



Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας  
Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών  
Σχολή Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών  
Τμήμα Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία



Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:  
**Παιδαγωγικά μέσω Καινοτόμων Προσεγγίσεων, Τεχνολογίες και Εκπαίδευση**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

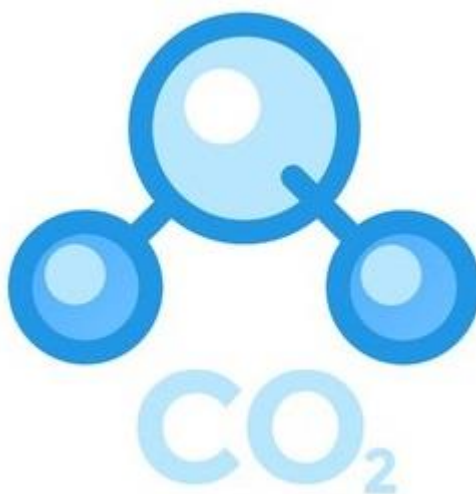
## **Διερεύνηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στο δημοτικό σχολείο**

Οι επιδράσεις του διοξειδίου του άνθρακα μέσα στις σχολικές αίθουσες

POST GRADUATE THESIS

## **Survey on primary school's air quality**

The effects of carbon dioxide inside classrooms



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

**Λαμπρόπουλος Χρήστος**  
Lampropoulos Christos

ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ/NAME OF SUPERVISOR

**Πανόπουλος Βασίλειος**  
Panopoulos Vassilios

ΑΙΓΑΛΕΩ 2022



Faculty of Health and Caring Sciences

Department of Biomedical Sciences

Faculty of Administrative, Financial and Social Sciences

Department of Early Childhood Education and Care



Interdepartmental Post Graduate Programme:

**Education: Pedagogy through Innovative Approaches and Technology**

POST GRADUATE THESIS

## **Survey on primary school's air quality**

The effects of carbon dioxide inside classrooms

NAME OF STUDENT

**Lampropoulos Christos**

Registration Number: 17013

[chrislampropoulos@gmail.com](mailto:chrislampropoulos@gmail.com)

FIRST SUPERVISOR

**Panopoulos Vassilios**

SECOND SUPERVISOR

**Fountzoula Christina**



## Δήλωση Μη Λογοκλοπής Και Ανάληψης Προσωπικής Ευθύνης

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Λαμπρόπουλος Χρήστος του Αργυρίου**, με αριθμό μητρώου **17013** φοιτητής του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παιδαγωγικά μέσω Καινοτόμων Προσεγγίσεων, Τεχνολογίες και Εκπαίδευση» του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας και του Τμήματος Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία της Σχολής Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

## Ευχαριστίες

Πολλοί άνθρωποι συνέβαλλαν καθοριστικά ώστε να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε τις μεταπτυχιακές μας σπουδές και να ολοκληρώσουμε αυτή την εργασία που έχετε στα χέρια σας. Αρχικά, καθοριστική ήταν η υποστήριξη της οικογένειάς μας, και ιδιαίτερα της συζύγου μας, Πέπης Μπαρέκα, μέλους ΔΕΠ του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, που ανέχτηκε αγόγγυστα την καθυστερημένη μας εμπλοκή σε μεταπτυχιακές σπουδές και πλήρωσε με χρόνο που δεν επιστρέφει και δεν αναπληρώνεται την «απουσία» μας από πατρικά και συζυγικά καθήκοντα, υποχρεώσεις και οικογενειακές χαρές.

Θα θέλαμε, επίσης, να ευχαριστήσουμε όλους τους διδάσκοντες και συμφοιτητές του ΔΠΜΣ που υπήρξαν συνοδοιπόροι μας σε αυτήν την «περιπέτεια» για αυτά τα χρόνια, καθώς η συλλογική τους συμβολή μας βοήθησε να εξελιχθούμε ως άνθρωποι σε κάθε επίπεδο.

Ευχαριστούμε, ειδικότερα, τους επιβλέποντες αυτής της διπλωματικής εργασίας για την κατανόηση και την ατελείωτη υπομονή που έδειξαν στο πρόσωπό μας, και στις προσπάθειές μας, για επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Νιώθουμε ακόμα υποχρεωμένοι να ευχαριστήσουμε τον κ. Αιγέα Ψωμαδάκη που, με την ευτυχή συγκυρία της πώλησης, από μέρους του, της (τόσο απαραίτητης και πανάκριβης για να αγοραστεί καινούργια) συσκευής καταγραφής του CO<sub>2</sub>, έκανε εφικτή την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Ανέφικτη, επιπλέον, θα έμενε η εργασία μας χωρίς τη συμβολή των μαθητών μας (Ε΄ τάξης και ολόημερου του σχολικού έτους 2018-2019) και χωρίς την κατανόηση των γονιών και κηδεμόνων τους στο 27ο Δημοτικό Σχολείο Περιστερίου, που ανέχτηκαν τις πειραματικές μετρήσεις μας και τους ευχαριστούμε βαθιά για αυτό. Ευχαριστίες οφείλονται και στο προσωπικό του σχολείου για την ανοχή του και στην πρώην Διευθύντριά του, κα. Πάτρα Καραπλή για τη διευκολυντική στάση της και την πρόσβαση στο αρχείο του σχολείου που μας παρείχε.

Κλείνοντας, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε: στην επιστημονική ομάδα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ([www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)), και ειδικά στο μετεωρολόγο κ. Στρατή Βουγιούκα, για την ευγενική παραχώρηση των μετεωρολογικών δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού Περιστερίου και για τη, με θετική διάθεση, επεξήγηση των δεδομένων αυτών, καθώς και στον αγαπητό φίλο κ. Μενέλαο Σαρρή, μέλος ΕΔΠΠ του Τμήματος Επιστημών της Εκπαίδευσης και Κοινωνικής Εργασίας στο Πανεπιστήμιο Πάτρας, για την πολύτιμη βοήθειά του στη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων της έρευνάς μας.

# Αφιέρωση

Στην Πέπη,

τη γυναίκα,

τη σύζυγο,

τη μητέρα,

τη συνεργάτη,

την επαγγελματία,

τη φίλη...

## Περίληψη

Η μελέτη αυτή παρουσιάζει μια εξαμηνιαία έρευνα (από Ιανουάριο έως Ιούνιο του 2019) αναφορικά με τα επίπεδα συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) σε τάξεις ενός δημοτικού σχολείου. Το CO<sub>2</sub> είναι ένα βασικό ανθρωπογενές αέριο ρύπανσης, που συνδέεται στενά με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Indoor Air Quality/IAQ), που, με τη σειρά του, είναι ένας σημαντικός παράγοντας της εσωτερικής περιβαλλοντικής ποιότητας (Indoor Environmental Quality/IEQ). Τα υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> έχουν αποδειχθεί ότι επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική ποιότητα του εσωτερικού αέρα (IAQ), επηρεάζοντας την υγεία και τη γνωστική λειτουργία, οδηγώντας σε πολλές απουσίες από τα σχολεία (ή την εργασία), σε προβλήματα υγείας και σε μειωμένα ακαδημαϊκά (ή παραγωγικά) αποτελέσματα.

Δεδομένου ότι τα ελληνικά σχολεία, στην πλειονότητά τους, δεν έχουν τεχνητά συστήματα μόνιμου εξαερισμού στα κτίριά τους, όπως και το σχολείο της μελέτης, η έρευνα προσπάθησε να διαπιστώσει εάν ο φυσικός αερισμός (παράθυρα) και ο βοηθητικός αερισμός (ανεμιστήρες) είναι αρκετά για να διατηρήσουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> σε αποδεκτά επίπεδα, όπως καθορίζουν τα πρότυπα ασφαλείας (<1000 ppm).

Ένας αισθητήρας (Kane Alert CO<sub>2</sub>) τοποθετούνταν εναλλακτικά σε δυο αίθουσες διδασκαλίας και κάθε 10 λεπτά καταγραφόταν το επίπεδο του CO<sub>2</sub> σε ppm (καθώς και η θερμοκρασία δωματίου σε °C) κατά τη διάρκεια των μαθημάτων της τάξης. Ο βαθμός συσσώρευσης του CO<sub>2</sub> στην τάξη αξιολογήθηκε σε σχέση με τη θερμοκρασία δωματίου, το μέγεθος της τάξης, το ύψος της τάξης, τον αριθμό των μαθητών, τον αριθμό των ανοιχτών παραθύρων, το μέγεθος των παραθύρων, το αν η πόρτα της αίθουσας ήταν ανοικτή ή όχι, το μέγεθος της πόρτας, και συνδυάστηκε με εξωτερικά μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, βροχή, ατμοσφαιρική πίεση) που ανακτήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Μετεωρολογικός Σταθμό Περιστερίου, που απέχει 1,8 χλμ. από το σχολείο).

Το επίπεδο του CO<sub>2</sub> που συσσωρεύεται στις σχολικές τάξεις κατά τη διάρκεια των μαθημάτων αποτελεί ένα ισχυρό δείκτη για την επίτευξη καλής σχολικής, γνωστικής και μαθησιακής, επίδοσης και η γνώση του γεγονότος αυτού μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές συμπεριφοράς (συνεχής συνειδητοποίηση των επιπέδων IAQ, άνοιγμα παραθύρων κ.λπ.) που θα εξασφαλίζουν τα αποδεκτά επίπεδα CO<sub>2</sub> μέσα στη σχολική αίθουσα και, συνεπακόλουθα, θα εξασφαλίζουν καλύτερα ακαδημαϊκά αποτελέσματα για τους μαθητές των σχολείων μας.

### Λέξεις κλειδιά:

Ποιότητα εσωτερικού αέρα, εσωτερική περιβαλλοντική ποιότητα, διοξείδιο του άνθρακα, σχολείο, σχολική επίδοση.

## **Abstract**

This is a presentation of a six- month period survey (from January to June 2019) on the Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) levels in 2 primary school's classrooms. CO<sub>2</sub> is a basic anthropogenic pollutant gas, closely associated with Indoor Air Quality (IAQ) and a major factor in Indoor Environmental Quality (IEQ). Higher levels of CO<sub>2</sub> have been proved to lower significantly the overall IAQ, affecting health and cognitive function, leading to many absences from schools (or work), to health problems and deteriorating academic (or work production) results.

Given the fact that Greek schools, in their vast majority, lack any artificial permanent ventilation systems in their buildings, such as the school in consideration, the survey tried to establish whether natural ventilation (windows) and assisted ventilation (fans) was enough to keep the CO<sub>2</sub> levels within accepted standards (<1000 ppm).

