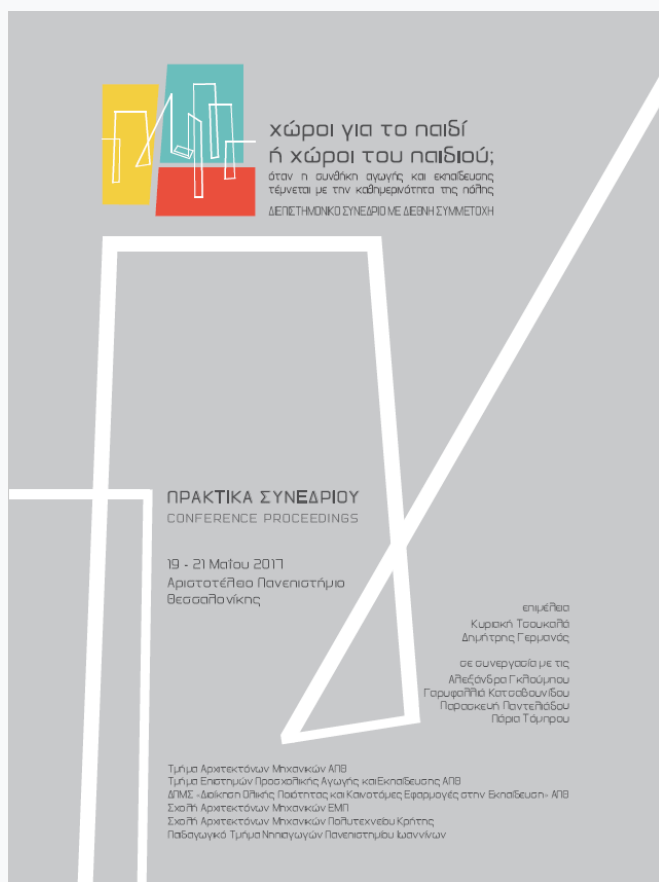


Children's Spaces or Spaces for Children?

Vol 1 (2018)

Conference Proceedings 'Children's Spaces or Spaces for Children? When education intersects with the everyday life in the city'



School classroom and thermal comfort: research of indoor environmental conditions through field study

Αθηνά Κωνσταντινίδου (Athina Konstantinidou), Κλειώ Αξαρηλή (Kleo Axarli)

doi: [10.12681/χπ.1415](https://doi.org/10.12681/χπ.1415)

Σχολική αίθουσα και θερμική άνεση: μελέτη εσωκλιματικών συνθηκών μέσω έρευνας πεδίου

School classroom and thermal comfort: research of indoor environmental conditions through field study

Αθηνά Κωνσταντινίδου

Αρχιτέκτων Μηχανικός ΑΠΘ, MSc UCL, Υπ. διδάκτωρ ΑΠΘ

Κλειώ Αξαρλή

Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός, Καθηγήτρια, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΑΠΘ

Περίληψη

Μία από τις βασικές ανάγκες του ανθρώπου είναι να δημιουργεί ένα θερμικά ουδέτερο περιβάλλον, μέσα στο οποίο ζει και εργάζεται, ώστε να εξασφαλίζεται η θερμική ισορροπία του, να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στις δραστηριότητες που εκτελεί και να επιτυγχάνεται η καλή διαβίωση. Ωστόσο οι απαιτούμενες εσωκλιματικές συνθήκες για την εξασφάλιση της άνεσης δεν είναι οι ίδιες για όλους τους ανθρώπους, καθώς υπάρχουν βιολογικές και ψυχολογικές παράμετροι που επηρεάζουν τον κάθε άνθρωπο διαφορετικά.

Λαμβάνοντας υπόψη το νεαρό της ηλικίας των μαθητών, η ανάγκη για χώρους όπου επικρατούν συνθήκες άνεσης και υγιεινής είναι απαραίτητη, καθώς η επίδραση των εσωκλιματικών συνθηκών στην απόδοση των παιδιών είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι σε ενηλίκους, το οποίο σημαίνει ότι τα παιδιά είναι πιο ευαίσθητα και ευπρόσβλητα από τις εσωκλιματικές συνθήκες σε σχέση με τους ενηλίκους.

Αυτή η εισήγηση έχει ως στόχο να παρουσιάσει τη σημασία και την αναγκαιότητα της θερμικής άνεσης στις σχολικές αίθουσες. Για την τεκμηρίωσή της θα παρουσιαστεί η πειραματική έρευνα της μελέτης των εσωκλιματικών συνθηκών σε ένα δημοτικό σχολείο της Θεσσαλονίκης με σκοπό να εξακριβωθεί κατά πόσο επιτυγχάνεται η θερμική άνεση των μαθητών και πόσο ικανοποιημένοι είναι οι χρήστες από τις συνθήκες που επικρατούν.

λέξεις-κλειδιά: θερμική άνεση, σχολική αίθουσα, εσωκλιματικές συνθήκες, ποιότητα του αέρα.

Athina Konstantinidou

Architectural Engineer AUTH, MSc UCL, PhD candidate AUTH

Kleo Axarli

Dr. Architectural Engineer, Professor, School of Architecture, AUTH

Abstract

A human's basic need is to create a thermally neutral environment in which he lives and works in order to ensure his thermal balance, to adequately perform the various activities and to achieve welfare. However, the necessary indoor environmental conditions which achieve thermal comfort are not the same for all people, as there are biological and psychological parameters that affect each person differently.

It is essential to create comfortable and healthy spaces, taking into account the young age of the students. The impact of indoor environmental conditions is much greater on the performance of children than of adults, which means that children are more sensitive and vulnerable of indoor environmental conditions than adults.

This paper aims to present the importance and necessity of thermal comfort in school classrooms. The field study of indoor environmental conditions in a primary school in Thessaloniki will be presented in order to ascertain whether the students' thermal comfort is achieved and how satisfied are the users by the indoor environmental conditions.

keywords: thermal comfort, classroom, indoor environmental conditions, indoor air quality.

Εισαγωγή

Μία από τις βασικές ανάγκες του ανθρώπου είναι να δημιουργεί ένα θερμικά ουδέτερο περιβάλλον, μέσα στο οποίο ζει και εργάζεται, ώστε να εξασφαλίζεται η θερμική ισορροπία του, να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στις δραστηριότητες που εκτελεί και να επιτυγχάνεται η καλή διαβίωση. Η θερμική άνεση αναφέρεται στην κατάσταση στην οποία βρίσκεται ένα άτομο όταν δεν επιθυμεί αλλαγή των επικρατούντων θερμικών συνθηκών. Ωστόσο οι απαιτούμενες εσωκλιματικές συνθήκες για την εξασφάλιση της άνεσης δεν είναι οι ίδιες για όλους τους ανθρώπους, καθώς υπάρχουν βιολογικές και ψυχολογικές παράμετροι που επηρεάζουν τον κάθε άνθρωπο διαφορετικά. Γι' αυτό τον λόγο έχουν γίνει εκτενείς έρευνες ώστε να συγκεντρωθούν στατιστικά δεδομένα και να οριστούν οι συνθήκες στις οποίες ένα ικανοποιητικό ποσοστό ανθρώπων είναι θερμικά άνετο σε έναν χώρο.

