

## Ο ΒΡΑΧΥΧΡΟΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΩΣ ΠΑΡΑΓΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

**Ν. Παπαμανώλης**

Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
541 24 Θεσσαλονίκη, e-mail: npapama@arch.auth.gr

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία μελετά το φαινόμενο του βραχύχρονου αερισμού δια μέσου μεγάλων ανοιγμάτων και τις συνέπειες του στις ανταλλαγές θερμικής ενέργειας στα κτίρια. Η μελέτη βασίζεται στην εφαρμογή ενός θεωρητικού μοντέλου και στα ευρήματα σχετικών πειραμάτων που έγιναν υπό ελεγχόμενες (σε ειδικούς θαλάμους) και υπό πραγματικές συνθήκες. Τα συμπεράσματα λαμβάνουν υπόψη τα κλιματικά, αρχιτεκτονικά και κατασκευαστικά δεδομένα που ισχύουν για τα κτίρια στην Ελλάδα.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι απώλειες λόγω αερισμού (ventilation losses) καλύπτουν σημαντικό ποσοστό των συνολικών απωλειών ενέργειας στα κτίρια, ακόμη και σε ήπια κλίματα. Σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια, οι συνολικές τιμές αερισμού τους αναλύονται σε δύο βασικές συνιστώσες. Η πρώτη συνιστώσα αντιστοιχεί στη διείσδυση του αέρα μέσα από μικρά ανοίγματα (ρωγμές) που αναπόφευκτα υπάρχουν στο κέλυφος κάθε κτιρίου, ανεξάρτητα από τα χρησιμοποιούμενα υλικά και τις εφαρμοζόμενες κατασκευαστικές τεχνικές (infiltration). Η δεύτερη συνιστώσα αντιστοιχεί στην εναλλαγή του αέρα μέσα από ανοίγματα στο κέλυφος που έχουν προβλεφθεί για να καλύπτουν τις ανάγκες αερισμού των εσωτερικών χώρων, είτε επί τούτου, είτε σε συνδυασμό με άλλες λειτουργίες (π.χ. κουφώματα). Μια ειδική περίπτωση αερισμού που, σύμφωνα με την παραπάνω κατάταξη, υπάγεται στη δεύτερη κατηγορία, είναι ο βραχύχρονος αερισμός (airing), δηλαδή, αυτός που συμβαίνει κατά το ελεγχόμενο άνοιγμα ενός εξωτερικού κουφώματος για σύντομο χρόνο. Ο βραχύχρονος αερισμός μπορεί να προκύψει ακούσια, κατά την εξυπηρέτηση μιας λειτουργίας άσχετης με τον αερισμό των εσωτερικών χώρων (π.χ. διέλευση). Κατά κανόνα όμως, όταν αναφερόμαστε σ' αυτόν, εννοούμε την εκούσια παρέμβαση με στόχο τη βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος (απομάκρυνση αέριων ρύπων ή θερμικών φορτίων).

Ο αερισμός δια μέσου μεγάλων ανοιγμάτων και ειδικότερα ο βραχύχρονος αερισμός, δεν έχουν μελετηθεί στην έκταση που έχει γίνει αυτό για τη διείσδυση του αέρα μέσα από το κέλυφος των κτιρίων. Ως συνέπεια, υπάρχει σχετική υστέρηση και στη μελέτη των ενεργειακών συνεπειών των αντίστοιχων μηχανισμών. Σχετικά, είναι χαρακτηριστικό ότι στους υπολογισμούς του ενεργειακού ισοζυγίου των κτιρίων λαμβάνεται υπόψη μόνο η διείσδυση.

