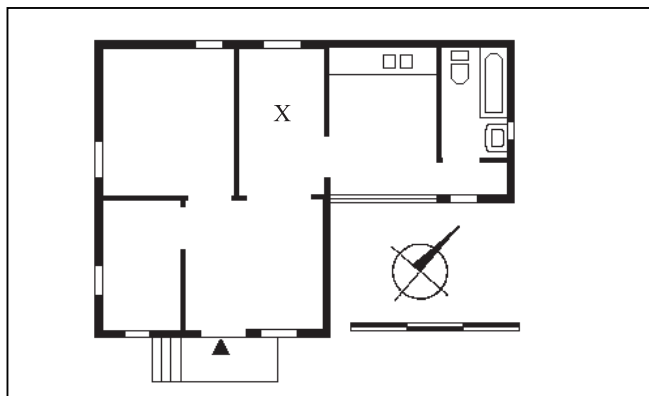
Σχήμα 4: Κάτοψη της κατοικίας Α στη Βούλα.
Figure 4: Plan of house A at Voula, Attica.



Σχήμα 5: Κάτοψη της κατοικίας Β στην Καλαμαριά Θεσσαλονίκης.
Figure 5: Plan of house B at Kalamaria, Thessaloniki.



Σχήμα 6: Η ανατολική όψη της κατοικίας Β στην Καλαμαριά Θεσσαλονίκης.
Figure 6: The east face of house B at Kalamaria, Thessaloniki.



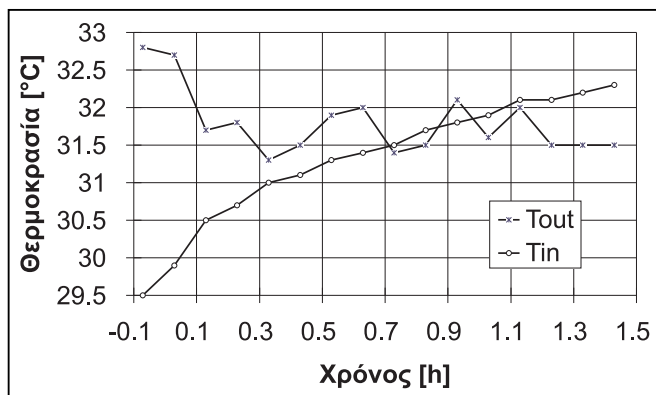
Σχήμα 7: Κάτοψη της κατοικίας Γ στην Αρετσού Θεσσαλονίκης.
Figure 7: Plan of house Γ at Aretsou, Thessaloniki.

μεθόδου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα μετεωρολογικό θερμόμετρο υδραργύρου για τη μέτρηση της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και ένα ανεμόμετρο χειρός με κύπελλα για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Οι ενδείξεις όλων των οργάνων, συμπεριλαμβανομένου του αναλυτή αερίων, σημειώνονταν κάθε 5 λεπτά. Οι επιλογές αυτές, μολονότι έχουν αρνητικές συνέπειες στην ακρίβεια και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων, εξασφάλιζαν την εύκολη μεταφορά και λειτουργία του εξοπλισμού, συμβάλλοντας, παράλληλα, στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τις δυνατότητες εκτέλεσης εκτεταμένων προγραμμάτων μετρήσεων.

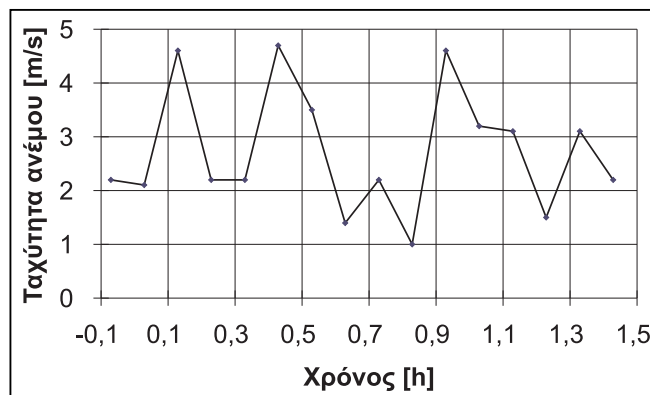
2.3. Διαδικασία

Πριν από κάθε μέτρηση ελέγχονταν και έκλειναν όλες οι πόρτες και τα παράθυρα στο κέλυφος τού προς μέτρηση χώρου (οι εσωτερικές πόρτες διατηρούνταν ανοικτές). Σε όλες τις περιπτώσεις, η διαδικασία περιελάμβανε ελευθέρωση μικρής ποσότητας αερίου δείκτη (SF₆ ή N₂O) στο χώρο και ανατάραξη του αέρα, ώστε να επέλθει κατά το δυνατόν ομοιόμορφη ανάμιξή του. Με την αποκατάσταση της ηρεμίας του αέρα άρχιζε η κυρίως μέτρηση που συνίστατο στην παρακολούθηση και καταγραφή της φθίνουσας εξέλιξης των συγκεντρώσεων του αερίου δείκτη σε σταθερό σημείο του χώρου. Στο διάστημα αυτό, που διαρκούσε περίπου μεταξύ μισής και μιάμισης ώρας, για την πληρέστερη, σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές, τεκμηρίωση [π.χ. 9, 10], καταγράφονταν, με τον κατά περίπτωση διαθέσιμο εξοπλισμό, οι τιμές εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και ανέμου (διεύθυνση και ταχύτητα).