Ένα άτομο αισθάνεται θερμικά άνετο όταν ο ρυθμός θερμικής απώλειας του σώματός του προς το περιβάλλον είναι ίσος με το ρυθμό παραγωγής θερμότητας λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, εξασφαλίζοντας, επομένως, τη θερμική ισορροπία του (Fanger 1970). Η θερμική άνεση δεν επιτυγχάνεται όταν παραδείγματος χάρη επικρατούν πολύ κρύες ή πολύ ζεστές συνθήκες και επομένως το ανθρώπινο σώμα χάνει τη θερμική του ισορροπία αποβάλλοντας ή παράγοντας περισσότερη θερμότητα (TEE 2011).

Υπάρχουν έξι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση και διακρίνονται σε προσωπικούς (η δραστηριότητα του ατόμου και ο βαθμός ένδυσης του ατόμου) και σε περιβαλλοντικούς (η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του αέρα). Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες έχουν να κάνουν με τους τρόπους που επιτυγχάνεται η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Η ζώνη της θερμικής άνεσης δημιουργείται από τον κατάλληλο συνδυασμό αυτών των περιβαλλοντικών παραμέτρων, ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων που ερωτώνται να αισθάνονται θερμικά ουδέτερα (TEE 2011). Σύμφωνα με την ASHRAE (Αμερικάνικος Σύλλογος Μηχανικών Θέρμανσης και Κλιματισμού) το 80% των ατόμων αισθάνεται θερμικά άνετα όταν η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ 21.5 °C και 25°C με σχετική υγρασία 50%. Υπάρχουν, επίσης, και άλλες παράμετροι που συσχετίζονται με τη θερμική άνεση, όπως ψυχολογικοί ή σωματικοί παράγοντες και επηρεάζουν σημαντικά το αίσθημα της θερμικής άνεσης.

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης και τον καθορισμό των ορίων της σύμφωνα με τους έξι βασικούς παράγοντες που την επηρεάζουν και έχουν δημιουργήσει εργαλεία για τη μελέτη της, όπως διαγράμματα, δείκτες και μοντέλα θερμικής άνεσης. Με αυτό τον τρόπο έχουν προκύψει προδιαγραφές και κανονισμοί ως προς το σχεδιασμό των χώρων ανάλογα με την

επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στις εσωκλιματικές συνθήκες. Ωστόσο οι αρμόδιες αρχές σπάνια ελέγχουν τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς στο θέμα της θερμικής άνεσης, και όταν αυτό γίνεται υπάρχει έλεγχος στο στάδιο του σχεδιασμού και όχι με επιτόπιες μετρήσεις (BPIE 2015).

Η θερμική άνεση έχει άμεση σχέση τόσο με την υγεία των ατόμων όσο και με την απόδοσή τους. Η υγεία, η άνεση και η αποδοτικότητα των ανθρώπων επηρεάζονται άμεσα από τις εσωκλιματικές συνθήκες, καθώς οι άνθρωποι στις αναπτυγμένες χώρες περνούν το 90% του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους (Mumovic and Santamouris 2009). Η επιρροή των θερμικών συνθηκών στην υγεία φαίνεται από τα ποσοστά θνησιμότητας κατά τη διάρκεια πολύ ζεστών ημερών (Πανταβού 2011: 339-344). Αντίστοιχα οι υπερβολικά κρύες εσωτερικές θερμοκρασίες ευθύνονται για το 30-50% των θανάτων τη χειμερινή περίοδο (BPIE 2015). Επίσης, οι υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες έχουν συσχετισθεί με τα συμπτώματα από το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου, δηλαδή παρενέργειες στην υγεία των ανθρώπων, όπως πονοκέφαλος, αδυναμία στην αναπνοή, κούραση, ερεθισμός των ματιών, οι οποίες σταματούν με την απομάκρυνση του ατόμου από το συγκεκριμένο κτίριο (WHO 1983).

Επιπλέον, οι συνθήκες θερμικής άνεσης επηρεάζουν την αποδοτικότητα των εργαζομένων. Σε έρευνα των Wyon και Wargocki (2006: 22-28) φάνηκε ότι η θερμική δυσφορία αποσπά την προσοχή και δημιουργεί παράπονα. Η ζέστη μειώνει την επαγρύπνηση, αυξάνει τα συμπτώματα από το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου και έχει αρνητική επιρροή στην πνευματική εργασία. Το κρύο, αντίστοιχα, μειώνει τη θερμοκρασία των δαχτύλων και επομένως μειώνεται για παράδειγμα η χειρονακτική δεξιότητα με κίνδυνο ατυχήματος πολλές φορές.

Όσον αφορά στα σχολικά κτίρια, η θερμική άνεση πρέπει να αποτελεί βασικό στόχο του σχεδιασμού. Τα σχολεία αποτελούν ένα ιδιαίτερο περιβάλλον συγκρινόμενα με κτίρια άλλης χρήσης, λόγω της υψηλής και σποραδικής συγκέντρωσης ατόμων, της θορυβώδους χρήσης των χώρων κυκλοφορίας και της ιδιαιτερότητας του νεαρού της ηλικίας των χρηστών (Department for Education and Skills 2006). Μαθητές και δάσκαλοι περνούν σημαντικό χρόνο μέσα σε αίθουσες και άλλους εσωτερικούς χώρους, γι' αυτό η άνεση και η αποδοτικότητά τους είναι πρώτης προτεραιότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη το νεαρό της ηλικίας των μαθητών επίσης, η ανάγκη για χώρους όπου επικρατούν συνθήκες άνεσης και υγιεινής είναι απαραίτητη, καθώς η επίδραση των εσωκλιματικών συνθηκών στην απόδοση των παιδιών είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι σε ενηλίκους, το οποίο σημαίνει ότι τα παιδιά είναι πιο ευαίσθητα και ευπρόσβλητα από τις εσωκλιματικές συνθήκες σε σχέση με τους ενηλίκους, όπως έδειξαν συγκριτικές μελέτες που έγιναν παράλληλα σε κτίρια γραφείων (Wyon and Wargocki 2006: 22-28). Άλλες έρευνες έχουν δείξει ότι η εσωτερική θερμοκρασία αέρα στις αίθουσες παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία εκμάθησης (Zeiler and Boxem 2009: 2308-2317). Επίσης, η σχέση παιδιού-σχολικού χώρου αποτέλεσε σημαντικό τομέα της περιβαλλοντικής ψυχολογίας. Η περιβαλλοντική ψυχολογία μελετάει την αλληλεπίδραση του ατόμου με το περιβάλλον του, πώς μια ύπαρξη επενεργεί σε αυτό και πώς επηρεάζεται από αυτό. Υπάρχουν έρευνες της περιβαλλοντικής ψυχολογίας και κοινωνιολογίας του χώρου που αξιολογούν το περιβάλλον ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες. Έτσι προκύπτουν κανόνες και απαιτήσεις που αφορούν στο σχεδιασμό λαμβάνοντας υπόψη τη γνώση για το πώς τα παιδιά οικειοποιούνται το χώρο (Τσουκαλά et al. 2000). Σημαντικό είναι το γεγονός ότι το αίσθημα άνεσης στα σχολικά κτίρια επηρεάζεται και από το εκπαιδευτικό σύστημα, τις λειτουργίες και τις ανάγκες που προκύπτουν από την εκπαιδευτική διαδικασία (Μιχαήλ και Φωκάς 2009: 7-14).