Στην εργασία εξετάζονται οι σχετικές με την εναλλαγή του αέρα διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά το άνοιγμα ενός μεγάλου ανοίγματος στο κέλυφος ενός κτιρίου. Για το σκοπό αυτό αξιοποιούνται τα αποτελέσματα της εφαρμογής ενός μαθηματικού μοντέλου και τα ευρήματα σχετικών πειραμάτων που έγιναν σε ειδικούς θαλάμους και υπό πραγματικές συνθήκες. Τα πορίσματα της μελέτης προεκτείνονται και στον ενεργειακό τομέα. Ειδικότερα, επιχειρείται η εκτίμηση του αν και κατά πόσο οι ανταλλαγές ενέργειας που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των εσωτερικών χώρων και του περιβάλλοντος, κατά τις περιόδους βραχύχρονου αερισμού ενός κτιρίου είναι σημαντικές. Μάλιστα, η εκτίμηση αυτή γίνεται με βάση τα κλιματικά δεδομένα και τις εν γένει συνθήκες που ισχύουν στην Ελλάδα και παρεμβαίνουν στην εξέλιξη των σχετικών φαινομένων.

## 2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

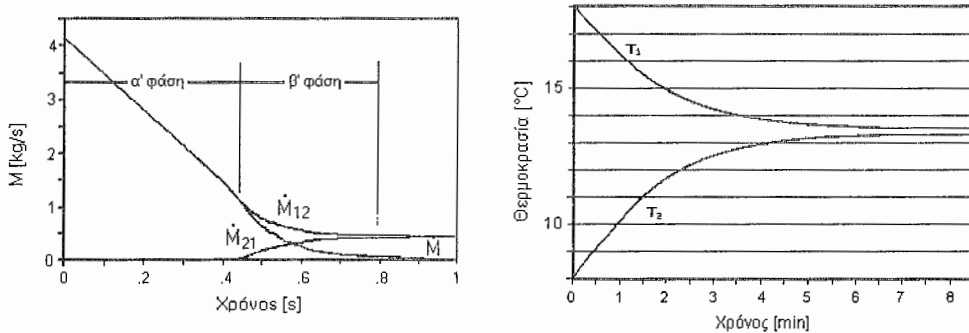
Ο αερισμός δια μέσου των μεγάλων ανοιγμάτων παρουσιάζει αρκετές διαφορές από τη διείσδυση του αέρα μέσα από τα δομικά στοιχεία. Βασική διαφορά των δύο φαινομένων είναι ότι ενώ η διείσδυση είναι ανεξέλεγκτη και ουσιαστικά αδιάκοπη, η εναλλαγή το αέρα μέσα από τα ανοίγματα υπόκειται στη βούληση των ενοίκων. Ανάλογα, ο έλεγχος των τιμών αερισμού και των συνεπαγόμενων θερμικών απωλειών, για μεν την περίπτωση της διείσδυσης απαιτεί εφαρμογή εξειδικευμένων και συχνά δαπανηρών μέτρων αεροστεγάνωσης του κελύφους (air-tightness) [1], ενώ, για τη περίπτωση των μεγάλων ανοιγμάτων, είναι πρακτικά εύκολος στο βαθμό που ανάγεται απευθείας στον έλεγχο των ίδιων των ανοιγμάτων. Η βασική αυτή διαφορά τους αντανακλά και στον τρόπο με τον οποίο οι δύο μηχανισμοί υπεισέρχονται στη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου των φυσικά αεριζόμενων κτιρίων. Στα ψυχρά κλίματα, η συνιστώσα της διείσδυσης είναι, στατιστικά, σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αερισμού μέσα από τα ανοίγματα στο κέλυφος, ενώ, ανάλογη είναι και η σχέση μεταξύ των απωλειών που συνεπάγονται. Κατά τη μετάβαση όμως σε πιο θερμά κλίματα, τα μεγέθη μεταβάλλονται. Η μεγαλύτερη συχνότητα με την οποία σημειώνονται στο περιβάλλον συνθήκες ευνοϊκότερες από αυτές που επικρατούν στο εσωτερικό των κτιρίων, σε συνδυασμό με τις ανάγκες για δροσισμό, ευνοούν το άνοιγμα των εξωτερικών ανοιγμάτων για περισσότερο χρόνο. Συνεπώς, η αναλογία αυξάνει υπέρ του αερισμού από τα μεγάλα ανοίγματα. Τη μεταβολή όμως αυτή δεν την ακολουθεί και η σχέση μεταξύ των απωλειών εφόσον ο αερισμός των κτιρίων και ειδικότερα αυτός μέσα από τα μεγάλα ανοίγματα, συναρτάται και με ενεργειακά οφέλη (π.χ. δροσισμός) [2].