A sensor was placed in two classrooms (Kane Alert CO<sub>2</sub>) and the CO<sub>2</sub> level (in ppm) plus room temperature (in °C) was recorded every 10 mins during class lessons. The rate of CO<sub>2</sub> accumulation in the classroom was evaluated in reference with room temperature, classroom size, classroom elevation, students' number, number of open windows, size of windows, whether door was open or not, size of door, whether radiators (cold period) or fans (war m period) were working and general official meteorological data (temperature, wind speed, air pressure, rain) retrieved from National Observatory of Athens (Peristeri meteorological station, which is situated just 1,8 km away from the case school).

Knowing the CO<sub>2</sub> levels in school classrooms during lessons is a strong indicator of the resultant school cognitive and learning productivity and can lead to behavioural changes (constant awareness for “feeling” IAQ levels, opening of windows, etc.) that can keep CO<sub>2</sub> levels within accepted standards and thus secure better academic results for schools and their students.

### **Key words:**

Indoor Air Quality, Indoor Environmental Quality, carbon dioxide, school, school performance.



# Περιεχόμενα

Δήλωση Μη Λογοκλοπής Και Ανάλυσης Προσωπικής Ευθύνης.....	i
Ευχαριστίες .....	ii
Αφιέρωση.....	iii
Περίληψη .....	iv
Abstract .....	v
Συνομογραφίες.....	viii
Πρόλογος.....	1
Μέρος Πρώτο: Επισκόπηση.....	4
1.1 Γενικό πλαίσιο προβληματισμού.....	4
1.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ).....	5
1.2.1 Το αέριο CO <sub>2</sub> .....	5
1.2.2 Το CO <sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.....	9
1.2.3 Επίδραση του CO <sub>2</sub> στον άνθρωπο.....	12
1.3 Λόγοι παρακολούθησης του CO <sub>2</sub> στα σχολεία.....	15
1.3.1 Θέματα υγείας.....	15
1.3.2 Προβλήματα υγρασίας .....	16
1.3.3 Εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση αερίων θερμοκηπίου .....	17
1.3.4 Επίδοση μαθητών.....	17
1.4 Εσωτερική περιβαλλοντική ποιότητα (Indoor Environmental Quality/IEQ) .....	18
1.5 Ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Indoor Air Quality/IAQ) .....	18
1.5.1 Ποιότητα εσωτερικού αέρα και παραγωγικότητα .....	21
1.5.2 Προτεινόμενοι τρόποι βελτίωσης εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα .....	21
1.5.3 Ποιότητα εσωτερικού αέρα και σχολείο.....	21
1.5.4 Ελληνικό σχολείο και κανονισμοί εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα .....	24
1.5.5 Διεθνείς κανονισμοί εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα.....	24
Μέρος Δεύτερο: Έρευνα.....	27
2.1 Γενικό πλαίσιο έρευνας .....	27
2.2 Σκεπτικό έρευνας .....	28
2.2.α Επιλογή σχολείου έρευνας.....	29
2.3 Χαρακτηριστικά σχολείου έρευνας .....	29
2.4 Περιγραφή τάξεων που έγιναν οι μετρήσεις .....	33
2.4.α Ε1.....	33
2.4.β ΟΛ1.....	39
2.5 Εξοπλισμός έρευνας .....	42
2.5.α Μη διαπερατός αισθητήρας υπέρυθρων (αισθητήρας NDIR): τρόπος λειτουργίας .....	45
2.6 Συλλογή δεδομένων.....	46
2.6.α Τοποθέτηση αισθητήρα καταγραφής .....	46
2.6.β Μετεωρολογικός σταθμός .....	48
Μέρος Τρίτο: Αποτελέσματα έρευνας.....	50
3.1 Σκοπός έρευνας.....	50
3.2 Σταθερές .....	50
3.3 Μεταβλητές.....	51
3.4 Στατιστικά καταγραφής .....	52
3.5 Ερευνητικά ερωτήματα.....	53
3.6 Αποτελέσματα του τμήματος Ε1 .....	55
3.6.α Σχέση CO <sub>2</sub> και αριθμού μαθητών (Ε1).....	55
3.6.β Σχέση CO <sub>2</sub> και μαθήματος ή διαλείμματος (Ε1).....	55
3.6.γ Σχέση CO <sub>2</sub> και ώρας (Ε1).....	56
3.6.δ Σχέση CO <sub>2</sub> και μήνα (Ε1).....	58

3.6.ε Σχέση CO <sub>2</sub> με εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (E1).....	61
3.6.στ Σχέση CO <sub>2</sub> και λειτουργίας καλοριφέρ (E1).....	63
3.6.ζ Σχέση CO <sub>2</sub> και παραθύρων (E1).....	64
3.6.η Σχέση CO <sub>2</sub> και πόρτας αίθουσας (E1).....	67
3.6.θ Σχέση CO <sub>2</sub> και ανεμιστήρων τοίχου πάνω από τα παράθυρα (E1).....	68
3.6.ι Σχέση CO <sub>2</sub> , εξωτερικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου εκτός κτιρίου (E1).....	69
3.6.ια Σχέση CO <sub>2</sub> , βροχής και ρυθμός (ένταση) βροχόπτωσης (E1).....	72
3.7 Αποτελέσματα του τμήματος ΟΛ1.....	75
3.7.α Σχέση CO <sub>2</sub> και αριθμού μαθητών (ΟΛ1).....	75
3.7.β Σχέση CO <sub>2</sub> και μαθήματος ή διαλείμματος (ΟΛ1).....	75
3.7.γ Σχέση CO <sub>2</sub> και ώρας (ΟΛ1).....	77
3.7.δ Σχέση CO <sub>2</sub> και μήνα (ΟΛ1).....	78
3.7.ε Σχέση CO <sub>2</sub> και εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας (ΟΛ1).....	80
3.7.στ Σχέση CO <sub>2</sub> και λειτουργίας καλοριφέρ (ΟΛ1).....	82
3.7.ζ Σχέση CO <sub>2</sub> και παραθύρων (ΟΛ1).....	82
3.7.η Σχέση CO <sub>2</sub> και πόρτας αίθουσας (ΟΛ1).....	85
3.7.θ Σχέση CO <sub>2</sub> και ανεμιστήρων τοίχου (ΟΛ1).....	86
3.7.ι Σχέση CO <sub>2</sub> , εξωτερικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου εκτός κτιρίου (ΟΛ1).....	86
3.7.ια Σχέση CO <sub>2</sub> , βροχής και ρυθμός (ένταση) βροχόπτωσης (ΟΛ1).....	89
Μέρος Τέταρτο: Συζήτηση - Συμπεράσματα.....	90
4.1 Συμπεράσματα από την έρευνα.....	90
4.2 Γενικά συμπεράσματα.....	100
4.3 Επίλογος.....	103
Αναφορές.....	104
Γενικές Πηγές.....	107
Σχετικοί Ιστότοποι.....	120
Πρότυπα (Standards) Ποιότητας Εσωτερικού Αέρα.....	121
Κατάλογος Εικόνων.....	122
Κατάλογος Πινάκων.....	124
Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.....	125

## Συντομογραφίες

Ορολογία στα Ελληνικά <sup>1</sup>		Ορολογία στα Αγγλικά	
-	Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού	ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers
-	βαθμοί Κελσίου	°C	Celsius Degrees
ΔΣ	Δημοτικό Σχολείο	-	Primary School
-	Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	Carbon Dioxide
-	Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος των ΗΠΑ	NASA	National Aeronautics and Space Administration (U.S.)
-	Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (U.S.)
ΕΑΑ	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	NOA	National Observatory of Athens
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή	-	Greek Statistical Authority
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση	EU	European Union
KYBE	Κέντρο Υποστήριξης Βιοτεχνικών Επιχειρήσεων (Περιστερίου)	-	Support Centre for Small Industries (in Peristeri)
λ.	λεπτό/ά	min	minute(s)
-	μέρη ανά εκατομμύριο	ppm	parts per million
μ.	μέτρο/α	m	metre(s)
ΟΟΣΑ	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης	OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
-	Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ	EPA	Environmental Protection Agency (U.S.)
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας	WHO	World Health Organisation
E1	πέμπτη τάξη, 1 <sup>ο</sup> τμήμα	-	5 <sup>th</sup> grade, 1 <sup>st</sup> class
-	Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα	IAQ	Indoor Air Quality
-	Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος	IEQ	Indoor Environmental Quality
ΟΛ1	τάξη ολοήμερου, 1 <sup>ο</sup> τμήμα	-	day school, 1 <sup>st</sup> class
ΥΠΑΙΘ	Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων	-	Ministry for Education & Religions
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας	-	Ministry for Environment & Energy
χλμ.	χιλιόμετρο/α	km	Kilometre(s)

### Σημείωση

Οι μονάδες μέτρησης μεγεθών στην εργασία αυτή δίνονται στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) και, επειδή υπάρχει ποικιλομορφία πηγών των δεδομένων με τους πίνακες αποτελεσμάτων (που προέρχονται από το SPSS) και τους πίνακες τεχνικών προδιαγραφών των ανεμιστήρων και της συσκευής καταγραφής να είναι στα αγγλικά, ο τρόπος γραφής της υποδιαστολής μπορεί να βρεθεί και με τον ελληνικό τρόπο (με ,) και με τον αγγλοσαξονικό (με .). Για να μην υπάρξει σύγχυση δεν χρησιμοποιούνται σύμβολα ομαδοποίησης της τάξης των αριθμών (χιλιάδες, εκατομμύρια, κλπ.). Επισημαίνεται, επίσης, ότι, επειδή οι αναφορές έχουν εισαχθεί αυτόματα από το πρόγραμμα Zotero, οι σελίδες στις αναφορές/παραπομπές δηλώνονται με το p. (page).

<sup>1</sup> Η ταξινόμηση έχει γίνει με βάση τη σειρά του ελληνικού αλφάβητου της (γκρίζας) στήλης με τα πλήρη ονόματα.

## Πρόλογος

Στο σύγχρονο σημερινό κόσμο, όπου τα συλλογικά πλανητικά περιβαλλοντικά θέματα απομακρύνονται από τη σφαίρα των ηθικών αιτημάτων και περνούν στη σφαίρα των ζητημάτων επιβίωσης, η εξασφάλιση ενός περιβάλλοντος που προάγει την υγεία όλων των ζωντανών οργανισμών αρχίζει να αντιμετωπίζεται σαν αδιαπραγμάτευτο (ανθρώπινο και όχι μόνο) δικαίωμα και προβλέπονται απαραίτητα προαπαιτούμενα χαρακτηριστικά και για τις τρεις βασικές του εκφάνσεις: το έδαφος, το νερό και τον αέρα.