Μεθοδολογία

Γενικά

Η παρούσα πειραματική έρευνα πραγματοποιήθηκε με έρευνα πεδίου και με μετρήσεις εσωκλιματικών συνθηκών με ειδικά όργανα σε ένα δημοτικό σχολείο της Θεσσαλονίκης. Τα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα επαληθεύτηκαν για την εγκυρότητα και την αξιοπιστία τους.

Η έρευνα πεδίου περιλαμβάνει την επί τόπου αυτοψία των αιθουσών διδασκαλίας και το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές. Στόχος της έρευνας αυτής είναι ο εντοπισμός προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι ελληνικές σχολικές αίθουσες διδασκαλίας σε σχέση με τη θερμική άνεση μέσω της επιτόπιας επίσκεψης και οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τη θερμική τους άνεση.

Η κύρια επίσκεψη στο σχολείο πραγματοποιήθηκε στις 17 Ιουνίου 2015. Κατά τη διάρκεια της επίσκεψης έγινε η συλλογή των διαθέσιμων αρχιτεκτονικών σχεδίων και στοιχείων για το σχολικό κτίριο (κέλυφος και ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα) από το διευθυντή του σχολείου. Πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις στις αίθουσες για την επαλήθευση των σχεδίων, τη διόρθωσή τους εφόσον απαιτήθηκε και τον εντοπισμό προβλημάτων όπου υπήρχαν.

Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε διαμορφώθηκε ειδικά ώστε να είναι κατανοητό από τους μαθητές με ερωτήσεις κλειστού τύπου. Πραγματοποιήθηκε η ξεκάθαρη διατύπωση των ερωτήσεων με σκοπό να αποφευχθούν πρόσθετες διευκρινήσεις. Παράλληλα δόθηκε ένα ημερολόγιο στους δασκάλους για την καταγραφή της παρουσίας των μαθητών στην τάξη και του ανοίγματος των παραθύρων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Η έρευνα πεδίου μέσω ερωτηματολογίου πραγματοποιήθηκε στις 19 Φεβρουαρίου 2016 για τη χειμερινή περίοδο και στις 7 Ιουνίου 2016 για τη θερινή περίοδο στους μαθητές των δύο αιθουσών Γ1 και Δ2 που τοποθετήθηκαν τα όργανα μέτρησης. Το σύνολο των μαθητών στις δύο τάξεις είναι 39 μαθητές, τη χειμερινή περίοδο απάντησαν 36 μαθητές και τη θερμή περίοδο απάντησαν 37 μαθητές, που αναλογεί σε ποσοστό 92% και 95% αντίστοιχα, ποσοστό που κρίνεται απόλυτα αποδεκτό για την έρευνα.

Μέτρηση και καταγραφή εσωκλιματικών συνθηκών

Η μέτρηση και καταγραφή των εσωκλιματικών συνθηκών πραγματοποιήθηκε για τη χειμερινή περίοδο από τις 19 Φεβρουαρίου έως τις 28 Φεβρουαρίου του 2016 και για τη θερινή περίοδο από τις 30 Μαΐου έως τις 7 Ιουνίου του 2016. Οι εσωτερικές συνθήκες που ερευνήθηκαν ήταν η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα. Ο εξοπλισμός που εγκαταστάθηκε είναι ο καταγραφέας θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και διοξειδίου του άνθρακα της EXTECH SD800 με διάστημα καταγραφής κάθε ένα λεπτό και ο καταγραφέας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας HOBO της onset με διάστημα καταγραφής κάθε 10 λεπτά. Τοποθετήθηκαν όργανα σε δύο αίθουσες, μία με νοτιοδυτικό προσανατολισμό και κωδικό όνομα Γ1 και μία με βορειοανατολικό προσανατολισμό και κωδικό όνομα Δ2. Τη θερμή περίοδο ένα όργανο τοποθετήθηκε στο εξωτερικό περιβάλλον για τη μέτρηση των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών. Παράλληλα μελετήθηκε και μία αίθουσα, η οποία διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τις τυπικές αίθουσες διδασκαλίας του σχολείου. Πρόκειται για την αίθουσα μουσικής του σχολείου με κωδικό όνομα Α0, η οποία έχει περιοδική χρήση κατά τη διάρκεια λειτουργίας του σχολείου. Επίσης, έχει ανακαινιστεί με ξύλινη επένδυση εσωτερικά και έχει μειωθεί το ύψος της στα 2.80 μ.

Αποτελέσματα πειραματικής έρευνας

Παρουσίαση σχολείου

Το σχολείο βρίσκεται στο πρώην στρατόπεδο Στρεμπενιώτη στη Νεάπολη Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για κτίριο με ισόγειο και δύο ορόφους συνολικού εμβαδού $2,882 \text{ m}^2$ χτισμένο το 1984 με βαριά κατασκευή προκάτ. Έχει προσανατολισμό κύριας όψης νοτιοδυτικό με απόκλιση 240° από το Βορρά και αποτελεί μία θερμική ζώνη. Δεν υπάρχουν όμορα κτίρια.



Εικόνα 1: Όψη του σχολείου

Το εμβαδόν της τυπικής αίθουσας διδασκαλίας είναι 53.2 m^2 . Το καθαρό ύψος του χώρου είναι 3.50 m . Η εξωτερική τοιχοποιία από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει πάχος 40 cm με πάχος θερμομόνωσης 5 cm και εκτιμώμενο συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0.72 \text{ W/m}^2\text{K}$. Τα κουφώματα είναι αλουμινίου διπλού υαλοπίνακα με διάκενο 6 mm . Κάθε αίθουσα φέρει 4 ανοίγματα με διαστάσεις 1.30×1.80 έκαστο. Δεν υπάρχουν ηλιοπροστατευτικές διατάξεις στο κέλυφος του κτιρίου. Υπάρχουν εσωτερικές κουρτίνες στις αίθουσες.

Το σχολείο διαθέτει σύστημα θέρμανσης με κεντρική μονάδα λέβητα-καυστήρα φυσικού αερίου θερμικής ισχύος 500.000 θερμίδες. Για την απόδοση θερμότητας στον εσωτερικό χώρο της αίθουσας διδασκαλίας υπάρχουν συνολικά 3 θερμαντικά σώματα άμεσης απόδοσης (καλοριφέρ) εγκατεστημένα σε εξωτερικούς τοίχους. Οι ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης είναι από τις 7.00 έως τις 14.00 . Εγκαταστάσεις ψύξης δεν υπάρχουν. Για λόγους θερμικής άνεσης κάθε αίθουσα διαθέτει έναν ανεμιστήρα οροφής.