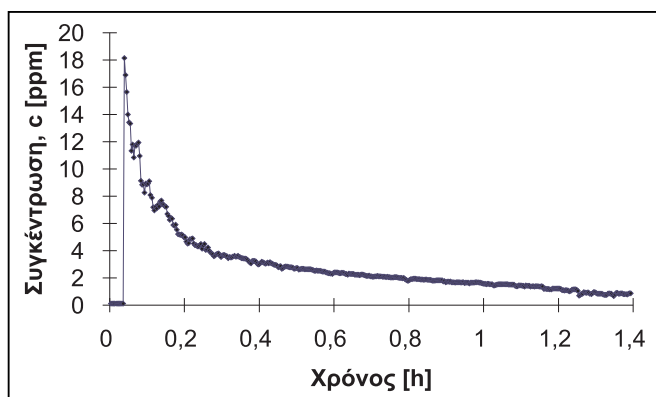
Τα αποτελέσματα, όπως αυτά προκύπτουν από την κλίση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων των λογαριθμών των συγκεντρώσεων του αερίου δείκτη [3], αντιπροσωπεύουν το ρυθμό εναλλαγής στο συγκεκριμένο σημείο δειγματοληψίας του αέρα, κατά την αντίστοιχη χρονική περίοδο και υπό τις δεδομένες συνθήκες του πειράματος. Επομένως, για μεγαλύ-



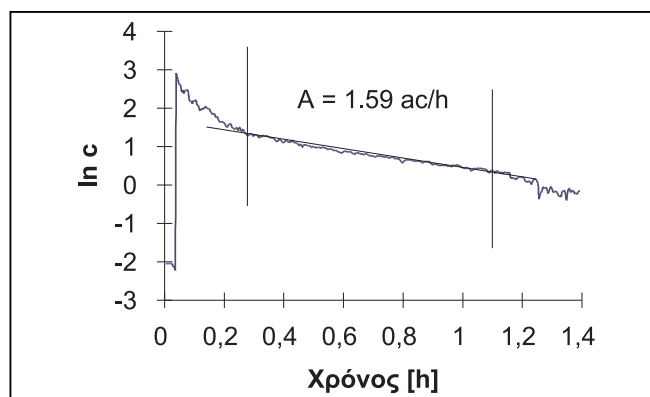
8α)



8β)



8γ)



8δ)

Σχήμα 8: Διαγράμματα μεταβολής α) της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, β) της ταχύτητας του ανέμου, γ) των συγκεντρώσεων του αέριου δείκτη και δ) των λογαρίθμων των συγκεντρώσεων του αέριου δείκτη κατά τη μέτρηση της 2/8/92 στο Εργαστήριο Κατασκευών του Γ.Π.Α.
Figure 8: Time variation of α) indoor and outdoor temperature, β) wind speed, γ) tracer gas concentration and δ) natural logarithm of concentration during the 2/8/92 measurements at the Lab. of Construction at the Agriculture Univ. of Athens.

τερη αξία των αποτελεσμάτων δόθηκε προσοχή, ώστε η θέση δειγματοληψίας να είναι αντιπροσωπευτική και, επίπλέον, οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, άνεμος) να προσεγγίζουν κατά το δυνατόν τις κανονικές (normal) στη θέση του υπό μέτρηση κτιρίου.

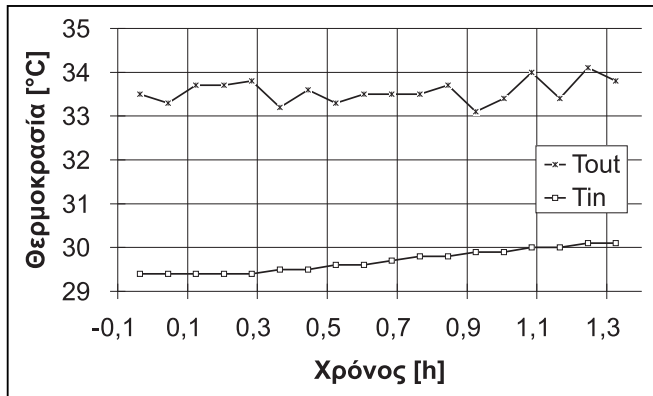
2.4. Αποτελέσματα

Στο Εργαστήριο Κατασκευών του Γ.Π.Α. πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις:

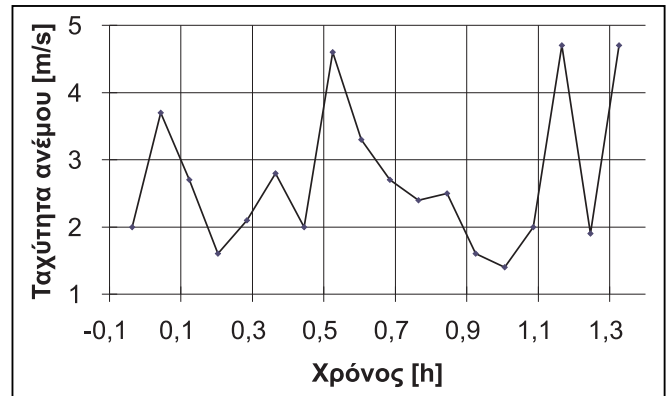
- Η πρώτη έγινε το πρωί της 2ας Αυγούστου 1992. Με την έκλυση του αέριου δείκτη (SF6) διακόπηκε η λειτουργία της κλιματιστικής μονάδας, οπότε η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του χώρου άρχισε να αυξάνει σταδιακά. Ο συνολικός χρόνος μετρήσεων ήταν περίπου μιάμιση ώρα και περιελάμβανε παρακολούθηση και καταγραφή της μεταβολής της εσωτερικής και εξωτερικής

θερμοκρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της συγκέντρωσης του δείκτη (σχήματα 8α, β, γ).

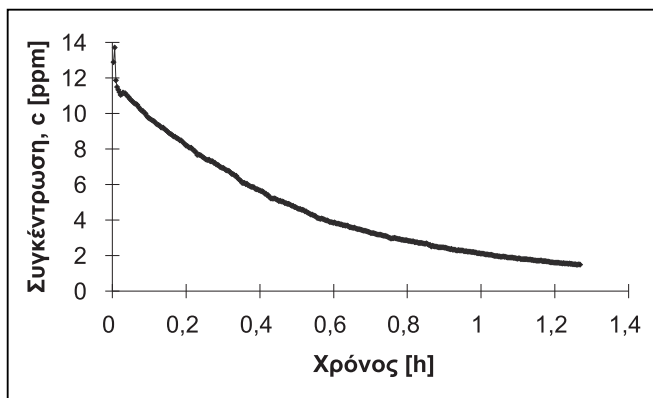
Στο διάγραμμα μεταβολής των λογαρίθμων της συγκέντρωσης του δείκτη, $\ln c$, προς το χρόνο, διακρίνουμε τρεις περιοχές που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές συνθήκες αερισμού του χώρου (σχήμα 8γ). Συγκεκριμένα, τα πρώτα 20 λεπτά παρατηρούμε μία βαθμιαία πτώση της ποσότητας αερισμού ως αποτέλεσμα της ταχείας σύγκλισης των θερμοκρασιών (εσωτερικής και εξωτερικής) και ανάλογης εξασθένησης του παράγοντα θερμοσιφονισμού (stack effect). Στη συνέχεια, περίπου για μία ώρα, έχουμε εξομάλυνση των τιμών που αντανάκλα τη σχετική σταθεροποίηση της διαφοράς θερμοκρασίας (± 1 °C). Τέλος, τα τελευταία 15 λεπτά της μέτρησης χαρακτηρίζει έντονη αυξομείωση της ποσότητας αερισμού. Η μεταβολή αυτή είναι τεχνητή και προήλθε από την αύξηση του στροβιλισμού του αέρα στο εσωτερικό του