Στην Ελλάδα, τα κλιματικά δεδομένα συντελούν στην επικράτηση ευνοϊκών συνθηκών στο περιβάλλον για μεγάλες περιόδους του έτους. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, ο αερισμός των κτιρίων, από ενεργειακής άποψης, είναι μάλλον ευεργετικός, ανεξάρτητα από τον τύπο των ανοιγμάτων δια μέσου των οποίων λαμβάνει χώρα. Αντίθετα, τόσο κατά την ψυχρή όσα και κατά τη θερμή περίοδο, όταν στο περιβάλλον επικρατούν αντίξοες συνθήκες, οι απώλειες λόγω αερισμού αυξάνουν σημαντικά [3]. Στις αντίστοιχες περιόδους, με δεδομένη τη δυσκολία ελέγχου των απωλειών λόγω διείσδυσης, ο έλεγχος των εξωτερικών ανοιγμάτων συμβάλει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ειδικότερα, ο έλεγχος αυτός είναι κρίσιμος για το ενεργειακό ισοζύγιο των φυσικά αεριζόμενων κτιρίων, που αποτελούν την πλειοψηφία των κτιρίων κατοικίας και εργασίας στην Ελλάδα.

### 3. Ο ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΜΕΓΑΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

Οι μηχανισμοί που προκαλούν διαφορά πίεσης στα στοιχεία του κελύφους των κτιρίων είναι ο άνεμος και η διαφορά εσωτερικής-εξωτερικής θερμοκρασίας. Υπό την επίδραση αυτών των μηχανισμών, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό, η διαμόρφωση του πεδίου των πιέσεων στο κέλυφος εξαρτάται όχι μόνο από την αεροπερατότητά του αλλά και από τον τύπο των ανοιγμάτων που την προσδιορίζουν. Επίσης, υπό δεδομένη διαφορά πίεσης, τα χαρακτηριστικά της ροής του αέρα μέσα από ανοίγματα σε δομικά στοιχεία εξαρτώνται από την επιφάνεια και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Ως αποτέλεσμα, οι διεργασίες εναλλαγής του αέρα μέσα από μικρά και μεγάλα ανοίγματα παρουσιάζουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους [4].

Στα διαγράμματα του Σχήματος 1 συνοψίζονται τα βασικά πορίσματα από την εφαρμογή ενός θεωρητικού μοντέλου εναλλαγής αέρα δια μέσου ενός μεγάλου ανοίγματος (πόρτα) που συνδέει δύο χώρους διαφορετικής θερμοκρασίας [5]. Το πρώτο διάγραμμα αποτυπώνει τη μεταβολή των παροχών του αέρα μέσα από το άνοιγμα με το χρόνο ( $\dot{M}_{12}$  συμβολίζει τη ροή από το χώρο 1 προς το χώρο 2,  $\dot{M}_{21}$  την αντίστροφη ροή και  $\dot{M}$  τη συνισταμένη τους). Το δεύτερο διάγραμμα αποτυπώνει τη μεταβολή με το χρόνο της θερμοκρασίας στους δύο χώρους,  $T_1$  και  $T_2$  αντίστοιχα.