Εικόνα 2: Εσωτερική άποψη τυπικής αίθουσας

Θερμοκρασία αέρα

Χειμερινές μετρήσεις

Τα αποτελέσματα από την καταγραφή της εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα κατά τις ώρες διδασκαλίας για τη χειμερινή περίοδο φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Η αίθουσα Γ1 παρουσιάζει μέση θερμοκρασία αέρα 24.2°C με διακύμανση μεταξύ 21.5 και 30°C κατά τις ώρες διδασκαλίας και η αίθουσα Δ2 παρουσιάζει μέση θερμοκρασία αέρα 23.5°C με διακύμανση μεταξύ 22.2 και 25.3°C αντίστοιχα. Να σημειωθεί ότι οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες την εβδομάδα των μετρήσεων κυμαίνονταν μεταξύ $20-9^{\circ}\text{C}$, κυρίως με ηλιοφάνεια, που αποτελούν πιο υψηλές τιμές από τις συνηθισμένες για τη χειμερινή περίοδο. Επίσης, ο χειμώνας του 2016 ήταν από τους πιο ζεστούς στην ιστορία της καταγραφής των κλιματικών συνθηκών. Συνοψίζοντας, οι ζεστές εξωτερικές κλιματικές συνθήκες για την εποχή σε συνδυασμό με τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης είχαν ως αποτελέσματα τις υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στις δύο αίθουσες υπό μελέτη. Στην περίπτωση της αίθουσας Γ1, εξαιτίας της έλλειψης ηλιοπροστατευτικών διατάξεων, παρατηρούνται αρκετά υψηλές τιμές θερμοκρασίας αέρα.



Εικόνα 3: Θερμοκρασία αέρα χειμερινής περιόδου αίθουσας Γ1



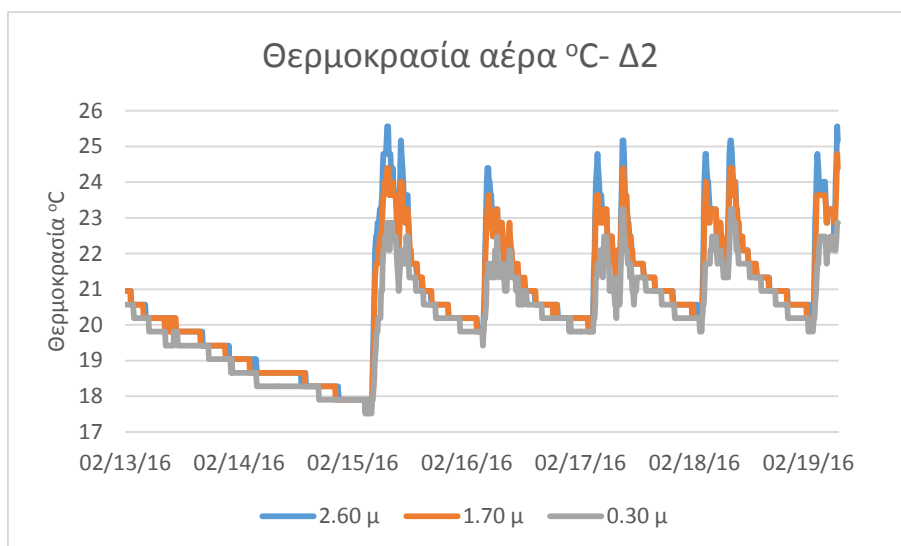
Εικόνα 4: Θερμοκρασία αέρα χειμερινής περιόδου αίθουσας Δ2

Η θερμοκρασία αέρα στην αίθουσα μουσικής Α0 κυμαίνεται μεταξύ 18.7 και 26 °C με μέσο όρο 21.6 °C.



Εικόνα 5: Θερμοκρασία αέρα χειμερινής περιόδου αίθουσας Α0

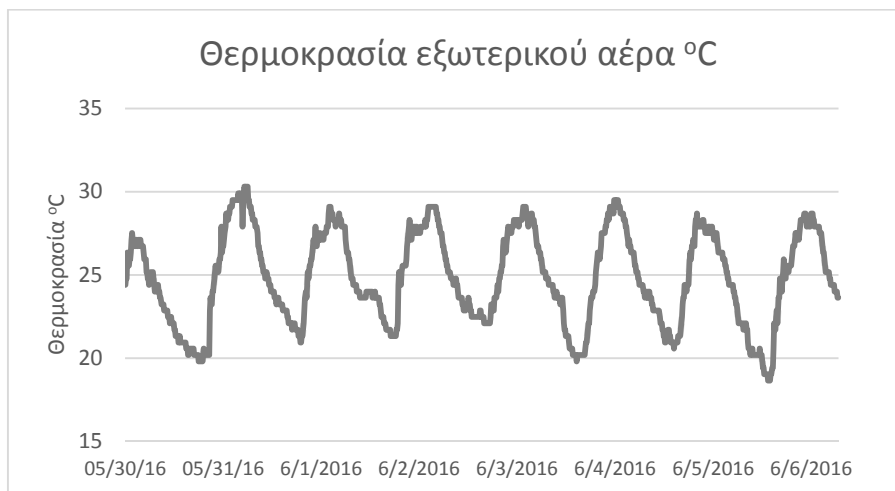
Η αίθουσα Δ2 μελετήθηκε παράλληλα σε 3 διαφορετικά ύψη ως προς τη θερμοκρασία αέρα με σκοπό να ερευνηθεί η κάθετη διαφορά θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στα 0.30 μ, στο 1.70 μ και στα 2.60 μ. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας αέρα για τον αισθητήρα στα 30 εκ. είναι 17.5 °C και για τους δύο άλλους αισθητήρες είναι στους 17.9 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται στους 23.2 °C για τον αισθητήρα στα 30 εκ., στους 24.8 °C για τον αισθητήρα στο 1.70 μ και στους 25.6 °C για τον αισθητήρα στα 2.60 μ. Αντίστοιχα η ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται στους 20.2 °C για τον αισθητήρα στα 30 εκ. και στους 20.7 °C και 20.8 °C για τους άλλους δύο αισθητήρες. Παρατηρείται, λοιπόν, μια κάθετη διαφορά θερμοκρασίας που κατά περίπτωση φτάνει έως και 3.1 °C. Τα αποτελέσματα φαίνονται συγκριτικά στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 6: Θερμοκρασία αέρα χειμερινής περιόδου αίθουσας Δ2 σε τρία διαφορετικά ύψη

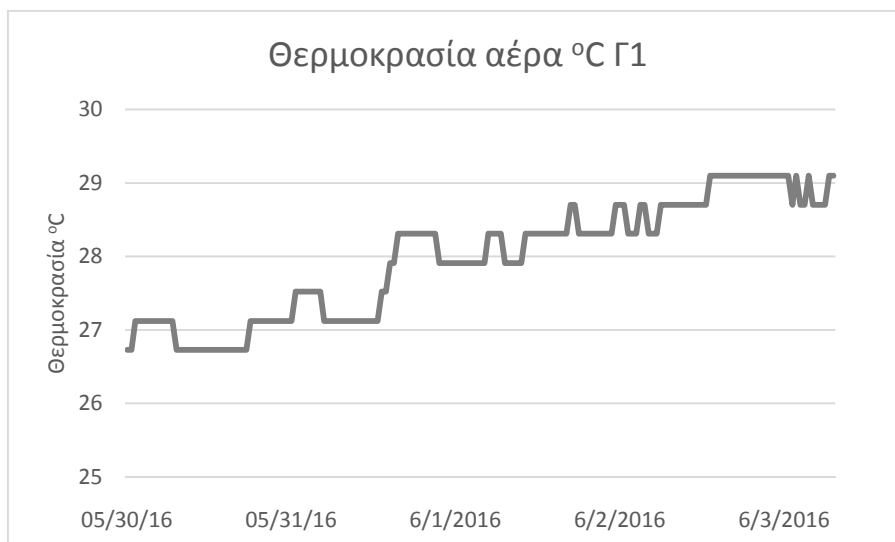
Θερινές μετρήσεις

Παράλληλα με τις μετρήσεις των εσωκλιματικών συνθηκών, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών. Το εύρος της θερμοκρασίας διακυμάνθηκε μεταξύ 30.3 και 18.7 °C με μέσο όρο τους 25 °C. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 7: Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα θερινής περιόδου