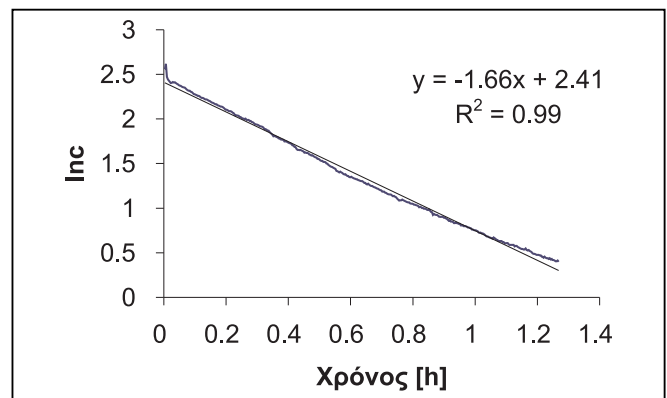
9α)



9β)



9γ)



9δ)

Σχήμα 9: Διαγράμματα μεταβολής α) της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, β) της ταχύτητας του ανέμου, γ) των συγκεντρώσεων του αέριου δείκτη και δ) των λογαρίθμων των συγκεντρώσεων του αέριου δείκτη κατά τη μέτρηση της 3/8/92 στο Εργαστήριο Κατασκευών του Γ.Π.Α.
Figure 9: Time variation of α) indoor and outdoor temperature, β) wind speed, γ) tracer gas concentration and δ) natural logarithm of concentration during the 3/8/92 measurements at the Lab. of Construction at the Agriculture Univ. of Athens.

χώρου, όταν κατά το αντίστοιχο διάστημα παρέμεινε ανοικτή η πόρτα. Η ποσότητα αερισμού της αίθουσας στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ίση με $1,59 \pm 0,03$ ac/h.

● Η δεύτερη μέτρηση έγινε στον ίδιο χώρο την επόμενη μέρα, χωρίς να διακοπεί η λειτουργία του κλιματιστικού. Τη φορά αυτή ως αέριος δείκτης χρησιμοποιήθηκε το N₂O. Διήρκεσε λιγότερο από μιάμιση ώρα και περιελάμβανε παρακολούθηση και καταγραφή της μεταβολής ως προς το χρόνο των ίδιων παραμέτρων (σχήμα 9). Στην περίπτωση αυτή, η ποσότητα αερισμού υπολογίστηκε ίση με $1,66 \pm 0,01$ ac/h.

Οι μετρήσεις στο κτίριο του Κ.Α.Π.Ε. έγιναν τις πρωινές ώρες των 12 Οκτωβρίου και 17 Νοεμβρίου 1992, με χρήση SF₆ ως αέριου δείκτη. Λόγω της μεγάλης έκτασης του χώρου έγιναν δύο μετρήσεις, στις θέσεις Α και Β, που επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικές των εσωτερικών και περιφερειακών δωματίων αντίστοιχα (σχήμα 3). Στα δεύτερα, λόγω της άμε-

σης γεινιάσης προς το κέλυφος, οι τιμές αερισμού βρέθηκαν κατά 10 - 15 % μεγαλύτερες. Συγκεκριμένα, στις 12 Οκτωβρίου η τιμή αερισμού στη θέση Β υπολογίστηκε $0,57 \pm 0,05$, έναντι $0,50 \pm 0,10$ ac/h στη θέση Α, ενώ στις 17 Νοεμβρίου η τιμή στη θέση Β υπολογίστηκε $0,60 \pm 0,03$, έναντι $0,54 \pm 0,04$ ac/h στη θέση Α (σχήμα 10).

Στις μετρήσεις αερισμού των κατοικιών ως αέριος δείκτης χρησιμοποιήθηκε το N₂O (σχήμα 11). Τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 1. Στον ίδιο πίνακα, οι μέσες τιμές θερμοκρασίας (εσωτερικής και εξωτερικής) και ταχύτητας του ανέμου υπολογίστηκαν ως μέσοι όροι των αντίστοιχων ανά πεντάλεπτο τιμών τους.

Οι τιμές αερισμού των κτιρίων κατοικίας, συγκρινόμενες μεταξύ τους, φαίνεται να αντανakλούν εύλογα την ισχύ των μηχανισμών που προκαλούν τα σχετικά φαινόμενα (κυρίως την ένταση του ανέμου) κατά το χρόνο της μέτρησης, καθώς και την ποιότητα, ως ενδεικτική της αεροπερατότητας, του κελύφους των κτιρίων.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα μετρήσεων αερισμού κτιρίων κατοικιών.
Table 1: Results of ventilation measurements in residence buildings.

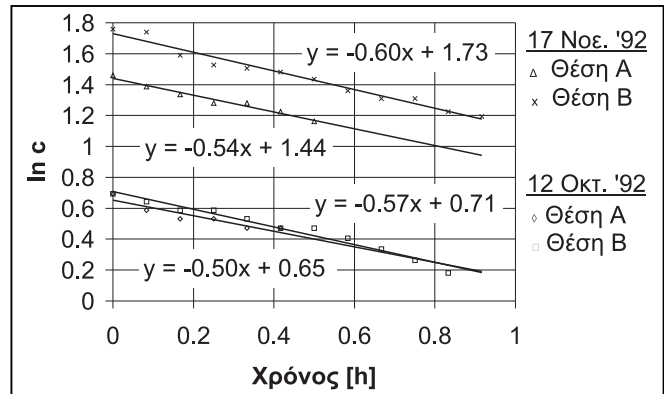
Κτίριο	Ημερ/νία	Μέση τιμή			Αερισμός [ac/h]
		εξωτ. θερμ. [°C]	εσωτ. θερμ. [°C]	ταχύτ. ανέμου [m/s]	
A	13/9/92	31,5	32,7	4,2	0,97±0,15
A	19/9/92	25,6	27,1	3,7	0,86±0,05
B	15/10/92	18,3	18,0	2,6	0,49±0,08
Γ	23/10/92	17,3	16,6	1,8	0,82±0,03