Η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα είναι, μάλλον, η παράμετρος που συγκεντρώνει πιο έντονο το ενδιαφέρον όλου του πλανήτη τα τελευταία χρόνια, αφού, πολύ λιγότερο από το νερό και ακόμα λιγότερο από το έδαφος, είναι αδύνατον να περιχαρακωθεί και να τεμαχιστεί σε «ιδιοκτησίες». Βιώνεται ως -και είναι- ένα πανανθρώπινο αγαθό και μας αφορά όλους εξίσου, δεδομένου ότι συνδέεται απόλυτα με την κλιματική κρίση και τους φόβους που αυτή προκαλεί για τον οριστικό αφανισμό του ανθρώπινου είδους.

Υποδαυλισμένη από την υπαρξιακή μας αγωνία για την πιθανή μας πλανητική εξαφάνιση, η ενασχόλησή μας με την αλληλένδετη αλυσίδα ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων → υποβάθμιση ατμόσφαιρας → κλιματική κρίση έχει κορυφωθεί. Αναμφισβήτητα, από όλα τα ανθρωπογενή αέρια, αυτό που έχει αποδεδειγμένα ενοχοποιηθεί περισσότερο για την κλιματική κρίση είναι το **διοξείδιο του άνθρακα** (εφεξής CO<sub>2</sub>).

Το CO<sub>2</sub> το παράγουν όχι μόνο οι δραστηριότητες μας αλλά και ο ίδιος μας ο οργανισμός, άρα βρίσκεται παντού όπου βρισκόμαστε και εμείς. Και, αν και δίκαια, όλοι ανησυχούμε για την επίπτωσή του στο εξωτερικό περιβάλλον, υπάρχουν και άλλες προβληματικές καταστάσεις που σχετίζονται με την αυξημένη του παρουσία και στα εσωτερικά περιβάλλοντα.

Τα σημερινά κτίρια είναι καλύτερα μονωμένα από παλιότερα, αλλά συχνά -και λόγω της καλύτερης τους μόνωσης- είναι λιγότερο καλά αεριζόμενα. Οι διαχρονικές προσπάθειες εξοικονόμησης ενέργειας, μέσω της συγκράτησης της θερμότητας και μέσω του κλιματισμού, μπορεί να έχουν γυρίσει σε βάρος μας, αναφορικά με την παγίδευση και τη συσσώρευση CO<sub>2</sub> στην εσωτερική μας «ατμόσφαιρα».

Είναι γνωστό, εδώ και χρόνια, ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> μέσα σε κλειστό χώρο προκαλούν υπνηλία, κεφαλαλγίες, ζάλη, ναυτία και δυσφορία - καθώς και αδυναμία σκέψης, αιτιολόγησης, διατήρησης πληροφοριών και ανταπόκρισης.

Αν οι τελευταίες λέξεις που χρησιμοποιήσαμε, αμέσως παραπάνω, μετέφεραν τη

σκέψη σας από ατμοσφαιρικά θέματα σε γνωστικά θέματα, δεν έχετε καθόλου άδικο. Είναι η προφανής σύνδεση που μπορεί -και πρέπει- να κάνει κάποιος. Και είναι κοινός τόπος πως τα γνωστικά θέματα κυριαρχούν (εκτός, φυσικά, από τους επαγγελματικούς χώρους) στο χώρο της εκπαίδευσης, σε όλες τις βαθμίδες της.

Από την άλλη, όμως, η «κακή» σχέση του υπερβολικού CO<sub>2</sub> με τις γνωστικές λειτουργίες είναι ελάχιστα γνωστή στους επαγγελματίες της εκπαίδευσης στην Ελλάδα. Από άτυπες συζητήσεις με συναδέλφους, προέκυψε το ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι ο αερισμός (κύριο μέσο μείωσης του επιπέδου του CO<sub>2</sub> σε ένα κλειστό χώρο) των σχολικών αιθουσών συνδέεται στη συνείδησή τους μόνο με την καταπολέμηση μεταδοτικών (ιογενών) ασθενειών. Το ότι έτσι θα βοηθήσουν και τις γνωστικές λειτουργίες των μαθητών τους και, συνεπώς, την επίδοσή τους είναι κάτι που τους διαφεύγει παντελώς. Πάντως, όπως και να έχει, ο αερισμός αναδεικνύεται έτσι διττά σημαντικός και επωφελής.

Από την άλλη, αυτό που μπορεί να θεωρηθεί ως ένας καλός αερισμός από ορισμένους, θα μπορούσε να είναι εντελώς ανεπαρκής για κάποιους άλλους. Συνεπώς, ο σωστός αερισμός δεν μπορεί να αφεθεί στην προσωπική μας αίσθηση. Γεγονός είναι ότι, καθώς οι αριθμοί πληρότητας μέσα στα κτίρια και στις αίθουσες αυξάνονται, έτσι και αναπόφευκτα τα επίπεδα CO<sub>2</sub> αυξάνονται, αν δεν υπάρξει αντίστοιχη αύξηση των δυνατοτήτων εξαερισμού. Η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού, μέσω του παγκόσμια διαδεδωμένου διεθνούς Προτύπου της (ASHRAE 2016), συνιστά τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> του εσωτερικού αέρα να είναι μικρότερα από 700 ppm<sup>2</sup> πάνω από τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> του εξωτερικού αέρα. Γενικά μιλώντας όμως, CO<sub>2</sub> πάνω από 1000 ppm σε κλειστό χώρο τεκμηριωμένα πια θεωρείται ότι είναι το κατώφλι από το οποίο και μετά το αέριο αρχίζει να επηρεάζει τη σωματική μας κατάσταση.

Ένα υψηλό επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> (μαζί με άλλους ενδεικτικούς ρύπους) στο χώρο του σχολείου υποδηλώνει κακό αερισμό του σχολικού κτιρίου. Οι έρευνες δείχνουν ότι οι σωστές στρατηγικές εξαερισμού και ελέγχου, μέσω της παρακολούθησης του επιπέδου του CO<sub>2</sub>, θα κρατήσουν τον εσωτερικό αέρα καθαρό και ασφαλή για την υγεία και την άνεση των μαθητών.

Πώς, όμως, θα διαπιστωθεί το επίπεδο του CO<sub>2</sub> μέσα στα σχολικά μας κτίρια; Δεν υπάρχει άλλος τρόπος, φυσικά, από τη μέτρησή του με κατάλληλες συσκευές. Από όσο γνωρίζουμε, δυστυχώς, δεν υπάρχουν μόνιμα τέτοιες συσκευές καταμέτρησης στα ελληνικά σχολεία. Συνεπώς, είναι ουσιαστικά άγνωστο το τι κατάσταση επικρατεί, αναφορικά με το

---

<sup>2</sup> ppm = parts per million = μέρη ανά εκατομμύριο.

επίπεδο του CO<sub>2</sub>, στα σχολεία μας. Άρα, δεν μπορούμε να μιλάμε για (συνεχή) «παρακολούθηση» της κατάστασης με σκοπό τη διαχείρισή της, που θα οδηγήσει στην πρόληψη και αντιμετώπιση των συμπτωμάτων.

Μια και τα συμπτώματα αυτά είναι επόμενο να δυσκολεύουν τη μαθησιακή διαδικασία, το κάθε σχολείο, τόσο ως φορέας εκπαίδευσης, όσο και τα μέλη του, εκπαιδευτικοί και μαθητές, ατομικά και συλλογικά, πρέπει να τα έχουν υπόψη τους, ώστε να αντιμετωπίζουν ενεργητικά τη συσσώρευση του CO<sub>2</sub>, είτε μέσω του φυσικού αερισμού (παράθυρα) είτε του τεχνητού αερισμού (σύστημα εξαερισμού) των αιθουσών διδασκαλίας. Δεδομένης, όμως, της άγνοιας του θέματος από τους εκπαιδευτικούς, δεν μπορούμε να ελπίζουμε ούτε καν σε προληπτική διαχείρισή του και αντιμετώπισή του, έστω μέσω «υπερβάλλοντα» αερισμού. Δυστυχώς, τόσο το διδακτικό προσωπικό όσο και οι μαθητές ρυθμίζουν τον εξαερισμό στις τάξεις (με το άνοιγμα των παραθύρων) με βάση τη θερμική άνεση και όχι λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα του αέρα μέσα στην αίθουσα (Griffiths & Eftekhari 2008 p. 560).

Σκοπός, λοιπόν, αυτής της μικρής έρευνας είναι πρώτα να καταγράψει την κατάσταση, που επικρατεί σε ένα τυπικό σχολείο, να την περιγράψει και τελικά να την επικοινωνήσει, ώστε να βοηθήσει, στο μέτρο του εφικτού, στην καταπολέμηση της άγνοιας, αναφορικά με την αρνητική επίδραση του αυξημένου επιπέδου του CO<sub>2</sub> στις γνωστικές λειτουργίες του οργανισμού μας, συμβάλλοντας στην αντιμετώπισή του προβλήματος στο σχολικό περιβάλλον.

# Μέρος Πρώτο: Επισκόπηση

## 1.1 Γενικό πλαίσιο προβληματισμού

Οι άνθρωποι στη σημερινή εποχή περνούν τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους μέσα σε εσωτερικούς χώρους (Fowler 2013 p. 28). Υπολογίζεται ότι οι Ευρωπαίοι δαπανούν 8-16 ώρες/ημέρα σε εσωτερικούς χώρους, ανάλογα με την τοπική κουλτούρα και το κλίμα της περιοχής κατοικίας τους (Franchi et al. 2004 p. 21), ενώ άλλες αναφορές ανεβάζουν αυτό το ποσοστό σε περίπου 85-90% του συνολικού χρόνου τους να δαπανάται σε εσωτερικούς χώρους, όπως το σπίτι, ο χώρος εργασίας, τα δημόσια κτίρια ή τα αυτοκίνητα (European Commission & European Environment Agency 2013 p. 40).

Με δεδομένο ότι υπάρχουν τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές πηγές ατμοσφαιρικής μόλυνσης, είναι πιθανό διάφοροι ρυπαντές να έχουν υψηλότερο βαθμό συγκέντρωσης στο εσωτερικό παρά στο εξωτερικό περιβάλλον (Franchi et al. 2004 p. 17). Η έκθεση σε αυτούς τους ρυπαντές σχετίζεται με την τοποθεσία, τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, την ποιότητα κατοικίας, την ανάγκη μετακίνησης (Yingying 2019) κλπ. Αναλυτικότερα, οι πυκνοκατοικημένες μεσογειακές πόλεις είναι πιο εκτεθειμένες σε εκπομπές ρυπαντών, από την κυκλοφορία των οχημάτων, σε σύγκριση με τις βορειοευρωπαϊκές πόλεις που χαρακτηρίζονται από οικιστικές περιοχές που είναι λιγότερο εκτεθειμένες στην κυκλοφορία. Επιπλέον, οι κοινωνικοοικονομικά στερημένες ομάδες του πληθυσμού τείνουν να εκτίθενται περισσότερο τόσο σε εξωτερικούς ρυπαντές, λόγω του ότι κατοικούν σε περιοχές με κυκλοφοριακή επιβάρυνση, όσο και σε εσωτερικούς, λόγω π.χ. της ένδειας καυσίμων, του μαγειρέματος και της ακατάλληλης χρήσης των συσκευών θέρμανσης (WHO 2018).