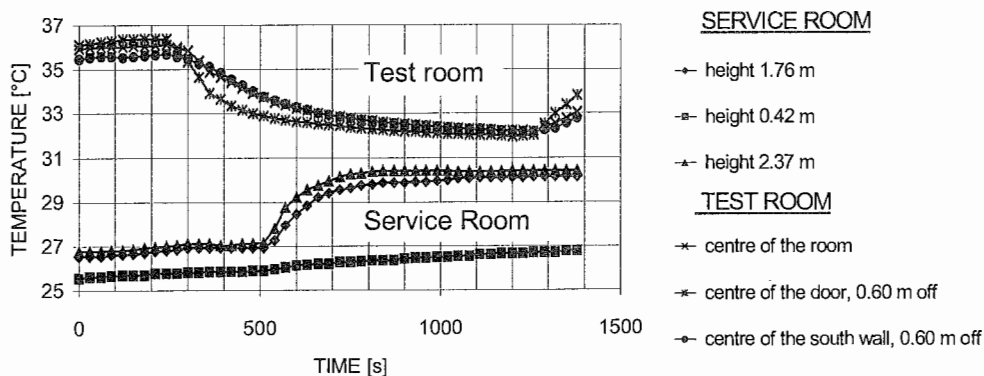


Σχήμα 1: Εξέλιξη του αερισμού και της θερμοκρασίας δύο χώρων μετά την αποκατάσταση επικοινωνίας δια μέσου ενός μεγάλου ανοίγματος.

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο, η διαδικασία εναλλαγής του αέρα μεταξύ δύο χώρων μπορεί να διακριθεί σε τρεις φάσεις. Κατά τις δύο πρώτες φάσεις σημειώνονται ανισομεγέθεις παροχές του αέρα προς τις δύο διευθύνσεις. Αντίθετα, η τρίτη φάση χαρακτηρίζεται από ίσες παροχές δια μέσου του ανοίγματος που, με συνεχή πτώση των απόλυτων τιμών τους, ακολουθούν την πορεία μηδενισμού της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο χώρων. Η τελευταία αυτή φάση, που ως προς τη διάρκειά της υπερσχύει σαφώς έναντι των άλλων δύο, είναι η πλέον καθοριστική για τη διεργασία, τόσο από πλευράς αερισμού όσο και ως προς τις συνέπειές της στις ενεργειακές ανταλλαγές που λαμβάνουν χώρα παράλληλα.

Τα παραπάνω επαληθεύονται σε γενικές γραμμές και από μια σειρά πειραμάτων που έγιναν σε κατάλληλη πειραματική διάταξη (test cell) και αφορούσαν τη μελέτη των διεργασιών που σχετίζονται με τις εναλλαγές αέρα μεταξύ δύο θαλάμων που επικοινωνούν δια μέσου ενός μεγάλου ανοίγματος (πόρτα) [6]. Από το σύνολο των ευρημάτων αυτών των πειραμάτων, εν-

διαφέρον έχει το διάγραμμα του Σχήματος 2 όπου αποτυπώνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό των δύο θαλάμων. Σύμφωνα με αυτό, μετά την αποκατάσταση της επικοινωνίας μεταξύ των δυο θαλάμων (περίπου στα 300 s), η διαφορά της μεταξύ τους θερμοκρασίας του αέρα μειώνεται συνεχώς μέχρι μιας ελάχιστης τιμής που εδραιώνεται μετά από περίπου 15 min όταν, σύμφωνα και με τις ενδείξεις των κατάλληλων αισθητήρων, επιτυγχάνεται πλήρης ανάμιξη των εναλλασσόμενων αέριων μαζών.



Σχήμα 2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το χρόνο κατά την αποκατάσταση επικοινωνίας δια μέσου ενός μεγάλου ανοίγματος μεταξύ δύο θαλάμων.

Μολονότι στις παραπάνω μελέτες απουσιάζει ο άνεμος ως μηχανισμός πρόκλησης διαφοράς πίεσης, είναι ενδεχόμενο ότι η παρουσία του, τουλάχιστον στα χρονικά πλαίσια που εξετάζονται, δεν θα διαφοροποιούσε δραματικά τα αποτελέσματα, δεδομένου του περιορισμένου εύρους τιμών που μπορεί να λάβει το πεδίο των ανεμοπιέσεων στην επιφάνεια ενός μόνο ανοίγματος [7]. Η παρατήρηση αυτή παύει φυσικά να ισχύει στην περίπτωση του διαμερούς αερισμού, ενώ, ακόμη και στο μονόπλευρο αερισμό, η συμμετοχή του άνεμου, ιδιαίτερα σε υψηλές ταχύτητες, δεν μπορεί να θεωρείται αμελητέα [4].