3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, που περιγράφηκαν, λόγω του μικρού δείγματος, από το οποίο προέρχονται, αλλά και των ελλείψεων στην τεκμηρίωσή τους, δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά των κτιρίων κατοικίας και εργασίας που χρησιμοποιούν συστήματα φυσικού αερισμού, δηλαδή της μεγάλης πλειοψηφίας των κτιρίων στη χώρα μας. Έτσι, η χρησιμότητά τους περιορίζεται στον εμπλουτισμό του σχετικού αρχείου τιμών αερισμού κτιρίων. Το αρχείο αυτό, για λόγους που σχετίζονται με το κόστος και την πολυπλοκότητα των μετρήσεων, παραμένει στη χώρα μας φτωχό και απρόσφορο για παραγωγή αξιόπιστων στατιστικών αποτελεσμάτων.

Όμως, είναι ενδιαφέρον να ερευνήσουμε την αδυναμία εκτίμησης των συνθηκών αερισμού των κτιρίων στη Ελλάδα με χρήση αριθμητικών δεδομένων αν μπορούν να αμβλύνουν εναλλακτικές, ποιοτικές κατά βάση, προσεγγίσεις. Σχετικά, αναλύοντας τα κλιματικά, αρχιτεκτονικά και κατασκευαστικά δεδομένα στην Ελλάδα που, όπως εξηγήθηκε, αντιπροσωπεύουν τις κατηγορίες παραγόντων που διαμορφώνουν τις συνθήκες αερισμού των κτιρίων, μπορούμε να παρατηρήσουμε:

Το μεσογειακό τύπου κλίμα [11], που επικρατεί και στις τρεις κλιματικές ζώνες (Α, Β και Γ), στις οποίες είναι συμβατικά διαιρεμένη η χώρα, χαρακτηρίζεται από συνθήκες που εν γένει συντελούν σε μέσες ενεργειακές απώλειες, λόγω αερισμού, μικρότερες από τις αντίστοιχες άλλων χωρών βορειότερων γεωγραφικών πλατών [12, 13]. Οι ίδιες συνθήκες συνεπάγονται σχετικά ασθενέστερες τιμές των φυσικών αιτίων που προκαλούν τα φαινόμενα αερισμού (ανεμοπίεση, θερμοσιφονισμός) [14]. Εξαιτίας αυτού οι μέσες τιμές αερισμού των κτιρίων στη χώρα μας είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες σε κτίρια ισοδύναμης αεροπερατότητας κελύφους, που όμως βρίσκονται σε κλιματικά δυσμενέστερες περιοχές (π.χ. βορειότερα γεωγραφικά πλάτη). Επίσης, η έντονη αστικοποίηση των τελευταίων δεκαετιών έχει ήδη ως συνέπεια ότι μεγάλο μέρος των κτιρίων βρίσκονται υπό την επιρροή κλίματος αστικού τύπου



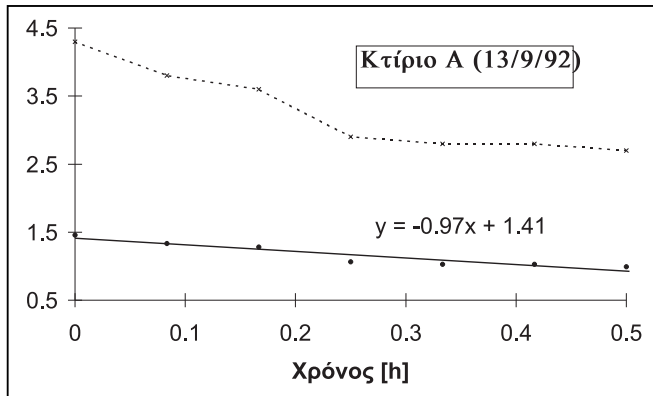
Σχήμα 10: Διαγράμματα μεταβολής των λογαρίθμων των συγκεντρώσεων του αέριου δείκτη με το χρόνο, κατά τις μετρήσεις αερισμού στο κτίριο του Κ.Α.Π.Ε. (Στο διάγραμμα σημειώνονται οι εξισώσεις των ευθειών ελαχίστων τετράγωνων).

Figure 10: Natural logarithms of tracer gas concentrations versus time during ventilation measurements at C.R.E.S.'s building, in Athens.

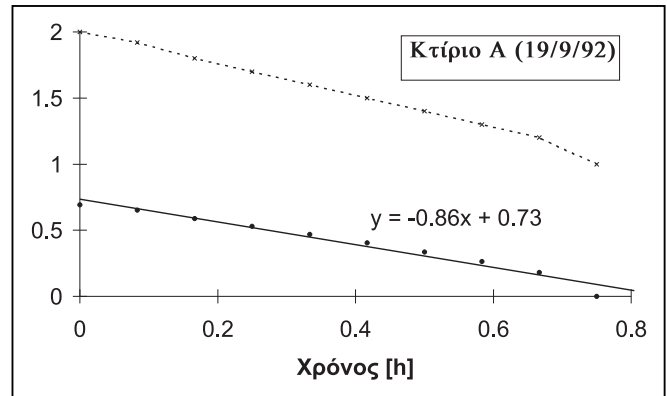
[11]. Το κλίμα αυτό συνδέεται με φαινόμενα (π.χ. νησίδες θερμότητας, μεγάλη τραχύτητα εδάφους, αέρια ρύπανση), που αφ' ενός συνεπάγονται περαιτέρω εξασθένηση των φυσικών αιτίων που προκαλούν αερισμό, αφ' ετέρου δε περιορίζουν τις ευεργετικές ιδιότητές του [14]. Στις επιδράσεις του κλίματος θα πρέπει, επίσης, να συνεκτιμηθούν οι αυξημένες ανάγκες σε δροσισμό, που σημειώνονται σε πολλές περιοχές της χώρας, για μεγάλη χρονική διάρκεια [15].

Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική στη χώρα μας (όπως σε κάθε χώρα) στοχεύει στη βέλτιστη αξιοποίηση των κλιματικών επιδράσεων για την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης και υγιεινής στο εσωτερικό των κτιρίων. Στο πλαίσιο αυτό ενσωματώνει στοιχεία που εγγυώνται ικανοποιητικές συνθήκες φυσικού αερισμού τους [16]. Η απομάκρυνση από τις αρχές της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, που σε μεγάλο βαθμό συμβαδίζει με την αστικοποίηση, αναπόφευκτα αντανακλά και στα χαρακτηριστικά εκείνα των κτιρίων που παρεμβαίνουν στις διεργασίες φυσικού αερισμού τους. Συγκεκριμένα, ορισμένα από τα στοιχεία, που επηρεάζουν τις συνθήκες αερισμού στην αστικού τύπου πολυκατοικία, που επικρατεί ως κτιριακός τύπος στις περισσότερες ελληνικές πόλεις, είναι τα εξής:

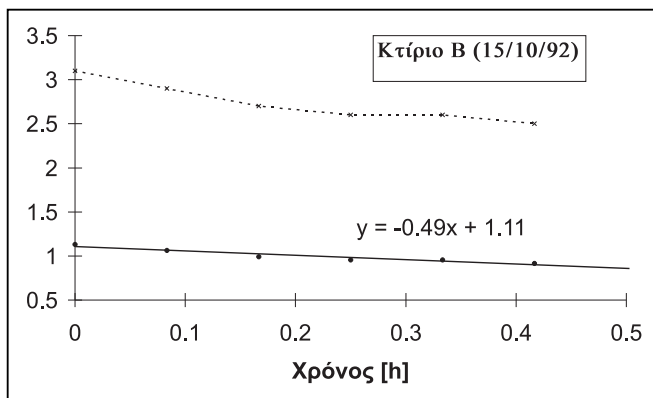
- πρισματική (ορθογώνια) στερεομετρία,
- σχετικά μικρός όγκος,
- σταθερά ύψη επάλληλων ορόφων,
- κλιμακοστάσιο στον πυρήνα,
- περίπου τετραγωνικές κατόψεις,
- σχετικά μικρές διαστάσεις δωματίων,
- πολλά ανοίγματα, ομοιόμορφα κατανομημένα στις όψεις,
- ανοίγματα συνήθως σε δύο αντίθετες όψεις,
- επάλληλοι πρόβολοι στις όψεις.



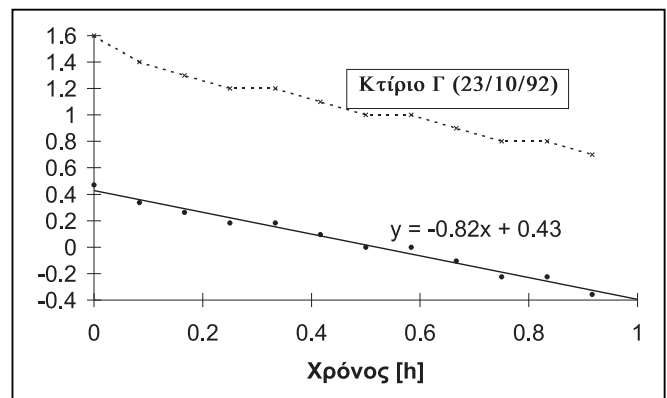
11α)



11β)



11γ)



11δ)

Σχήμα 11: Διαγράμματα μεταβολής των συγκεντρώσεων του αέριου δείκτη ως προς το χρόνο (διακεκομμένη γραμμή) και των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων των αντίστοιχων λογάριθμων (συνεχής γραμμή) στις μετρήσεις αερισμού στα κτίρια κατοικιών. (Στα διαγράμματα σημειώνονται οι εξισώσεις των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων).

Figure 11: Time variation of tracer gas concentrations (dotted line) and least square lines of corresponding natural logarithms (solid line) during ventilation measurements in residence buildings.

Για πολλά από τα παραπάνω στοιχεία, μολονότι είναι επισφαλές να αξιολογηθούν ανεξάρτητα από τις επικρατούσες συνθήκες, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι συμβάλλουν θετικά (από ποιοτική και ποσοτική άποψη) στον αερισμό των εσωτερικών χώρων [16]. Δηλαδή, στα κτίρια όπου συναντώνται, εξασφαλίζουν, υπό δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες και αεροπερατότητα του κελύφους, σχετικά αυξημένες τιμές αερισμού και ικανοποιητική ανάμιξη των εναλλασσόμενων αέριων μαζών.

Στον τομέα της κατασκευής, η χρήση του χυτού σκυροδέματος και των τούβλων, που τις τελευταίες δεκαετίες επικρατεί στην Ελλάδα, συνεπάγεται γενικά αεροστεγή κελύφη [12]. Από σχετικές μελέτες σε κτίρια διαφόρων τύπων του εξωτερικού προέκυψε ότι τα μεγαλύτερα ποσά διαφυγών του αέρα αντιστοιχούν στις εξής κατηγορίες ανοιγμάτων στο κέλυφος [17, 18]:

- στα σημεία επαφής προκατασκευασμένων στοιχείων,
- στα κουφώματα (μεταξύ των κινητών μερών και μεταξύ του κουφώματος και πλαισίου),
- ρωγμές και πόρους των στοιχείων του κελύφους από ξύλο και ελαφρά προκατασκευασμένα πανώ με επάλληλα μονωτικά στρώματα (light multi-layer walls),
- στη στέγη και τη σοφίτα,
- στα σημεία διέλευσης σωληνώσεων (ηλεκτροδότησης, ύδρευσης, θέρμανσης κ.λπ.), προκειμένου κυρίως για μικρά κτίρια (μονοκατοικίες),
- στο τζάκι.