Η συνήθης αντιμετώπιση της συγκέντρωσης ρυπαντών στην εσωτερική ατμόσφαιρα των χώρων κατοικίας, εργασίας (Fisk et al. 2019) και μεταφοράς (Yingying 2019) είναι ο εξαερισμός, δηλαδή η αντικατάσταση του μολυσμένου εσωτερικού αέρα με νέο από την εξωτερική ατμόσφαιρα, ο οποίος δεχόμαστε ότι είναι λιγότερο επιβαρυσμένος με ρυπαντές<sup>3</sup>, είτε με φυσικό εξαερισμό (χρήση ανοιγμάτων, όπως πόρτες και παράθυρα κλπ., προς τον εξωτερικό χώρο), είτε με τεχνητό εξαερισμό (χρήση μηχανικού συστήματος απαγωγής και εισαγωγής αέρα), για να γίνει η αντικατάσταση του εσωτερικού αέρα με εξωτερικό. Ας σημειωθεί εδώ ότι ο φυσικός εξαερισμός φαίνεται να υπερτερεί σημαντικά στα αποτελέσματα που επιτυγχάνει σε

---

<sup>3</sup> Αυτό βέβαια εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που έχουν να κάνουν με τη χωροθέτηση του κτιρίου, στο οποίο κάνουμε τον εξαερισμό, και αν βρίσκεται κοντά σε πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως δρόμους έντονης κυκλοφορίας, βιομηχανίες, επιχειρήσεις εστίασης κλπ. Για τις ανάγκες της συζήτησης εδώ, πάντως, θεωρούμε τον εξωτερικό αέρα «καθαρότερο» από τον εσωτερικό.

σχέση με τον τεχνητό (Al-Rashidi et al. 2012).

Η παρακολούθηση του CO<sub>2</sub> στους εσωτερικούς χώρους είναι ο πιο εύκολος και πρακτικός τρόπος για να αποφασίσει έγκυρα ο χρήστης ενός κτιρίου για το πότε είναι ο πιο κατάλληλος χρόνος για να γίνει εξαερισμός του χώρου που βρίσκεται. Το CO<sub>2</sub>, λοιπόν, είναι ο πιο διαδεδομένος δείκτης που μας δείχνει πότε είναι απαραίτητο να γίνει εξαερισμός ενός χώρου, ανεξάρτητα από την υποκειμενική αντίληψη που μπορεί να έχει ένας χρήστης για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα ενός χώρου (Al-Rashidi et al. 2012).

## 1.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

### 1.2.1 Το αέριο CO<sub>2</sub>

Το διοξείδιο του άνθρακα (χημικός τύπος CO<sub>2</sub>) είναι μια ανόργανη<sup>4</sup> χημική ένωση σε μορφή αερίου που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, με πυκνότητα περίπου 53% υψηλότερη από εκείνη του ξηρού αέρα (Wikipedia 2021a). Το CO<sub>2</sub> αναγνωρίστηκε ως αέριο διαφορετικό από άλλα στις αρχές του 17ου αιώνα από έναν Βέλγο χημικό, τον Jan Baptista van Helmont, ο οποίος το παρατήρησε ως προϊόν τόσο της ζύμωσης όσο και της καύσης (Britannica 2021). Τα μόρια CO<sub>2</sub> αποτελούνται από ένα άτομο άνθρακα (C) ομοιοπολικά συνδεδεμένο με δύο άτομα οξυγόνου (O) με χημικό τύπο: O=C=O → CO<sub>2</sub> (Wikipedia 2021a). Ανήκει στα οξείδια με βαθμό οξείδωσης του άνθρακα +4, στη φυσική του μορφή είναι άχρωμο αέριο, έχει σημείο τήξεως στους -56.5 °C, σημείο βρασμού στους -78 °C, πυκνότητα στους 1,9 kg/m<sup>3</sup> (αέριο), ενώ η ποσοστιαία συμμετοχή των στοιχείων στη χημική ένωση του CO<sub>2</sub> είναι 27.29% C (άνθρακας) και 72.71% O (οξυγόνο)<sup>5</sup>. Υγροποιείται κατά τη συμπίεση στα 75 kg/cm<sup>2</sup> στους 31 °C ή στα 16 έως 24 kg/cm<sup>2</sup> σε -23 έως -12 °C. Στα μέσα του 20ού αιώνα, το μεγαλύτερο μέρος του CO<sub>2</sub> πωλούνταν ως υγρό. Εάν το υγρό αφηθεί να επεκταθεί σε ατμοσφαιρική πίεση, ψύχεται και παγώνει μερικώς σε ένα στερεό που μοιάζει με χιόνι και ονομάζεται ξηρός πάγος, ο οποίος εξαχνώνεται (περνάει απευθείας από στερεό σε αέριο χωρίς να λιώσει) στους -78,5 °C υπό την πίεση μιας ατμόσφαιρας (1 atm) (Britannica 2021).

Σε συνήθεις θερμοκρασίες, το CO<sub>2</sub> είναι αδρανές. Σε θερμοκρασίες πάνω από 1700 °C διασπάται μερικώς σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οξυγόνο (O). Το υδρογόνο (H) ή ο

Φυσικές σταθερές του CO <sub>2</sub>	
Πυκνότητα	1,8 g/L (στους 25 °C)
Σημείο ζέσεως	-78 °C (στη 1 atm)
Σημείο πήξεως	-57 °C (στις 5,2 atm)

Εικόνα 1: Βασικές φυσικές σταθερές του CO<sub>2</sub>. Πηγή: [http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/pdf/8547/826/21-0212-01\\_Chimeia\\_B-Gymnasiou\\_Vivlio-Mathiti](http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/pdf/8547/826/21-0212-01_Chimeia_B-Gymnasiou_Vivlio-Mathiti)

<sup>4</sup> Αν και ένωση του άνθρακα, το CO<sub>2</sub> δεν θεωρείται οργανική ένωση γιατί δεν περιλαμβάνει υδρογονάνθρακες ή άνθρακα συνδεδεμένο με υδρογόνο. Πηγή: [εδώ](#).

<sup>5</sup> Πηγή: [https://www.webelements.com/compounds/carbon/carbon\\_dioxide.html](https://www.webelements.com/compounds/carbon/carbon_dioxide.html)



άνθρακας (C) επίσης το μετατρέπουν σε CO σε υψηλές θερμοκρασίες. Η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) αντιδρά με CO<sub>2</sub> υπό πίεση για να σχηματίσει καρβαμικό αμμώνιο και στη συνέχεια ουρία, ένα σημαντικό συστατικό των λιπασμάτων και των πλαστικών. Το CO<sub>2</sub> είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό (1,79 όγκοι ανά όγκο στους 0 °C και σε 1 atm, μεγαλύτερες ποσότητες σε υψηλότερες πιέσεις), σχηματίζοντας ένα ασθενώς όξινο διάλυμα. Αυτό το διάλυμα περιέχει ανθρακικό οξύ (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Το αναφλεγόμενο μαγνήσιο συνεχίζει να καίγεται σε CO<sub>2</sub>, αλλά το αέριο δεν υποστηρίζει την καύση των περισσότερων υλικών. (Britannica 2021).

Σχηματίζεται από την καύση υλικών που περιέχουν άνθρακα, από τις καύσεις των ζωντανών οργανισμών και της οργανικής ύλης, από τη ζύμωση, από την αναπνοή των ζώων και χρησιμοποιείται από τα φυτά στη φωτοσύνθεση των υδατανθράκων (Britannica 2021). Η σημασία του για τη ζωή είναι πολύ μεγάλη. Το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας είναι ένας από τους παράγοντες που ρυθμίζουν το κλίμα του πλανήτη (Αβραμιώτης et al. 2019).

Οι φυσικές πηγές CO<sub>2</sub> περιλαμβάνουν ηφαίστεια, θερμές πηγές και θερμοπίδακες και απελευθερώνεται από ανθρακικά πετρώματα με διάλυση σε νερό και οξέα. Επειδή το CO<sub>2</sub> είναι διαλυτό στο νερό, εμφανίζεται φυσικά στα υπόγεια ύδατα, στα ποτάμια και τις λίμνες, τα στρώματα πάγου, τους παγετόνες και το θαλασσινό νερό. Υπάρχει σε κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου (Wikipedia 2021a).

Το CO<sub>2</sub> είναι ένα άχρωμο αέριο με έντονη και όξινη μυρωδιά και δημιουργεί τη γεύση του αναψυκτικού στο στόμα (ξινή γεύση). Ωστόσο, σε συγκεντρώσεις που συναντώνται κανονικά είναι άοσμο (Wikipedia 2021a). Είναι ένα από τα πιο σημαντικά αέρια που συνδέονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη, αλλά είναι δευτερεύον συστατικό της ατμόσφαιρας της Γης αφού εμφανίζεται φυσικά στην ατμόσφαιρα της Γης ως ιχνοστοιχείο (Britannica 2021). Η τρέχουσα συγκέντρωση είναι περίπου 0,04% (≈410-420 ppm) στην ατμόσφαιρα, έχοντας αυξηθεί από τα προβιομηχανικά επίπεδα των 280 ppm (Wikipedia 2021a). Η παρουσία του αερίου στην ατμόσφαιρα εμποδίζει μέρος της ακτινοβολίας που λαμβάνει η Γη να επιστρέψει στο διάστημα, δημιουργώντας έτσι το λεγόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Britannica 2021; Αβραμιώτης et al. 2019).

Παρόλη τη μικρή του ποσότητα στην ατμόσφαιρα, τα φυτά και τα ζώα εξαρτώνται από αυτό για μια ζωή. Τα πράσινα φυτά παράγουν τα θρεπτικά συστατικά τους με αυτό. Συνδυάζουν το CO<sub>2</sub> με νερό για να κάνουν σάκχαρα. Από τα σάκχαρα, τα φυτά στη συνέχεια παράγουν άμυλο και κυτταρίνη. Τα ζώα τρώνε τα φυτά και παίρνοντας ενέργεια από την τροφή, παράγουν CO<sub>2</sub> και το επιστρέφουν στον αέρα καθώς αναπνέουν. Από τον αέρα το αέριο εισέρχεται ξανά στη φωτοσύνθεση (Britannica Kids 2021; Αβραμιώτης et al. 2019).