Τα αποτελέσματα από την καταγραφή της εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα κατά τις ώρες διδασκαλίας για τη θερινή περίοδο φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Η αίθουσα Γ1 παρουσιάζει διακύμανση θερμοκρασίας μεταξύ 29.1 και 26.7 °C με μέσο όρο θερμοκρασίας αέρα 28 °C κατά τις ώρες διδασκαλίας. Αντίστοιχα η αίθουσα Δ2 παρουσιάζει διακύμανση θερμοκρασίας μεταξύ 29.5 και 25.9 °C με μέσο όρο θερμοκρασίας αέρα 28.3 °C κατά τις ώρες διδασκαλίας.

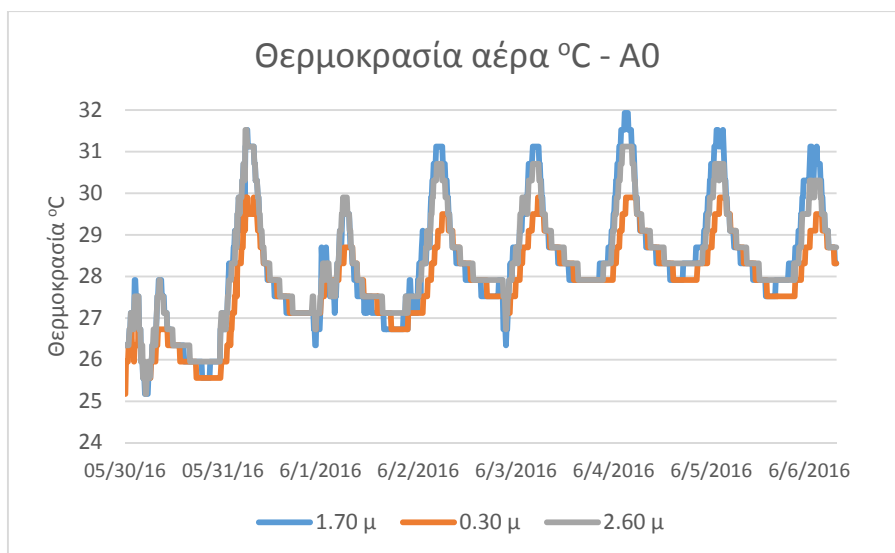


Εικόνα 8: Θερμοκρασία αέρα θερινής περιόδου αίθουσας Γ1



Εικόνα 9: Θερμοκρασία αέρα θερινής περιόδου αίθουσας Δ2

Η αίθουσα μουσικής Α0 μελετήθηκε σε 3 διαφορετικά ύψη ως προς τη θερμοκρασία αέρα με σκοπό να ερευνηθεί η κάθετη διαφορά θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στα 0.30 μ, στο 1.70 μ και στα 2.60 μ. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας αέρα και για τους 3 αισθητήρες είναι στους 25.2 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται στους 29.9 °C για τον αισθητήρα στα 30 εκ, στους 31.9 °C για τον αισθητήρα στο 1.70 μ και στους 31.5 για τον αισθητήρα στα 2.60 μ. Αντίστοιχα η ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται στους 27.9 °C για τον αισθητήρα στα 30 εκ. και στους 28.3 °C για τους άλλους δύο αισθητήρες. Παρατηρείται, λοιπόν, μια κάθετη διαφορά θερμοκρασίας που κατά περίπτωση φτάνει έως και 2 °C. Τα αποτελέσματα φαίνονται συγκριτικά στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 10: Θερμοκρασία αέρα θερινής περιόδου αίθουσας Α0 σε τρία διαφορετικά ύψη

Σχετική υγρασία

Χειμερινές μετρήσεις

Τα αποτελέσματα από την καταγραφή της εσωτερικής σχετικής υγρασίας κατά τις ώρες διδασκαλίας για τη χειμερινή περίοδο φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Η αίθουσα Γ1 παρουσιάζει μέση σχετική υγρασία 44.8% με εύρος μεταξύ 27.4 – 56.5% κατά τις ώρες διδασκαλίας και η αίθουσα Δ2 παρουσιάζει μέση σχετική υγρασία 51% με εύρος 36.6 – 64.9% αντίστοιχα. Η αίθουσα Γ1 παρουσιάζει κάποιες τιμές χαμηλότερες από το επιτρεπόμενο κατώτατο όριο του 30%, ωστόσο πρόκειται για πολύ μικρό ποσοστό και πολύ κοντά στο επιτρεπόμενο κατώτατο όριο.



Εικόνα 11: Σχετική υγρασία χειμερινής περιόδου αίθουσας Γ1



Εικόνα 12: Σχετική υγρασία χειμερινής περιόδου αίθουσας Δ2

Η αίθουσα Α0 παρουσιάζει μέση σχετική υγρασία 43.5% με εύρος μεταξύ 33.4 – 58.7%.



Εικόνα 13: Σχετική υγρασία χειμερινής περιόδου αίθουσας Α0

Θερινές μετρήσεις

Σύμφωνα με τις μετρήσεις των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών η σχετική υγρασία διακυμάνθηκε μεταξύ 82 και 23.6% με μέσο όρο 47%. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 14: Σχετική υγρασία εξωτερικού αέρα θερινής περιόδου

Η αίθουσα Γ1 παρουσιάζει διακύμανση σχετικής υγρασίας μεταξύ 55 και 25% με μέσο όρο 40.5% κατά τις ώρες διδασκαλίας. Παρουσιάζει κάποιες τιμές χαμηλότερες από το επιτρεπόμενο κατώτατο όριο του 30%, ωστόσο πρόκειται για πολύ μικρό ποσοστό και πολύ κοντά στο επιτρεπόμενο κατώτατο όριο. Αντίστοιχα η αίθουσα Δ2 παρουσιάζει διακύμανση σχετικής υγρασίας μεταξύ 62 και 30% με μέσο όρο 43.3% κατά τις ώρες διδασκαλίας.