Σε πρώτη εμπειρική προσέγγιση, από τις παραπάνω κατηγορίες ανοιγμάτων μόνο αυτή των κουφωμάτων φαίνεται ως επαρκώς πειστική για τα κτίρια στην Ελλάδα (οι υπόλοιπες είτε αντιστοιχούν σε στοιχεία που συναντώνται σπάνια, είτε δεν δικαιολογούνται από τις εφαρμοζόμενες κατασκευα-

στικές μεθόδους). Μάλιστα, αν υπολογίσουμε ότι τόσο τα κουφώματα αλουμινίου όσο και τα συνθετικά, που διαδίδονται τα τελευταία χρόνια, είναι γενικά λιγότερο αεροπερατά από τα ξύλινα, τότε και σε αυτή την κατηγορία φαίνεται να υπάρχει “πλεονέκτημα” αεροστεγάνωσης για τα κτίρια στην Ελλάδα. Η αεροστεγάνωση ενισχύεται, επίσης, από τη βελτίωση και διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής των κάθε κατηγορίας μονωτικών υλικών καθώς και τη διάδοση των λεγόμενων μοντέρνων δομικών υλικών (π.χ. πλαστικά) που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες [19]. Τα υλικά αυτά, εκτός του ότι συμβάλλουν σε μικρότερες τιμές αερισμού των κτιρίων, συχνά, με τους αέριους ρύπους που εκλύουν, επιβαρύνουν την ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό τους [20]. Μολονότι είναι λίγα τα διαθέσιμα στοιχεία [π.χ. 21], είναι πιθανό παρόμοια προβλήματα να απαντώνται και στη χώρα μας.

Η συνεισφορά των παραπάνω γενικών διαπιστώσεων στη διερεύνηση των συνθηκών αερισμού των κτιρίων στην Ελλάδα αναδεικνύεται κυρίως από την απουσία εγκυρότερων προσεγγίσεων. Θα πρέπει δε να αξιολογηθεί σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο αερισμός των κτιρίων είναι μέγεθος που, εκτός των ακραίων τιμών του, δεν προσεγγίζεται εμπειρικά (όπως π.χ. η θερμοκρασία).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις αερισμού σε πέντε κτίρια κατοικίας και εργασίας που πραγματοποιήθηκαν υπό ήπιες περιβαλλοντικές συνθήκες, σύμφωνα με τα σχετικά διεθνή πρότυπα, προέκυψαν τιμές μεταξύ 0,49 και 1,66 ac/h. Τα αποτελέσματα αυτά υπερβαίνουν, έστω και οριακά, τις 0,5 ac/h, τιμή που επικράτησε να θεωρείται κατώτερο όριο αερισμού κτιρίων όπου διαμένουν άνθρωποι, για εξασφάλιση ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα [π.χ. 22]. Ακόμη, εκτός από τις δύο ανώτερες τιμές, 1,59 και 1,66 ac/h, που προέρχονται από κτίριο με πρόδηλες κακοτεχνίες και φθορές στο κελυφός του, οι υπόλοιπες δεν υπερβαίνουν τη 1 ac/h, τιμή στην οποία κατά προσέγγιση ανάγονται (υπό ήπιες περιβαλλοντικές επιδράσεις) τα ανώτερα όρια αεροπερατότητας του κελύφους, που έχουν θεσπιστεί σε χώρες με έντονα προβλήματα ενεργειακών απωλειών στα κτίρια (πάνω από 2.000 βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης ετησίως) [12, 13]. Προκύπτει, συνεπώς, από τα αποτελέσματα ότι ο αερισμός των κτιρίων, στα οποία έγιναν οι μετρήσεις, εξασφαλίζει ικανοποιητική ποιότητα εσωτερικού αέρα και - με εξαίρεση το εργαστήριο του Γ.Π.Α. - μειωμένες απώλειες, κατά την περίοδο όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι δυσμενείς. Οι διαπιστώσεις αυτές, μολονότι πλεονεκτούν από το γεγονός ότι βασίζονται σε αριθμητικά στοιχεία, είναι δυστυχώς ανεπαρκείς για να χαρακτηρίσουν το σύνολο των κτιρίων στη χώρα μας.

Από την ανάλυση των κλιματικών, αρχιτεκτονικών και κατασκευαστικών δεδομένων που ισχύουν στη χώρα μας, το πλαίσιο, μέσα στο οποίο διαμορφώνονται οι συνθήκες αερισμού των κτιρίων, προβάλλει συγκεχυμένο. Έτσι, ενώ οι κλιματικές επιδράσεις και οι κατασκευαστικές μέθοδοι και τα δομικά υλικά συνηγορούν προς σχετικά χαμηλές τιμές αερισμού, αντίθετα, αρκετά από τα αρχιτεκτονικά στοιχεία και χαρακτηριστικά των κτιρίων ευνοούν τις υψηλότερες τιμές. Έτσι, η αποσαφήνιση του καθεστώτος, που συνθέτουν, τελικά, οι διαφορετικές επιδράσεις των παραγόντων, προϋποθέτει την ύπαρξη στατιστικά αξιόπιστων αριθμητικών δεδομένων.

Στη χώρα μας δεν υπάρχει αρχείο μετρήσεων αερισμού κατάλληλο για εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων. Από την άλλη μεριά, ο σχολιασμός των συνθηκών αερισμού των κτιρίων με βάση σχετικές μελέτες, που αφορούν σε άλλες χώρες, όπου κατά τεκμήριο επικρατούν διαφορετικές συνθήκες, είναι άστοχος. Άστοχος, επίσης, και αναποτελεσματικές είναι η υιοθέτηση προτάσεων και η άκριτη εφαρμογή μέτρων που στηρίζονται σε παρόμοιες μελέτες. Διαπιστώνεται, κατά συνέπεια, στο συγκεκριμένο πεδίο καθυστέρηση έναντι άλλων χωρών (κυρίως της Ευρώπης και της Β. Αμερικής), που έχουν από πολλά χρόνια αποκτήσει πλούσιες βάσεις σχετικών δεδομένων και αντλούν από αυτές πληροφορίες με μεγάλη πρακτική αξία (π.χ. ενεργειακή πολιτική).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Lyrberg, M.D., **Models of Infiltration and Natural Ventilation**, Swedish Institute for Building Research, M83:23, 1983, p. 36.
2. Feustel, H.E. and Dieris, J., A Survey of Airflow Models for Multi-zone Structures, **Energy and Building**, 18(2), 1992, pp.79-100.
3. Παπαμανώλης Ν. και Α. Φραγκουδάκης, Μέθοδοι Αέριων Δεικτών στον Υπολογισμό Αερισμού Κτιρίων, **Τεχν. Χρον., Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Α, 10(4)**, 1990, σελ. 151-174.
4. Παπαμανώλης Ν. και Α. Φραγκουδάκης, Μέθοδος Εφαρμογής Πίεσης για Μετρήσεις Αερισμού Κτιρίων και Αεροπερατότητας Δομικών Στοιχείων, **Τεχν. Χρον., Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Β, 12(1)**, 1992, σελ. 42-61.
5. Erhorn, H., Z. Herbak, C. Schmidt, M. Szerman, **Luftwechselformungen in drei Wohnungstypen des Demonstrationsvorhabens “Solar Village Lykovrissi”**, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, IBP-Bericht WB 54/1990, Stuttgart, 1990.
6. Κοϊνάκης Χ., Ν. Χρυσομαλλίδου και Δ. Μπίκας, Προσομοίωση και Μετρήσεις Διαφυγών Αέρα σε Δύο Περιπτώσεις Κτιρίων, **Τεχν. Χρον., Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τόμ. 15**, τεύχ. 1-3, 1995, σελ. 85-97.
7. Papamanolis N. and C. Koinakis, Air Change Rates in Buildings in Greece, **Proceedings of the Int. Conf. on Protection and Restoration of the Environment III**, Chania, 28 - 30 August 1996, pp. 517-524.
8. Papamanolis N., Progression of Formaldehyde Concentrations in a Recently Renovated Naturally Ventilated Building, **Int. Conf. “Healthy Buildings/IAQ ’97”**, Washington DC, USA, 28 Sep. - 2 Oct. 1997.
9. Charlesworth, P.S., **Air Exchange Rate and Airtightness Measurements Techniques - An Application Guide**, AIVC Technical Guide 2, 1988.
10. ASTM, **Test Method for Determining Air Leakage Rate by Tracer Dillution**, Standard E741-83(1990), 1990.
11. Ζαμπάκας, Ι.Δ., **Γενική Κλιματολογία**, Αθήνα, 1981, σελ. 494.
12. Elmroth A. and P. Levin, **Air Infiltration Control in Housing, A Guide to International Practice**, Swedish Council of Building Research, D2:1983, Stockholm, Sweden, 1983, p. 410.