Αναλυτικότερα, το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> είναι η κύρια πηγή άνθρακα για τη ζωή στη Γη.

Τα φυτά, τα φύκια και τα κυανοβακτήρια χρησιμοποιούν ενέργεια από το ηλιακό φως για να συνθέσουν υδατάνθρακες από CO<sub>2</sub> και νερό σε μια διαδικασία που ονομάζεται φωτοσύνθεση, η οποία παράγει οξυγόνο ως απόβλητο προϊόν. Με τη σειρά του, το οξυγόνο καταναλώνεται και το CO<sub>2</sub> απελευθερώνεται ως απόβλητο από όλους τους αερόβιους οργανισμούς όταν μεταβολίζουν οργανικές ενώσεις για να παράγουν ενέργεια με την αναπνοή. Δεδομένου ότι τα φυτά απαιτούν CO<sub>2</sub> για τη φωτοσύνθεση και οι άνθρωποι και τα ζώα εξαρτώνται από τα φυτά για τροφή, το CO<sub>2</sub> είναι απαραίτητο για την επιβίωση της ζωής στη γη. Το CO<sub>2</sub> επιστρέφεται στο νερό από τα βράγχια των ψαριών και στον αέρα από τους πνεύμονες των χερσαίων ζώων που αναπνέουν αέρα, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων (Wikipedia 2021a).

Εκτός από το ότι παράγεται στην αναπνοή, το CO<sub>2</sub> σχηματίζεται όταν υλικά που περιέχουν άνθρακα όπως ξύλο, άνθρακας και προϊόντα πετρελαίου καίγονται μαζί με οξυγόνο. Εάν η παροχή οξυγόνου στη θερμαινόμενη ζώνη είναι κακή, ορισμένα άτομα άνθρακα συνδυάζονται μόνο με ένα άτομο οξυγόνου (ατελής καύση) και σχηματίζεται μονοξείδιο του άνθρακα (CO), ένα αέριο δηλητηριώδες (Britannica Kids 2021).

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο σημαντικό μακρόβιο αέριο θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης. Από τη Βιομηχανική Επανάσταση οι ανθρωπογενείς εκπομπές -κυρίως από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και την αποψύλωση των δασών- αύξησαν γρήγορα τη συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας σε υπερθέρμανση του πλανήτη (Αβραμιώτης et al. 2019). Το διοξείδιο του άνθρακα προκαλεί επίσης οξίνιση των ωκεανών επειδή διαλύεται στο νερό για να σχηματίσει ανθρακικό οξύ (Wikipedia 2021a).

Το CO<sub>2</sub> επειδή σε συνήθεις συνθήκες είναι αδρανές, δεν είναι τοξικό, είναι άφλεκτο, άοσμο, φθινό και εύκολα να παρασκευασθεί σε μεγάλες ποσότητες χωρίς προσμίξεις, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων, στη βιομηχανία πετρελαίου και βρίσκει εφαρμογές σε πλήθος καταναλωτικών προϊόντων που απαιτούν πεπιεσμένο, καθαρό, άφλεκτο και φθινό αέριο (Rushing 2011).

Βιομηχανικά, το CO<sub>2</sub> ανακτάται για πολλές διαφορετικές εφαρμογές από καυσαέρια, ως υποπροϊόν της παρασκευής υδρογόνου για σύνθεση αμμωνίας, από ασβεστοκάμινα και από άλλες πηγές (Britannica 2021). Το CO<sub>2</sub> παράγεται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αποσύνθεσης οργανικών υλικών και ζύμωσης σακχάρων στο ψωμί, την μύρα και την παραγωγή κρασιού<sup>6</sup>. Παράγεται από καύση ξύλου, τύρφης και άλλων οργανικών υλικών και ορυκτών καυσίμων όπως άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Είναι ένα ανεπιθύμητο υποπροϊόν σε πολλές διαδικασίες οξείδωσης μεγάλης κλίμακας, για παράδειγμα, στην

---

<sup>6</sup> Πηγή: [http://195.134.76.37/chemicals/chem\\_carbondioxide.htm#08b](http://195.134.76.37/chemicals/chem_carbondioxide.htm#08b)

παραγωγή ακρυλικού οξέος (Wikipedia 2021a).



Εικόνα 2: Συνοψίζοντας για το CO<sub>2</sub>. Πηγή: [http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/ht ml/8547/2206/Chimeia\\_B-Gymnasiou\\_html-empl/index3\\_3.html](http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/ht ml/8547/2206/Chimeia_B-Gymnasiou_html-empl/index3_3.html)

Ταυτόχρονα, είναι ένα ευέλικτο βιομηχανικό υλικό, που χρησιμοποιείται, για παράδειγμα, ως αδρανές αέριο στη συγκόλληση, ως αέριο υπό πίεση στα πιστόλια αέρα και στην ανάκτηση λαδιού, ως χημική πρώτη ύλη και ως υπερκρίσιμο ρευστό διαλύτη στην αποκαφεϊνοποίηση του καφέ και την υπερκρίσιμη ξήρανση (Wikipedia 2021a). Ακόμη, το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται ως μέσο ελέγχου του pH των κολυμβητηρίων. Με τη συνεχή προσθήκη CO<sub>2</sub> στο νερό, διατηρείται το pH σε χαμηλά επίπεδα<sup>7</sup>. Με την πρακτική αυτή αποφεύγεται η χρήση πιο επικίνδυνων και διαβρωτικών οξέων (Rushing 2011).

Ως άφλεκτο αέριο, το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται υπό πίεση σε ορισμένους πυροσβεστήρες, που είναι σχεδιασμένοι για κατάσβεση πυρκαγιών που οφείλονται σε ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα και σε εύφλεκτα υγρά. Ειδικοί πυροσβεστήρες με CO<sub>2</sub> χρησιμοποιούνται και για την πυροπροστασία πλοίων και μηχανοστασίων (Rushing 2011).

Επίσης, το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται ως ψυκτικό, για φούσκωμα φουσκωτών βαρκών και σωσίβιων, στην ανατίναξη του άνθρακα, στον αφρισμό του καουτσούκ και των πλαστικών, στην προώθηση της ανάπτυξης των φυτών στα θερμοκήπια και στην ακινητοποίηση των ζώων πριν από τη σφαγή (Britannica 2021). Η κατεψυγμένη στερεά μορφή CO<sub>2</sub>, γνωστή ως ξηρός πάγος, χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο και ως διαβρωτικό για τον καθαρισμό αντικειμένων. Το CO<sub>2</sub> είναι πρώτη ύλη για τη σύνθεση καυσίμων και χημικών (Wikipedia 2021a).

Επιπλέον, το αέριο CO<sub>2</sub> διαλύεται στο νερό, σχηματίζοντας ανθρακικό οξύ. Όταν αυτό το ασθενές οξύ αντιδρά με ορισμένες ουσίες, σχηματίζει προϊόντα που ονομάζονται ανθρακικά. Ένα σημαντικό ανθρακικό είναι το όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO<sub>3</sub>), ή μαγειρική σόδα.

<sup>7</sup> Πηγή: [http://195.134.76.37/chemicals/chem\\_carbondioxide.htm#08b](http://195.134.76.37/chemicals/chem_carbondioxide.htm#08b)

Ανθρακικά και οξέα αντιδρούν απελευθερώνοντας CO<sub>2</sub> (Britannica 2021). Η μαγιά της αρτοποιίας παράγει CO<sub>2</sub> από τη ζύμωση των σακχάρων στο εσωτερικό της ζύμης, ενώ άλλα προϊόντα, όπως το baking powder (μίγμα όξινου τρυγικού καλίου και NaHCO<sub>3</sub>) και η μαγειρική σόδα (NaHCO<sub>3</sub>), απελευθερώνουν CO<sub>2</sub>, όταν διαλυθούν σε νερό, όταν θερμανθούν ή όταν εκτεθούν σε οξέα και χρησιμοποιούνται ως διογκωτικά μέσα στη μαγειρική και ζαχαροπλαστική (Rushing 2011).

Στα τρόφιμα το CO<sub>2</sub> (κωδικός E290) χρησιμοποιείται στα αεριούχα αναψυκτικά για τις αφρώδεις ιδιότητές του, στα προσυσκευασμένα τρόφιμα, στην κρέμα γάλακτος, σε συσκευασίες με τροποποιημένη ατμόσφαιρα και ως προωθητικό σε τρόφιμα που βρίσκονται σε συσκευασίες αερίων. Προτιμάται γιατί δεν υπάρχει ανώτατο όριο καθημερινής λήψης, δεν έχουν βρεθεί παρενέργειες στα τρόφιμα και δεν έχει κανένα διατροφικό περιορισμό, αφού μπορεί να καταναλωθεί από όλες τις θρησκευτικές ομάδες, καθώς και από ακραίους και μη χορτοφάγους<sup>8</sup>. Πιο συγκεκριμένα, το CO<sub>2</sub> προστίθεται στο πόσιμο νερό και τα ανθρακούχα ποτά, συμπεριλαμβανομένης της μπίρας και του αφρώδους οίνου για να προσθέσει αναβρασμό (Wikipedia 2021a). Τα συνηθισμένα αναψυκτικά είναι νερό με διάφορες αρωματικές και γλυκαντικές ουσίες και αέριο CO<sub>2</sub> διαλυμένο υπό πίεση. Η σφιχτή εμφιάλωση διατηρεί την πίεση μέχρι να αφαιρεθεί το καπάκι της φιάλης. Στη συνέχεια, το αέριο αναβλύζει δημιουργώντας φυσαλίδες (Britannica Kids 2021).

Σε θερμοκήπια, το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση βλαβερών ζουφίων, αραχνών και ακάρεων. Ως υγρό, το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται ως εκχυλιστικό μέσο αιθέριων ελαίων από φυσικά προϊόντα, συνδυάζοντας πολλά πλεονεκτήματα, όπως μεγάλη εκχυλιστική ικανότητα, φιλικότητα προς το περιβάλλον και χαμηλό κόστος<sup>9</sup>.

Στην ιατρική, έως 5% CO<sub>2</sub> προστίθεται στο οξυγόνο για διέγερση της αναπνοής μετά από άπνοια και για τη σταθεροποίηση της ισορροπίας O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> στο αίμα. Το CO<sub>2</sub> μπορεί να αναμιχθεί με έως και 50% οξυγόνο, σχηματίζοντας ένα εισπνεόμενο αέριο, γνωστό ως Carbogen, που έχει μια ποικιλία ιατρικών και ερευνητικών χρήσεων (Wikipedia 2021a).