Εικόνα 15: Σχετική υγρασία θερινής περιόδου αίθουσας Γ1

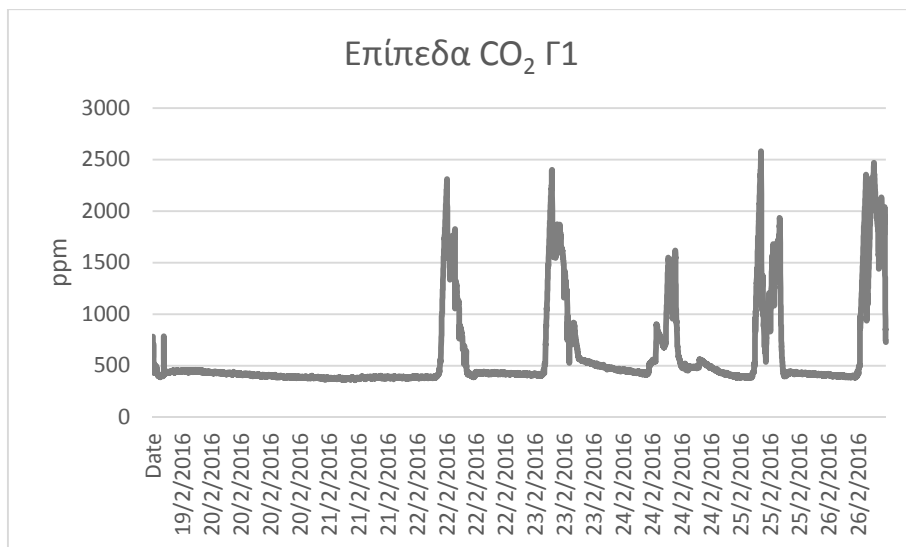


Εικόνα 16: Σχετική υγρασία θερινής περιόδου αίθουσας Δ2

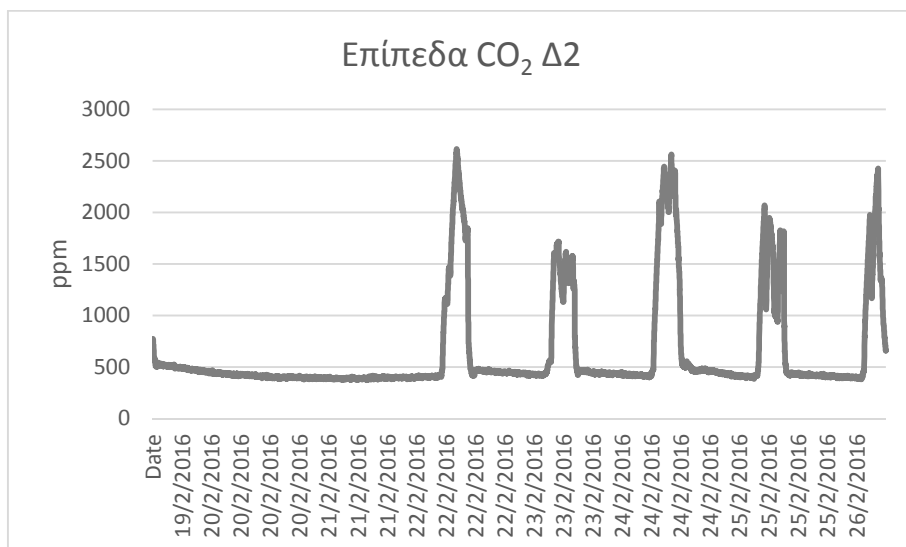
Επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα

Τα αποτελέσματα από την καταγραφή των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα καθ' όλη τη διάρκεια της καταγραφής για τη χειμερινή περίοδο φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα χαρακτηρίζονται υψηλά κατά τις ώρες διδασκαλίας με μέσο όρο 1.315 ppm και μέγιστη τιμή 2.580 ppm στην αίθουσα Γ1 και αντίστοιχα στην αίθουσα Δ2 μέσο όρο 1.547 ppm και μέγιστη τιμή 2.614 ppm. Η ανάγκη για αερισμό των αιθουσών είναι επιτακτική για βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Η αυξητική τάση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα δηλώνει την είσοδο των μαθητών στην αίθουσα το πρωί της κάθε μέρας, ενώ αντίστοιχα η μειωτική τάση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα δηλώνει το τέλος των ωρών διδασκαλίας το μεσημέρι κάθε μέρας. Αυξομειωτικές τάσεις στο ενδιάμεσο υποδηλώνουν άνοιγμα παραθύρων ή κενή αίθουσα από μαθητές για κάποιο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια λειτουργίας

του σχολείου (διάλειμμα). Η ηρεμία των επιπέδων τις τρεις πρώτες μέρες της καταγραφής δικαιολογείται από την απουσία μαθητών και τη μη λειτουργία του σχολείου καθώς πρόκειται για σαββατοκύριακο.

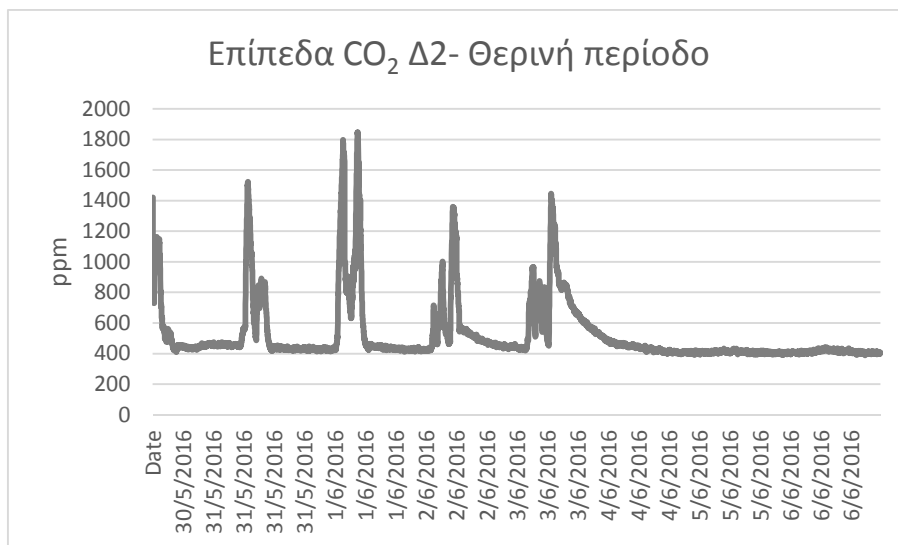


Εικόνα 17: Επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα αίθουσας Γ1



Εικόνα 18: Επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα αίθουσας Δ2

Μετρήσεις των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα πραγματοποιήθηκαν και τη θερμή περίοδο σε μία αίθουσα (Δ2) για να εντοπιστεί η συμβολή των ανοιχτών παραθύρων στην ποιότητα του αέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα κυμαίνονται μεταξύ 410 και 1.847 ppm με μέσο όρο 788 ppm κατά τις ώρες διδασκαλίας. Προκύπτει, λοιπόν, ότι πράγματι το καλοκαίρι είναι πιο χαμηλά τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα μέσα στην αίθουσα και η ποιότητα του αέρα παραμένει ικανοποιητική κατά το μεγαλύτερο διάστημα λειτουργίας του σχολείου.