13. Liddament M.W., **A Guide to Energy Efficient Ventilation**, Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), 1996, p. 254.
14. Kobysheva, N.V., **Guidance Material on the Calculation of Climatic Parameters used for Building Purposes**, W.M.O., Technical Note No 187, 1992, p. 210.
15. Tselepidaki I., M. Santamouris and D. Melitsiotis, Analysis of the Summer Ambient Temperatures for Cooling Purposes, **Solar Energy**, Vol. **50**, no 3, 1993, pp. 197-204.
16. Παπαμανώλης Ν., Θεωρητική και Πειραματική Διερεύνηση στην κατεύθυνση Βέλτιστης Αξιοποίησης του Φυσικού Αερισμού των Κτιρίων στο Σχεδιασμό, **διδακτορική διατριβή**, Α.Π.Θ. 1991, σελ. 400.
17. Reinhold, G. and R. Sonderegger, Component Leakage Areas in Residential Buildings, **Proceedings of the 4th IEA Conference of the AIC**, Elm, Switzerland, 1983.
18. ASHRAE, **Fundamentals**, Chapter 23, 1993, pp. 23.1-23.23
19. Moore F., **Environmental Control Systems, Indoor Air Pollution**, McGraw-Hill, Inc., USA, 1993, 262-264.
20. Namiesnik, J.; Gorecki, T.; Kozdron-Zabiegala, B., et al., Indoor Air Quality (IAQ), Pollutants, Their Sources and Concentration Levels, **Building and Environment**, Vol. **27**, no 3, 1992, pp. 339-356.
21. Lagoudi, A., M. Loizidou, M. Santamouris, D. Asimakopoulos, Symptoms Experienced, Environmental Factors and Energy Consumption in Office Buildings, **Energy and Building**, Vol. **24**, 1996, pp. 237-243.
22. ASHRAE, **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, Standard 62-1989, 1989.

Extended summary

Contribution to Natural Ventilation Research. Air Change Rate Measurements in Five Buildings

N. K. PAPAMANOLIS

Dr Architect

Abstract

This paper presents ventilation measurements under real environmental conditions for buildings in Greece. It concerns a group of ten (10) measurements in five (5) different work and residence buildings that were conducted during the second part of 1992, under normal environmental conditions for the corresponding period, using the tracer gas decay method. The results from these measurements were found to be between 0.49 and 1.66 ac/h. The paper also attempts an estimation of the natural ventilation conditions in buildings in Greece based on the analysis of the factors influencing their natural process, namely, the climatic, architectural and constructional conditions.

Natural ventilation conditions in buildings are influenced by the existing environmental conditions and their architectural and constructional characteristics.

Provided that the above factors are known, the air change rate in a building is theoretically determinable by analytical methods. However, considering that the utilization of such methods is difficult in practice, measurements are advantageous since they are immediate and accurate.

In this study, building ventilation measurements under real conditions are presented. It concerns a group of ten (10) measurements that were conducted by tracer gas decay methods in five (5) different buildings in Greece.

The paper also discusses the climatic, architectural and constructional conditions in Greece in order to draw conclusions which are able to characterize the ventilation conditions in the large majority of houses that use natural ventilation systems.

The buildings where the measurements were conducted were:

- A room in the Laboratory of Construction at the Agricultural University of Greece (Figures 1 and 2).
- The ground floor in the office building of the Center of Renewable Energy Sources (C.R.E.S.) at Pikermi, Attica (Figure 3).

- Three residence buildings (two in Thessaloniki and one in Athens) (Figures 4, 5, 6 and 7).

Of the above buildings, the Laboratory of Construction has the least airtight shell due to malconstructions and deterioration. Of the residence buildings, one is a penthouse in a multi-storey building approximately 15 years old (when the measurement was conducted), another is a flat on the first floor of a newly-constructed block, and the third is an old detached house (approx. 65 years old).

The equipment used in the measurements included a portable gas analyzer, a metal capsule, 20 l, to transfer the tracer gas (N₂O or SF₆) and also thermometers for recording the internal and external air temperatures, and anemometers for measuring the wind characteristics.

Prior to each measurement, all the external doors and windows in the building shell were checked and closed (the internal doors were left open). In all the cases the procedure involved the release of a small quantity of tracer gas (N₂O or SF₆) into the area and the agitation of this gas so as to ensure the best possible mixing. When air stillness was achieved, the main stage of measurement began, which involved the observation and recording of the reducing concentration of the tracer gas at a constant point in the room.