Το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται στα αναβράζοντα δισκία βιταμινών και φαρμάκων. Το CO<sub>2</sub> υπό πίεση (συνήθως ως υπερκρίσιμο ρευστό) παρουσιάζει αντιμικροβιακή δράση και έχει εξετασθεί η αποτελεσματικότητά του για την αποστείρωση νοσηλευτικού υλικού και ιατρικών εργαλείων (Rushing 2011).

### 1.2.2 Το CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα

<sup>8</sup> Πηγή: <http://www.food-info.net/gr/e/e290.htm>

<sup>9</sup> Πηγή: [http://195.134.76.37/chemicals/chem\\_carbondioxide.htm#08b](http://195.134.76.37/chemicals/chem_carbondioxide.htm#08b)

Η περιεκτικότητα σε CO<sub>2</sub> στον καθαρό αέρα (κατά μέσο όρο μεταξύ της στάθμης της θάλασσας και περίπου 30 χλμ. σε υψόμετρο) κυμαίνεται μεταξύ 0,036% (360 ppm) και 0,041% (412 ppm), ανάλογα με την τοποθεσία με τιμές που παρουσιάζουν συνεχώς αύξηση.

Δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι το CO<sub>2</sub> υπάρχει συστηματικά στην ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι είναι ένα αέριο που παράγει η ίδια η ζωή του πλανήτη: οι ζωντανοί οργανισμοί με τις καύσεις τους παράγουν CO<sub>2</sub>, καθώς και οι άνθρωποι με τις δραστηριότητές τους που σχετίζονται κυρίως με την παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ενέργειας. Ακόμα και φυσικές διεργασίες ή καταστροφές στον πλανήτη παράγουν ή απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα CO<sub>2</sub>, όπως εκρήξεις ηφαιστειών, πυρκαγιές σε δάση, λιώσιμο των προαιώνιων πάγων.

Έτσι εξηγείται η συνεχής συσσώρευσή του στην ατμόσφαιρα και η καθοριστική του συμβολή στην υπερθέρμανση του πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου) που προκαλεί την κλιματική κρίση και δημιουργεί εύλογες ανησυχίες για τη δυνατότητά μας να επιβιώσουμε στον πλανήτη (Bierwirth 2021). Και, δυστυχώς, δεν φαίνεται να υπάρχει μαγικός τρόπος να απελευθερωθούμε από αυτό:

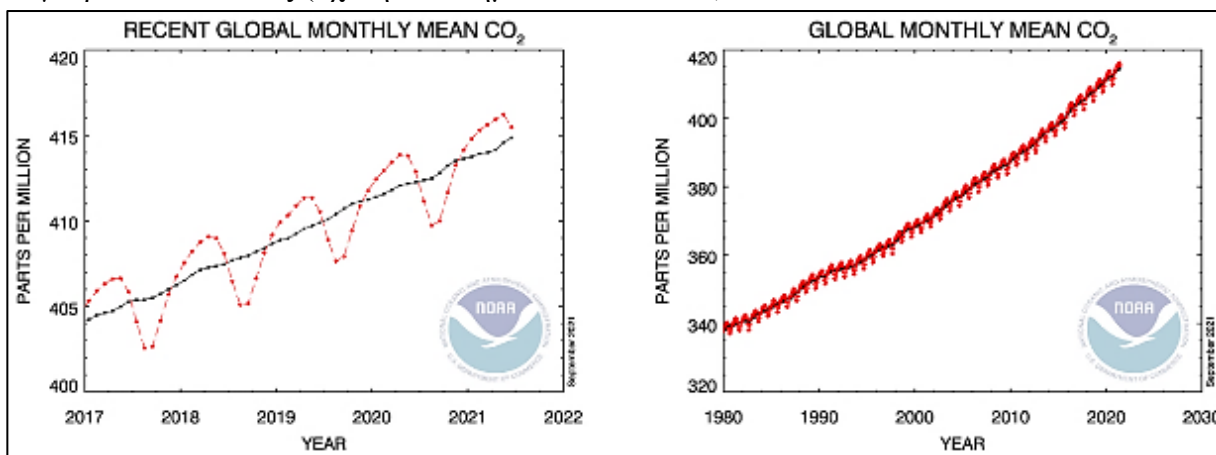
*Δεν υπάρχει φωτοχημική καταστροφή του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> όπως συμβαίνει για πολλά άλλα αέρια [...]. Αντίθετα, το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> μπορεί να διαλυθεί στο νερό και μπορεί να μετατραπεί μέσω της φωτοσύνθεσης στα φυτά σε ξύλο και άλλη οργανική ύλη. Ωστόσο, αυτές οι μεταφορές δεν είναι μόνιμες επειδή ο άνθρακας στην πραγματικότητα επιστρέφει ξανά ως CO<sub>2</sub>. Στους ωκεανούς αναπτύσσεται μια ισορροπία στην οποία τόσο CO<sub>2</sub> αφήνει τους ωκεανούς όσο εισέρχεται σε αυτούς. Στα φυτά και τα εδάφη αναπτύσσεται μια σταθερή κατάσταση στην οποία ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ισούται με τον ρυθμό οξείδωσης του άνθρακα πίσω σε CO<sub>2</sub> μέσω της αναπνοής των ζωντανών οργανισμών και από πυρκαγιές. Οι ίδιοι οι άνθρωποι είμαστε μέρος αυτής της διαδικασίας καθώς εκπνέουμε υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> που έχει παραχθεί στα κύτταρά μας και στα έντερα μας από μικρόβια που αφομοιώνουν την τροφή που μας δίνει την ενέργεια που απαιτείται για να ζήσουμε. Επίσης καίμε δάση. Η ατμόσφαιρα, οι ωκεανοί και η χερσαία βιόσφαιρα δρουν σαν μια διασυνδεδεμένη δεξαμενή από την οποία ο άνθρακας δεν εξαφανίζεται με καμία πρακτική έννοια. Μόνο η διάβρωση και ο σχηματισμός βράχων μπορούν να το κάνουν αυτό, αλλά αυτά είναι μικρά σταγονίδια συγκριτικά. Επομένως, το CO<sub>2</sub> από την καύση ορυκτών καυσίμων μπορεί μόνο να αυξήσει τη συνολική ποσότητα άνθρακα σε αυτήν τη δεξαμενή<sup>10</sup>.*

Εξαιτίας της σημασίας της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα και της διασύνδεσής του με την κλιματική κρίση, οι ποσότητες του CO<sub>2</sub> καταγράφονται συστηματικά σε παγκόσμια κλίμακα. Από τις καταγραφές αυτές τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, όσο και στο σταθμό Mauna Loa στη Χαβάη (που θεωρείται παγκόσμιο κέντρο αναφοράς για τιμές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα μακριά από ανθρωπογενείς πηγές) είναι σαφής η αύξηση των τιμών του CO<sub>2</sub>

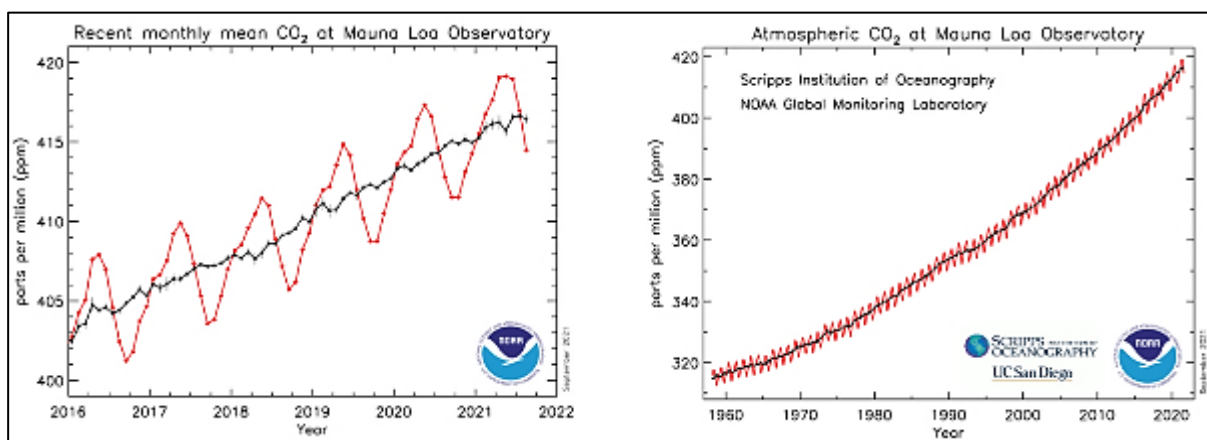
<sup>10</sup> Πηγή: <https://gml.noaa.gov/ccgg/covid2.html>

και διαχρονικά και πρόσφατα (Bierwirth 2021).

Ενδεικτικά, οι τιμές των μέσων όρων που καταγράφηκαν παγκόσμια τον Ιούνιο του 2021 ήταν 415.48 ppm, ενώ αντίστοιχα τον Ιούνιο του 2020 ήταν 412.88 ppm<sup>11</sup>. Στις ίδιες περίπου περιόδους, ο σταθμός Mauna Loa της Χαβάης έδινε 414.47 ppm για τον Αύγουστο του 2021, ενώ για τον Αύγουστο του 2020 είχε δώσει 412.78 ppm<sup>12</sup>. Οι μικρές διαφοροποιήσεις στις μετρήσεις εξηγούνται από το γεγονός ότι ο σταθμός Mauna Loa είναι εξαιρετικά απομακρυσμένος από ανθρώπινες δραστηριότητες και θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται συγκυριακά από αυτές (πχ. την πανδημία του Covid-19).



Εικόνα 3: Παγκόσμια επίπεδα CO<sub>2</sub>. Πηγή: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html#global>



Εικόνα 4: Επίπεδα CO<sub>2</sub> στο Mauna Loa. Πηγή: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends>

Οι πρωτοφανείς αυτές καταγραφές του CO<sub>2</sub><sup>13</sup> είναι πολύ σημαντικές γιατί μας δίνουν μια ένδειξη του σε ποιο επίπεδο θα πρέπει να θεωρείται ότι είναι η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην εξωτερική ατμόσφαιρα, αφού η τιμή του CO<sub>2</sub> εξωτερικά θεωρείται από πολλά πρότυπα η βάση υπολογισμού του επιθυμητού επιπέδου του CO<sub>2</sub> στους εσωτερικούς χώρους. Για παράδειγμα υπάρχει διαδεδομένη η άποψη ότι οι οδηγίες του ASHRAE (ASHRAE 2016) προτείνουν +700

<sup>11</sup> Πηγή: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html#global>

<sup>12</sup> Πηγή: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

<sup>13</sup> Πηγή: <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2764/Coronavirus-response-barely-slows-rising-carbon-dioxide>



ppm CO<sub>2</sub> από την τιμή του CO<sub>2</sub> στην εξωτερική ατμόσφαιρα, για την οποία δέχονται το, ξεπερασμένο από καιρό, επίπεδο των 300 ppm CO<sub>2</sub>, δηλαδή 1000 ppm CO<sub>2</sub> (300+700=1000 ppm) ως το ανώτατο επιθυμητό όριο για το CO<sub>2</sub> στους εσωτερικούς χώρους (Persily 2020).