Εικόνα 19: Επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα αίθουσας Δ2 θερμής περιόδου

Έρευνα πεδίου μέσω ερωτηματολογίου

Χειμερινές συνθήκες

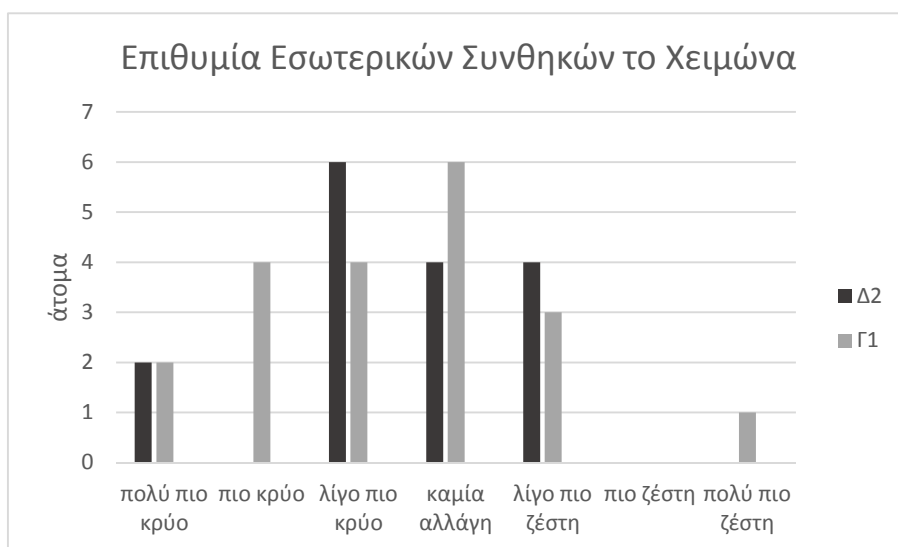
Στη βορειοανατολική αίθουσα Δ2 υπάρχει μία ισοκατανομή των μαθητών που αισθάνονται δροσιά, ουδέτερα και λίγο ζέστη, ενώ στη νοτιοδυτική αίθουσα Γ1 το 35% των μαθητών αισθάνεται ουδέτερα, αντίστοιχο ποσοστό αισθάνεται ζέστη και το 25% των μαθητών αισθάνεται πολλή ζέστη.

Αντίστοιχα, η επιθυμία των μαθητών ως προς τις θερμικές συνθήκες δείχνει ότι το 30% των μαθητών της νοτιοδυτικής αίθουσας δεν επιθυμεί καμία αλλαγή, ακολουθεί το 20% με επιθυμία για λίγο πιο κρύες και πιο κρύες συνθήκες. Στη βορειοδυτική αίθουσα το 38% επιθυμεί λίγο πιο κρύες συνθήκες και ακολουθεί το 25% το οποίο δεν επιθυμεί καμία αλλαγή ή επιθυμεί λίγο πιο ζεστές συνθήκες.

Όλοι οι μαθητές της τάξης Γ1 δηλώνουν ότι αισθάνονται άνετα με τις εσωκλιματικές συνθήκες, ενώ στην αίθουσα Δ2 μόλις ένας μαθητής δηλώνει ότι δεν αισθάνεται άνετα.



Εικόνα 20: Θερμική άνεση τη χειμερινή περίοδο στα δύο τμήματα υπό έρευνα



Εικόνα 21: Επιθυμία εσωτερικών συνθηκών τη χειμερινή περίοδο στα δύο τμήματα υπό έρευνα

Καλοκαιρινές συνθήκες

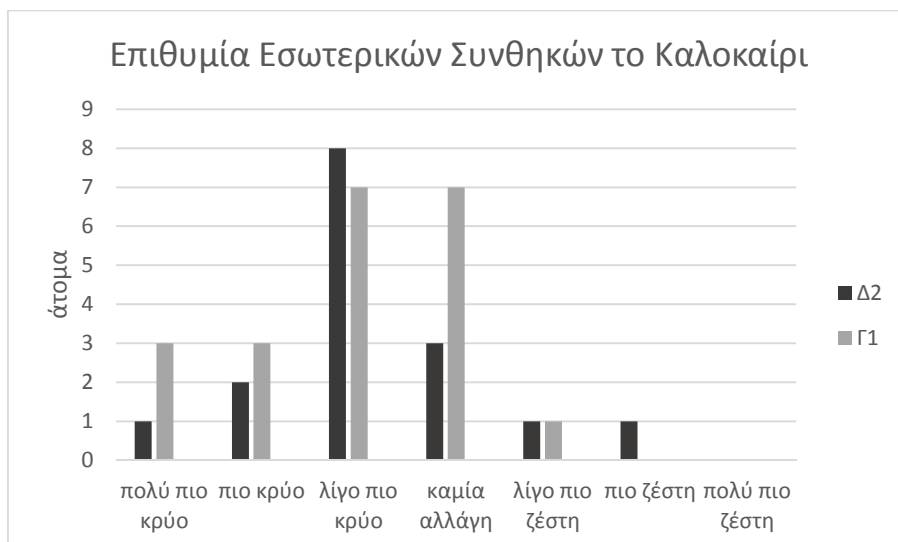
Οι μαθητές της τάξης Δ2 δηλώνουν ότι αισθάνονται δροσιά σε ποσοστό 31% και ακολουθεί το 25% που αισθάνεται πολλή ζέστη και το 19% που αισθάνεται ζέστη και λίγο ζέστη. Οι μαθητές της τάξης Γ1 αισθάνονται πολλή ζέστη σε ποσοστό 29% και ακολουθούν ισάριθμοι μαθητές που δηλώνουν ότι αισθάνονται ζέστη, λίγο ζέστη και ουδέτερα σε ποσοστό 19%.

Η επιθυμία των μαθητών και των δύο αιθουσών ως προς τις εσωτερικές συνθήκες το καλοκαίρι είναι να γίνουν λίγο πιο κρύες κατά πλειοψηφία. Ίδιο ποσοστό δηλώνει στην αίθουσα Γ1 ότι δεν επιθυμεί καμία αλλαγή και ακολουθούν οι μαθητές που δηλώνουν ότι θέλουν πιο κρύες και πολύ πιο κρύες συνθήκες.

Το 40% των μαθητών της νοτιοδυτικής αίθουσας δηλώνει ότι δεν αισθάνεται άνετα με τις εσωκλιματικές συνθήκες, ενώ στη βορειοδυτική αίθουσα μόλις το 12.5% δηλώνει το ίδιο.



Εικόνα 22: Θερμική άνεση την καλοκαιρινή περίοδο στα δύο τμήματα υπό έρευνα



Εικόνα 23: Επιθυμία εσωτερικών συνθηκών την καλοκαιρινή περίοδο στα δύο τμήματα υπό έρευνα

Ανάλυση

Όσον αφορά στο σχεδιασμό του κτιρίου, οι εσωκλιματικές συνθήκες επηρεάζονται από τον προσανατολισμό, την ανοιγόμενη επιφάνεια των παραθύρων, το μέγεθος της υάλωσης, τα συστήματα σκίασης, καθώς επίσης και από τα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και φωτισμού καθώς και από τα συστήματα ελέγχου αυτών.