Μία τρίτη ομάδα στοιχείων για τις διεργασίες αερισμού από μεγάλο άνοιγμα προέρχεται από ένα πείραμα υπό πραγματικές συνθήκες που αφορούσε το μονόπλευρο αερισμό ενός δωματίου επιφάνειας περίπου  $10 \text{ m}^2$  από παράθυρο διαστάσεων  $1.20 \times 1.40 \text{ m}$  [8]. Το πείραμα περιελάμβανε καταγραφή των συγκεντρώσεων ενός αέριου δείκτη ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και των τιμών εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η ροή του αέρα από το παράθυρο, ουσιαστικά μηδενίστηκε περίπου 7 λεπτά μετά το άνοιγμά του (Αρχική τιμή:  $8.57 \text{ ac/h}$ ), ενώ, μέσα στο ίδιο διάστημα, εξισώθηκαν και οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό του δωματίου και στο περιβάλλον (Αρχικές τιμές:  $T_{\text{εσ}} = 19^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{εξ}} = 7^\circ\text{C}$ ). Το συγκεκριμένο πείραμα έγινε υπό συνθήκες ασθενούς ανέμου (Ταχύτητες ανέμου:  $0.28\text{-}0.84 \text{ m/s}$ ).

### 3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΡΑΧΥΧΡΟΝΟ ΑΕΡΙΣΜΟ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο βραχύχρονος αερισμός στα φυσικά αεριζόμενα κτίρια είναι μία πάγια και αρκετά αποτελεσματική πρακτική για την αντιμετώπιση κάποιων περιστατικών που υποβαθμίζουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ειδικότερα, με αυτόν επιδιώκεται είτε η απομάκρυνση

αέριων ρύπων που εκλύονται κατά τη διάρκεια επεισοδίων εσωτερικής ρύπανσης (π.χ. κάπνισμα) είτε η διάχυση υπερβολικής θερμότητας που παράγεται από πηγές ή δραστηριότητες μέσα στο κτίριο. Η πρακτική του βραχύχρονου αερισμού είναι αρκετά συνηθισμένη στα κτίρια κατοικίας στην Ελλάδα όπου, εκτός από τις κλιματικές συνθήκες, την ευνοούν και οι επικρατούσες αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές επιλογές που θέλουν εξωτερικά ανοίγματα σε όλα τα δωμάτια κύριας χρήσης και εύκολα στην πρόσβαση και λειτουργία τους εξωτερικά κουφώματα.

Ο βραχύχρονος αερισμός, ως ενέργεια που στοχεύει στη βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος, εξ'ορισμού καταγράφει ενεργειακά οφέλη. Όμως, κατά τις περιόδους που στο περιβάλλον επικρατούν αντίξοες συνθήκες, αναπόφευκτα συνοδεύεται και από απώλειες που αντιστοιχούν στη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα [2]. Μάλιστα, κατά τη διάρκεια που εξελίσσεται το φαινόμενο, τα μεγέθη των αντίστοιχων απωλειών είναι σχετικά αυξημένα εξ αιτίας της συντριπτικής υπεροχής των διαστάσεων ενός συμβατικού μεγάλου ανοίγματος έναντι του συνόλου των μικρών ανοιγμάτων δια μέσου των οποίων λαμβάνει χώρα η διείσδυση.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση του φαινομένου, ο μονόπλευρος αερισμός από μεγάλα ανοίγματα είναι μία διαδικασία που, τουλάχιστον υπό συνθήκες άπνοιας ή ασθενούς ανέμου, πρακτικά εξελίσσεται σε σύντομο χρόνο. Στις περιπτώσεις που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη – για τις οποίες τόσο οι διαστάσεις των χώρων και των ανοιγμάτων όσο και οι διαφορές εσωτερικής-εξωτερικής θερμοκρασίας επιλέχθηκαν ώστε να προσεγγίζουν τα Ελληνικά δεδομένα – η διάρκειά του κυμάνθηκε περί τα 10 λεπτά. Αν δεχθούμε ότι μέσα σε αυτό το χρόνο πραγματοποιείται μία πλήρης εναλλαγή του αέρα στο χώρο που επικοινωνεί με το περιβάλλον, τότε καταλήγουμε στην προσέγγιση ότι κατά το βραχύχρονο αερισμό επιτυγχάνεται αερισμός περίπου ανάλογος με αυτόν που υπό κανονικές συνθήκες επιτυγχάνεται με τη διείσδυση σε μία ώρα (αν δεχθούμε ως αντιπροσωπευτική για τη διείσδυση την τιμή 1 ac/h). Επί πλέον, ο εκθετικός ρυθμός πτώσης των τιμών των παροχών δια μέσου του ανοίγματος, ουσιαστικά αυξάνει ακόμη περισσότερο την αποτελεσματικότητα του φαινομένου, περιορίζοντας ταυτόχρονα τη διάρκεια των συνεπειών του.