Δεδομένου, πάντως, ότι το όριο των 1000 ppm για το CO<sub>2</sub> φαίνεται να είναι μάλλον σχετικά ανελαστικό για καλή ποιότητα εσωτερικού αέρα, γιατί τιμές συγκέντρωσης σε ένα κλειστό χώρο πάνω από αυτό προκαλούν σειρά προβλημάτων στην υγεία και στη παραγωγικότητα, όπως παρουσιάζουμε στην επόμενη ενότητα, αυτό συνεπάγεται ότι τα συστήματα εξαερισμού πρέπει να γίνουν ακόμα καλύτερα, όσο περνάει ο καιρός, αφού το +700 ppm ουσιαστικά «μεταφράζεται» μάλλον σε +600 ppm ήδη και θα συμπιεστεί ακόμα περισσότερο από την αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

### 1.2.3 Επίδραση του CO<sub>2</sub> στον άνθρωπο

Το CO<sub>2</sub> είναι ένα ασφύξιγόνο αέριο που, όμως, δεν ταξινομείται ως τοξικό ή επιβλαβές σύμφωνα με τα πρότυπα Global Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals<sup>14</sup> της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη<sup>15</sup>. Παρόλα αυτά, η τοξικότητα του CO<sub>2</sub> και οι επιπτώσεις της αυξάνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας του αέρα σε CO<sub>2</sub> (Jacobson et al. 2019):

- σε συγκεντρώσεις έως 1% v/v<sup>16</sup> (≈10.000 ppm), που αντιστοιχούν σε μια γεμάτη αίθουσα με κακό εξαερισμό, η παρατεταμένη έκθεση θα κάνει μερικούς ανθρώπους να νιώσουν υπνηλία και θα δώσει στους πνεύμονες μια αποπνικτική αίσθηση,
- σε περιεκτικότητα 2% v/v το CO<sub>2</sub> λειτουργεί ως ήπιο ναρκωτικό: προκαλεί αυξημένη αρτηριακή πίεση και καρδιακό ρυθμό και μειώνει την ακοή,
- σε περιεκτικότητα περίπου 5% v/v το CO<sub>2</sub> προκαλεί διέγερση του αναπνευστικού κέντρου, ζάλη, σύγχυση και δυσκολία στην αναπνοή συνοδευόμενη από κεφαλαλγία και δύσπνοια,
- σε συγκεντρώσεις από 7% έως 10% (≈70.000 έως 100.000 ppm) μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, ακόμη και παρουσία επαρκούς οξυγόνου, που εκδηλώνεται ως ζάλη, δυσλειτουργία της όρασης και της ακοής, κεφαλαλγία, εφίδρωση, παραισθήσεις, τρέμουλο και απώλεια συνείδησης μετά την έκθεση για πέντε έως δέκα λεπτά. Οι φυσιολογικές επιδράσεις της οξείας έκθεσης σε CO<sub>2</sub> ομαδοποιούνται μαζί υπό τον όρο υπερκαπνία, μια υποκατηγορία της ασφυξίας. (Wikipedia 2021a).

<sup>14</sup> Πηγή: <https://unece.org/about-ghs>

<sup>15</sup> <https://unece.org>

<sup>16</sup> % v/v ή % κ.ό. (% όγκο κατ' όγκο) είναι έκφραση περιεκτικότητας που χρησιμοποιείται κυρίως στα αέρια μίγματα και δηλώνει τα mL ενός αερίου ανά 100 mL αερίου μίγματος.

Αναλυτικότερα, η υπερκαπνία, όπως ονομάζεται η αυξημένη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στο αίμα, συνήθως εμφανίζεται ως αποτέλεσμα υποαερισμού, δηλαδή, όταν δεν φτάνει επαρκές οξυγόνο στους πνεύμονες, επειδή το σώμα είτε δεν λαμβάνει επαρκές φρέσκο οξυγόνο ή δεν απομακρύνει κατάλληλα το CO<sub>2</sub> (Bierwirth 2021). Σε περίπτωση που η υπερκαπνία δεν αποτελεί σύμπτωμα υποκειμένων παθήσεων, που επηρεάζουν την αναπνοή και το αίμα, τότε μπορεί να οφείλεται σε μολυσμένο με διοξείδιο του άνθρακα αέρα που αναπνέει κανείς (Wikipedia 2021b).

Τα ήπια συμπτώματα της υπερκαπνίας είναι τα εξής: έξαψη του δέρματος, υπνηλία ή ανικανότητα εστίασης σε μία συγκεκριμένη δραστηριότητα, ήπιος πονοκέφαλος, αποπροσανατολισμός ή ζάλη, λαχάνιασμα, μη φυσιολογικό αίσθημα κόπωσης ή εξάντλησης. Τα έντονα συμπτώματα της υπερκαπνίας (ανεξήγητο αίσθημα σύγχυσης, μη φυσιολογικό συναίσθημα παράνοιας ή κατάθλιψης, μυϊκοί σπασμοί, ανώμαλος καρδιακός ρυθμός, κρίσεις πανικού, επιληπτικές κρίσεις, λιποθυμία) θέτουν το ανθρώπινο σώμα σε πραγματική απειλή, γιατί μπορεί να αποτρέψουν τη φυσιολογική αναπνοή<sup>17</sup> (Bierwirth 2021).

Στη σοβαρή υπερκαπνία η συμπτωματολογία μπορεί να εξελιχθεί σε αποπροσανατολισμό, πανικό, υπεραερισμό, σπασμούς, αναισθησία και τελικά θάνατο (Wikipedia 2021b), ενώ όλα αυτά μπορεί να προκληθούν μετά από παρατεταμένη έκθεση των ανθρώπων σε συγκεντρώσεις 5% CO<sub>2</sub> που μπορεί να προκαλέσουν αναισθησία και θάνατο (Britannica 2021).

Το CO<sub>2</sub> είναι τοξικό για την καρδιά και προκαλεί αρρυθμίες. Δοκιμές που έγιναν σε πειραματόζωα έδειξαν ότι, μετά από εισπνοή 50% CO<sub>2</sub> και 50% μείγματος αέρα η αναπνευστική κίνηση αυξήθηκε και, στη συνέχεια, μειώθηκε, ενώ ο καρδιακός ρυθμός επιβραδύνθηκε. Η καταστολή της αρτηριακής πίεσης με μειωμένο καρδιακό ρυθμό φαίνεται να οφείλεται στην άμεση κατασταλτική επίδραση του CO<sub>2</sub> στην καρδιά. Μετά από 30-90 λεπτά, το αναπνευστικό κέντρο ήταν σε καταστολή και εμφανίστηκε υπόταση είτε σταδιακά, είτε ξαφνικά, από τη μειωμένη καρδιακή παροχή, οδηγώντας σε άπνοια και τελικά σε κυκλοφορική διακοπή. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub>, η αναισθησία επήλθε σχεδόν ακαριαία και η αναπνευστική κίνηση σταμάτησε σε 1 λεπτό. Μετά από μερικά λεπτά άπνοιας, παρατηρήθηκε κυκλοφορική διακοπή. Τα ευρήματα υπονοούν ότι η αιτία θανάτου στην αναπνοή υψηλών συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> δεν είναι η υποξία αλλά η τοξικότητα του CO<sub>2</sub> σε υψηλές συγκεντρώσεις (Wikipedia 2021b).

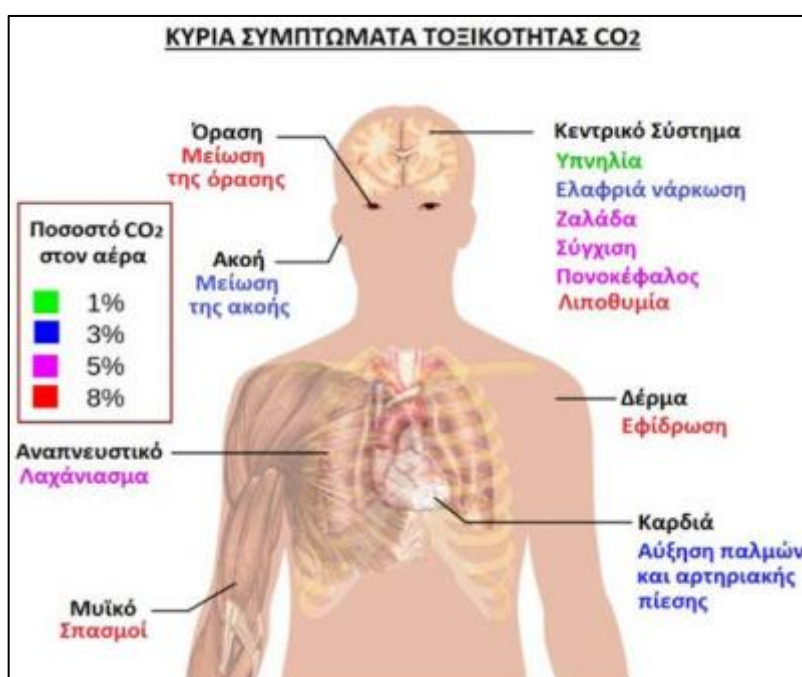
Υπάρχουν λίγες μελέτες για τις επιπτώσεις στην υγεία από τη μακροχρόνια συνεχή

---

<sup>17</sup> Πηγή: <https://wikihealth.gr/symptoms/yperkapnia>



έκθεση CO<sub>2</sub> σε ανθρώπους και ζώα σε επίπεδα κάτω του 1% (Jacobson et al. 2019). Τα όρια επαγγελματικής έκθεσης σε CO<sub>2</sub> έχουν οριστεί στις Ηνωμένες Πολιτείες στο 0,5% (5000 ppm) για ένα οκτάωρο. Σε αυτή τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> το πλήρωμα του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού αντιμετώπισε πονοκεφάλους, λήθαργο, ψυχική βραδύτητα, συναισθηματικό ερεθισμό και διαταραχή του ύπνου. Μελέτες σε ζώα με 0,5% CO<sub>2</sub> έδειξαν ασβεστοποίηση των νεφρών και απώλεια οστού μετά από έξι με οκτώ εβδομάδες έκθεσης. Μελέτη ανθρώπων που εκτέθηκαν σε συνεδρίες 2,5 ωρών έδειξε σημαντικές αρνητικές επιδράσεις στις γνωστικές ικανότητες, ακόμα και σε συγκεντρώσεις τόσο χαμηλές όσο 0,1% (1000 ppm) CO<sub>2</sub>, πιθανώς λόγω αυξήσεων της προκαλούμενης από το CO<sub>2</sub> εγκεφαλικής ροής αίματος. Άλλη μελέτη παρατήρησε μείωση του βασικού επιπέδου δραστηριότητας και της χρήσης πληροφοριών στα



1000 ppm, σε σύγκριση με τα 500 ppm (Yingying 2019).