Στην αυτοψία παρατηρήθηκε η απουσία ηλιοπροστατευτικών διατάξεων στη νοτιοδυτική όψη, γεγονός που δικαιολογεί τις υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα των νοτιοδυτικών αιθουσών. Όσον αφορά στα κουφώματα κρίνεται ότι χρειάζονται αντικατάσταση για τη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης λόγω της παλαιότητάς τους. Η απουσία συστημάτων ελέγχου του συστήματος θέρμανσης ενισχύει τη θερμική δυσφορία, όπως φαίνεται στις μετρήσεις της χειμερινής περιόδου όπου ο συνδυασμός συνεχόμενης λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και υψηλών εξωτερικών

θερμοκρασιών αέρα δημιούργησε υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα. Κρίνεται, λοιπόν, σημαντική η εγκατάσταση θερμοστατικού διακόπτη σε κάθε θερμαντικό σώμα.

Σύμφωνα με τη μέτρηση και καταγραφή των εσωκλιματικών συνθηκών η θερμική άνεση δεν επιτυγχάνεται καθώς κατά τη χειμερινή περίοδο παρουσιάστηκαν υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στις αίθουσες υπό μελέτη εξαιτίας των ζεστών εξωτερικών κλιματικών συνθηκών και της συνεχόμενης λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης όπως προαναφέρθηκε. Η αίθουσα μουσικής με περιοδική χρήση παρουσίασε χαμηλότερη εσωτερική θερμοκρασία αέρα, γεγονός που αποδεικνύει την επιρροή των φορτίων από την ανθρώπινη παρουσία στις εσωκλιματικές συνθήκες. Τη θερινή περίοδο η εσωτερική θερμοκρασία αέρα ήταν ιδιαίτερα υψηλή με έντονο το πρόβλημα της υπερθέρμανσης γεγονός που ενισχύει τη θερμική δυσφορία των μαθητών.

Όσον αφορά στη κάθετη διαφορά θερμοκρασίας το χειμώνα παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά, οφειλόμενη ίσως στο μεγάλο ύψος της αίθουσας, και η οποία εκτιμάται ότι παίζει ρόλο στη θερμική άνεση των μαθητών. Τη θερινή περίοδο είναι μικρότερη μεν η διαφορά (αίθουσα με χαμηλότερο ύψος), σημαντική δε για την εύρεση τρόπων αντιμετώπισής της.

Τα επίπεδα της εσωτερικής σχετικής υγρασίας κυμαίνονται εντός των φυσιολογικών ορίων δημιουργώντας ξηρό εσωκλίμα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η ποιότητα του αέρα κρίνεται μη ικανοποιητική καθώς τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα είναι πολύ υψηλά κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου όπου ο αερισμός των αιθουσών είναι περιορισμένος. Η επίδραση της ποιότητας του αέρα είναι πολύ σημαντική στην απόδοση των μαθητών στο σχολείο, επομένως η ανάγκη καλού αερισμού των αιθουσών είναι απαραίτητη. Αντίθετα τη θερινή περίοδο όπου ο αερισμός των αιθουσών είναι συχνότερος τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα εκτιμώνται ικανοποιητικά για την επίτευξη της ποιότητας του αέρα.

Σύμφωνα με το ερωτηματολόγιο λόγω των καλών εξωτερικών κλιματικών συνθηκών για τη χειμερινή εποχή, σαφή συμπεράσματα δεν μπορούν να διεξαχθούν από την έρευνα πεδίου, ωστόσο συγκρίνοντας τις απαντήσεις από τις δύο αίθουσες διαφορετικού προσανατολισμού, φαίνεται ότι οι μαθητές της νοτιοδυτικής αίθουσας νοιώθουν σαφώς μεγαλύτερη θερμική δυσφορία το χειμώνα. Αντίθετα τη θερινή περίοδο η απουσία θερμικής άνεσης είναι σαφής για όλους τους μαθητές, ιδίως για τη νοτιοδυτική αίθουσα η οποία παρουσιάζει έντονο πρόβλημα υπερθέρμανσης. Οι απαντήσεις των μαθητών επαληθεύουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων για μη επίτευξη της θερμικής άνεσης.

Συμπεράσματα

Η πειραματική έρευνα σε ένα δημοτικό σχολείο στη Θεσσαλονίκη πραγματοποιήθηκε για να τεκμηριώσει τη σημασία της αξιολόγησης των εσωκλιματικών συνθηκών των σχολείων και κατ' επέκταση τη σημασία της θερμικής άνεσης των μαθητών.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε την αυτοψία του κτιρίου, τη μέτρηση και καταγραφή των εσωκλιματικών συνθηκών με ειδικά όργανα και την έρευνα πεδίου μέσω ερωτηματολογίου σε μαθητές του σχολείου.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι οι εσωτερικές συνθήκες ήταν εκτός της ζώνης άνεσης κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου με έντονο το πρόβλημα της υπερθέρμανσης τη θερινή περίοδο.

Η θερμική άνεση και η ποιότητα του αέρα δεν επιτεύχθηκαν. Οι μαθητές δήλωσαν μεν ότι είναι θερμικά άνετα το χειμώνα ωστόσο σημαντικό ποσοστό δήλωσε την επιθυμία του για αλλαγή των εσωκλιματικών συνθηκών. Το καλοκαίρι δε οι μαθητές δήλωσαν τόσο τη θερμική δυσφορία τους όσο και την επιθυμία τους για αλλαγή των εσωκλιματικών συνθηκών.

Η μελέτη έδειξε ότι το πρόβλημα της θερμικής άνεσης υφίσταται και διορθωτικές επεμβάσεις τόσο στο κέλυφος και τα συστήματα του κτιρίου όσο και στη συμπεριφορά των χρηστών είναι απαραίτητες για τη βελτίωση της άνεσης των μαθητών και της ποιότητας του αέρα.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

Μιχαήλ, Α. και Φωκάς, Μ.Κ. (2009). *Βιοκλιματική αποτίμηση στην τυπολογική εξέλιξη του σχολικού κτιρίου στην Κύπρο*, σ. 7-14. Κύπρος: Ένατο εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας. Πρακτικά.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (2011). *Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών εκπαιδευτικό υλικό. Α. επιθεώρηση κτηρίων*. Αθήνα: ΤΕΕ.

Τσουκαλά, Κ. et al. (2000). *Αρχιτεκτονική παιδί και αγωγή*. Θεσσαλονίκη: παρατηρητής.

Ξενόγλωσση

ASHRAE handbook (2009). *Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Building Performance Institute Europe (BPIE) (2015). *Indoor air quality, thermal comfort and daylight. Analysis of residential building regulations in eight EU member states*. Brussels: BPIE.

Department for education and skills (2006). *Schools for the future. Design of sustainable schools case studies*. London: TSO.

Fanger, P.O. (1970). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw Hill.

Mumovic, D. and Santamouris, M. (2009). *A handbook of sustainable building design & engineering*. London: Earthscan.

Pantavou, K. et al. (2011). Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens. *Building and environment*. 46(2011): 339-344.

Wargocki, P. and Wyon, D.P. (2006). Effects of HVAC on student performance. *ASHRAE Journal*, 48:10, 22-28.

World Health Organization (WHO) (1983). *Indoor air pollutants: exposures and health effects, EURO reports and studies 78*. Copenhagen: WHO regional office for Europe.

Zeiler, W. and Boxem, G. (2009). Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. *Building and environment*. 44(2009): 2308-2317.

Πηγές Εικόνων

Εικόνες 1-23: Προσωπικό αρχείο Α. Κωνσταντινίδου, Κ. Αζαρλή.