Ένας πρόχειρος υπολογισμός των θερμικών ανταλλαγών που συνοδεύουν τις διεργασίες αερισμού στα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν στη μελέτη, τις ανεβάζει σε αρκετές δεκάδες kcal. Το μέγεθος αυτό, μολονότι από μόνο του δεν είναι εντυπωσιακό, συσσωρευτικά και για μεγάλες χρονικές περιόδους μπορεί να σημαίνει σημαντική επιβάρυνση του θερμικού ενεργειακού ισοζυγίου ενός κτιρίου. Σε κάθε περίπτωση, ο βραχύχρονος αερισμός, ως παράγων θερμικών απωλειών, δεν είναι σωστό να αγνοείται, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου αυτός ως συνήθεια και πρακτική είναι διαδεδομένος. Αντίθετα, η συμπερίληψή του στους ενεργειακούς υπολογισμούς σε κτίρια είναι βέβαιο ότι θα συμβάλει σε πιο ρεαλιστικές προσεγγίσεις και συμπεράσματα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. A. Elmroth and P. Levin, 'Air Infiltration Control in Housing, A Guide to International Practice', Swedish Council of Building Research, D2:1983, Stockholm, Sweden (1983).
2. M.W. Liddament, 'A Guide to Energy Efficient Ventilation', Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC) Technical Guide, U.K., 1996, p. 254.

3. Παπαμανώλης Ν., 'Ο Φυσικός Αερισμός ως Παράγων Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Κτίρια στην Ελλάδα', Πρακτικά της Δημερίδας του ΤΕΕ για τις Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας, Αθήνα, 18 - 19 Οκτωβρίου 2000, σελ. 6. (Υπό έκδοση)
4. ASHRAE Fundamentals, Chapter 22: Natural Ventilation and Infiltration, 1985.
5. Παπαμανώλης Ν., 'Θεωρητική και Πειραματική Διερεύνηση στην Κατεύθυνση Βέλτιστης Αξιοποίησης του Φυσικού Αερισμού των Κτιρίων στο Σχεδιασμό', Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 1992, σελ. 380.
6. Paramanolis N., M. Santamouris, E. Dascalaki, A. Argiriou and D.N. Asimakopoulos, 'Experimental Approach of Air Flow through a Door Connecting Rooms with Different Temperature', Proceedings of the AIVC 18th Annual Conference, Athens, 23 - 26 September 1997, pp. 592-599.
7. Newberry C.W. and K.J. Eaton, 'Wind Loading Handbook', Building Research Establishment (BRE) Report, 1974, p. 74.
8. Κοϊνάκης Χ. και Ν. Παπαμανώλης, 'Πειραματική Διερεύνηση της Επίδρασης του Φυσικού Αερισμού στο Ενεργειακό Ισοζύγιο Κτιρίων', Πρακτικά του 5ου Εθνικού Συνεδρίου του Ινστιτούτου Ηλιακής Τεχνικής για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Αθήνα, 6 - 8 Νοεμβρίου 1996, σελ. 295-303.