The results, as they are calculated from the slope of the least square line of the natural logarithms of the tracer gas concentration, reflect the air change rate at the fixed point where the experiment took place, within the set time and under the particular conditions of the experiment. Consequently, in order to obtain the best results, extra care was taken so as to choose a representative sampling point and, moreover, to ensure that the existing environmental conditions (temperature and wind) were close to the normal at the place where the measurements were taken.

In the Laboratory of Construction, at the Agricultural University of Athens, two measurements were taken, from which values of 1.59 ± 0.03 and 1.66 ± 0.01 ac/h respectively were recorded (Figures 8 and 9).

In the C.R.E.S. building, because of its large area, measurements were taken at two different points, A and B (Figure 3), which were chosen as being representative of the internal and peripheral rooms, respectively. In the latter, due to the direct proximity to the air permeable shell, the ventilation values were found to be about 10 - 15 % higher. More specifically, on the 12th of October the ventilation value in position B was calculated at 0.57 ± 0.05 as against 0.50 ± 0.10 ac/h in position A, while on the 17th of November the value in position B was found to be 0.60 ± 0.03 , as compared with 0.54 ± 0.04 ac/h in position A (Figure 10).

For the ventilation measurements taken in residential buildings, N₂O was used as tracer gas. The results (Figure 11) are presented synoptically in Table 1. By comparing these values, they rationally appear to reflect the intensity of the driving mechanism of ventilation (mostly wind speed), throughout the duration of the measurements, and the quality of the building shell.

The results of the measurements taken and presented in this study exceed the value 0.5 ac/h, a value which, despite the different viewpoints, tends to be considered as the minimum limit of ventilation, in both residential and office buildings, which is required to ensure a satisfactory indoor air quality. Ventilation values over 0.5 ac/h generally ensure better preconditions for the quality of the internal environment but result in higher energy losses under adverse environmental conditions. In countries where the problems of energy losses from buildings are greater (over 2000 Degree Days of heating and/or cooling per annum), higher limits for the airtightness of the shell have been set. The conversion of corresponding limits is usually approximately 1 ac/h, under calm environmental conditions. Therefore, excluding the two maximum values, 1.59 and 1.66 ac/h, which correspond to a building with obvious malconstruction and deterioration of its shell, we can establish that the results of the measurements ensure, for the buildings they represent, a rather satisfactory quality of indoor air and reduced ventilation losses during the period when the environmental conditions are unfavorable. These evaluations are based on numerical data and that is why they have an advantage over the approximation of a property which, with the exception of extreme cases, cannot be estimated empirically. Unfortunately, these findings, due to the limited data from which they resulted and the deficiencies in their documentation, cannot be considered as representative of the majority of the naturally ventilated buildings in Greece.

Alternatively, it is interesting to investigate the ability to approximate the natural ventilation conditions in buildings in Greece by employing qualitative approaches. Towards this aim, by analyzing the climatic, architectural and construc-

tional conditions in Greece, which reflect the categories of factors which together formulate the ventilation conditions of the buildings, it can be observed that:

The Mediterranean-type climate found in Greece is characterized by conditions which naturally lead to medium-sized ventilation energy losses and which are smaller than those of other countries at higher geographical latitudes. The same conditions generally involve lower values of the driving mechanism of natural ventilation (wind effect, stack effect). For that reason, the average ventilation values of buildings in Greece are lower than those in buildings with equally airtight shells, which are in areas with a more adverse climate (e.g. higher geographical latitudes). Furthermore, the great urbanization of recent decades has already meant that a large proportion of the buildings are under the influence of an urban-type climate. This climate is connected with various phenomena (e.g. heat island, increased ground roughness, air pollution) which, on one hand, involve further weakening of the driving mechanism of ventilation and, on the other hand, restrict its beneficial characteristics. Concerning the climatic influence, we should also bear in mind that in many areas in Greece there is an increasing need for cooling throughout a large period of the year.

The effects of urbanization are connected with the architectural characteristics of the buildings which intervene in the process of natural ventilation. More specifically, it could be argued that certain features of the urban-type residential multi-storey building, which is the most common building type in most Greek cities, contribute positively (both in terms of quality and quantity) to the ventilation of the internal space. Therefore, in buildings with these architectural characteristics, relatively high ventilation values and the satisfactory mixing of the alternating air masses are ensured, under fixed environmental conditions, and assuming the airtightness of the shell. The same is also true for the buildings of traditional architecture in our country, where their environmentally based design ensures perfect conditions of natural ventilation.

Regarding the construction of buildings, it can be argued that cast concrete and bricks, which have been common in Greece in recent decades, generally produce airproof shells. Of the categories of infiltration openings in the shell, which according to related studies are found more often in buildings abroad, only those relating to window and door frames seem to be particularly applicable to Greece (the others either relate to building elements that are rarely used or that cannot be justified by the constructional methods employed). Of course, if we consider that aluminum and synthetic frames, which have been popular in recent years, are generally less air permeable than wooden ones, then there seems to be an

additional advantage of airtightness for buildings in Greece in this category as well. Moreover, the improvement and the widening of the range of application of each category of insulating material over the last decade, as well as the introduction of so-called modern building materials (e.g. plastic) have resulted in buildings with more airtight shells and consequently lower average ventilation values. These facts, of course, in combination with the air pollutants emitted from these materials, make the air quality in the building interior even worse. And despite the little available data, it is highly likely that similar problems can be found in Greece as well.

Considering the above, the framework within which the ventilation conditions in buildings in Greece are formulated is vague. Some factors seem to favor relatively low ventilation values in the buildings, whereas the influence of other factors is counterbalancing. Nevertheless, the contribution of the general conclusions which resulted from the analysis, to the research of the natural ventilation conditions in buildings in Greece should be judged in relation to the lack of more reliable information (e.g. statistical outputs from a robust data base).

From the above it became clear that, in order to determine the situation resulting from the various effects of the factors which determine the ventilation conditions in buildings in Greece, it is necessary to employ appropriate numerical data. In relation to this, any comments made on the ventilation characteristics of buildings which are based on related studies concerning other countries in which, by inference, there are different climatic, architectural and constructional conditions, are unsuccessful. The same is also true for the thoughtless implementation of measures which concern other countries. Unfortunately, in Greece there is no record of similar measurements which could be used to compare data and draw valid conclusions. For that reason, progress in this particular field has been slow as compared with in other countries (mainly European and North American countries) which have acquired soundly-based relevant data over the years, and from which information of practical value can be drawn (e.g. energy policy).