Εικόνα 5: Συμπτώματα τοξικότητας CO<sub>2</sub> Πηγή: Wikipedia: [Carbon dioxide](#) (accessed 10/1/2022)

Ωστόσο, σε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας διαπιστώθηκε ότι οι περισσότερες μελέτες σχετικά με την επίδραση του CO<sub>2</sub> στη γνωστική εξασθένηση δείχνουν μικρή επίδραση στη λήψη αποφάσεων υψηλού επιπέδου (Wikipedia 2021a).

Πίνακας 1: Σύνοψη των επιπτώσεων στην υγεία από την αναπνοή CO <sub>2</sub> σε συγκεντρώσεις κάτω από 1% (10.000 ppm) Πηγή: (Yingying 2019)		
Επίπεδο CO <sub>2</sub>	Επίδραση στην υγεία	Διάρκεια έκθεσης
10.000 ppm	Ασβεστοποίηση νεφρών, μειωμένος σχηματισμός οστών και αυξημένη οστική απορρόφηση σε ινδικά χοιρίδια	6 εβδομάδες
8500 ppm	Αυξημένος όγκος νεκρού χώρου του πνεύμονα	20 μέρες
7000 ppm	Αύξηση 35% στην εγκεφαλική ροή αίματος (επιπτώσεις για τις γνωστικές επιδράσεις που παρατηρήθηκαν σε άλλες μελέτες)	23 μέρες
5000–6600	Πονοκέφαλοι, λήθαργος, κυκλοθυμία, ψυχική βραδύτητα,	Βραχυπρόθεσμα

<b>ppm</b>	συναισθηματικός ερεθισμός, διαταραχή ύπνου	
<b>5000 ppm</b>	Ασβεστοποίηση νεφρών, αποικοδόμηση οστών σε ινδικά χοιρίδια	8 εβδομάδες
<b>2500 ppm</b>	Μεγάλες και στατιστικά σημαντικές μειώσεις στην απόδοση λήψης αποφάσεων	8 ώρες
<b>2000 ppm</b>	Επιδράσεις στα νεφρά σε ζώα (πιθανή ασβεστοποίηση) – ελλιπής μελέτη	Χρόνιες μελέτες
<b>1400–3000 ppm</b>	Σημαντική έκπτωση της γνωστικής λειτουργίας συμπεριλαμβανομένης της κόπωσης, του πονοκεφάλου και της οπτικής διαταραχής	2,5 – 8 ώρες
<b>1000 ppm</b>	Επιβλαβείς αλλαγές στην αναπνοή, την κυκλοφορία και τον εγκεφαλικό φλοιό	Υποτίθεται ότι είναι 8 ώρες
<b>1000 ppm</b>	Οξειδωτικό στρες και βλάβες στο DNA σε βακτήρια (επιπτώσεις για καρκινικές ασθένειες στον άνθρωπο)	3 ώρες
<b>1000 ppm</b>	Επίπεδο που σχετίζεται με παθήσεις του αναπνευστικού, πονοκέφαλο, κόπωση, δυσκολία συγκέντρωσης στις τάξεις	Σχολείο ή εργάσιμη ημέρα
<b>1000 ppm</b>	Μέτριες και στατιστικά σημαντικές μειώσεις στην απόδοση λήψης αποφάσεων	8 ώρες
<b>950–1000 ppm</b>	Χαμηλή έως μέτρια έκπτωση της γνωστικής λειτουργίας	2,5 – 8 ώρες
<b>800 ppm</b>	Επίπεδο που σχετίζεται με πονοκεφάλους, ζάλη, κόπωση, αναπνευστική οδό, οφθαλμικά, ρινικά και βλεννογόνου μεμβράνης Σύνδρομο Ασθενούς Κτιρίου	8 ώρες
<b>400 ppm</b>	Τρέχουσα μέση συγκέντρωση εξωτερικού αέρα – δεν υπάρχει γνωστή επίδραση	Διάρκεια Ζωής

### 1.3 Λόγοι παρακολούθησης του CO<sub>2</sub> στα σχολεία

Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στις σχολικές αίθουσες μπορεί να παρακολουθείται μόνο με την ύπαρξη αισθητήρων (μετρητών) του μέσα στις σχολικές αίθουσες (Griffiths & Eftekhari 2008 p. 560). Υπάρχουν αρκετοί ουσιαστικοί λόγοι για να γίνεται χρήση αισθητήρων CO<sub>2</sub> στις σχολικές αίθουσες διδασκαλίας και μια προσπάθεια παρουσίασης τους ακολουθεί παρακάτω.

#### 1.3.1 Θέματα υγείας

Η παρακολούθηση του CO<sub>2</sub> μπορεί να διασφαλίσει ότι διατηρούνται, ανά πάσα στιγμή, αποδεκτά τα επίπεδα αερισμού που εξασφαλίζουν την υγεία και την ευημερία των μαθητών/τριών και των εκπαιδευτικών (Al-Rashidi et al. 2012).

Τα επίπεδα CO<sub>2</sub> που καταγράφονται από τους αισθητήρες μπορούν να παράσχουν μια άμεση ένδειξη του ρυθμού εξαερισμού (l/min αέρα ανά άτομο) στις σχολικές αίθουσες διδασκαλίας και να παρακολουθούν εάν διατηρούνται τα ποσοστά αερισμού, που απαιτούνται από τις συστάσεις διεθνών οργανισμών. Οι ενδείξεις των αισθητήρων μπορούν αμέσως να δείξουν υπάρχοντα προβλήματα και τα συγκεντρωτικά στοιχεία των καταγραφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τεκμηρίωση αν οι επιδόσεις του συστήματος εξαερισμού είναι αποδεκτές. Επιπρόσθετα, οι αισθητήρες CO<sub>2</sub> είναι πολύ πιο οικονομικοί από την ενεργή παρακολούθηση της εισροής αέρα από τον εξωτερικό χώρο.

Ο ανεπαρκής αερισμός μπορεί να αυξήσει την εξάπλωση ιών, που οδηγούν σε

αυξημένα ποσοστά απουσιών, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να επηρεάσουν άμεσα τη λειτουργία των σχολείων και την πρόοδο των μαθητών/τριών. Η βελτίωση των εξαερισμών στην τάξη θα πρέπει να θεωρηθεί ένα πρακτικό μέσο για τη μείωση της απουσίας των μαθητών. Αν και στις μελέτες βρίσκεται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων CO<sub>2</sub> και των απουσιών των μαθητών και μαθητριών στα σχολεία, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό μπορεί να είναι ένας δείκτης και όχι αιτία, καθώς τα χαμηλά ποσοστά αερισμού θα αυξήσουν τις μεταδοτικές αναπνευστικές ασθένειες μεταξύ των μαθητών (Griffiths & Eftekhari 2008 p. 557).

Επιπρόσθετα, η συχνότητα εμφάνισης αλλεργικών και ασθματικών ασθενειών έχει διπλασιαστεί στις ανεπτυγμένες χώρες τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Αυτές οι ασθένειες αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα τρέχοντα προβλήματα για τη δημόσια υγεία, που συνεπάγονται τεράστιο κόστος στην ιατρική, τη θεραπεία αλλά και τις απουσίες. Η υπόθεση που κυριαρχεί για την εξήγηση του φαινομένου είναι ότι η επιδείνωση του της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (IAQ) στις κατοικίες/χώρους εργασίας στις ανεπτυγμένες χώρες είναι ο κύριος λόγος για την αύξηση αυτών των ασθενειών. Η επιδείνωση έχει αποδοθεί στις εκστρατείες εξοικονόμησης ενέργειας και στις υψηλές τιμές ενέργειας, που έχουν παρακινήσει τους ανθρώπους να μονώσουν τα κτίρια και να μειώσουν το ρυθμό εξαερισμού, έτσι ώστε η αλλαγή του αέρα σε πολλούς χώρους να είναι σε ιστορικά χαμηλό επίπεδο. Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στην κακή IAQ είναι τα πολλά νέα υλικά, ιδιαίτερα τα πολυμερή, και οι πολυάριθμες ηλεκτρονικές συσκευές που έχουν εισαχθεί σε εσωτερικούς χώρους τις τελευταίες δεκαετίες (Fanger 2006 p. 329).

### **1.3.2 Προβλήματα υγρασίας**

Ο έλεγχος του CO<sub>2</sub> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει σημαντικά τη συγκέντρωση υγρασίας στα σχολεία, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους που το σχολείο είναι κλειστό.

Οι σχολικές διακοπές (ακόμα και οι καλοκαιρινές μερικές φορές) μπορεί να τελειώσουν με την εμφάνιση σημαντικών προβλημάτων μούχλας σε ορισμένα σχολεία. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες: ύπαρξη υψηλότερης υγρασίας στον εξωτερικό αέρα κατά τη διάρκεια των διακοπών, έλλειψη εξαερισμού επειδή το σχολείο είναι κλειστό και, επιπλέον, εσωτερική υγρασία λόγω ειδικών δραστηριοτήτων, όπως π.χ. καθαρισμός χώρων ή χαλιών. Αυτές οι συνθήκες δεν χρειάζεται να υπάρχουν σε όλη τη διάρκεια των διακοπών, πριν την εμφάνιση ανάγκης για δαπανηρή αποκατάσταση σημείων με μούχλα και τον καθαρισμό της. Επομένως, ο έλεγχος της υγρασίας κατά τη διάρκεια των διακοπών, ακόμη και αν το κτίριο δεν είναι κατειλημμένο, είναι απαραίτητος. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη διατήρηση των διόδων εξαερισμού κλειστών, όσο το CO<sub>2</sub> παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, και σε περίπτωση

παρατήρησης αυξημένων επιπέδων CO<sub>2</sub>, τότε μόνο να ανοίγουν οι δίοδοι εξαερισμού (συνήθως παράθυρα). Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος ελέγχου του εξαερισμού σε αυτές τις συνθήκες μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι τα πιθανά προβλήματα μούχλας μειώνονται σημαντικά, ότι μειώνονται τα ενεργειακά κόστη και ότι προστατεύονται όλοι με τη χρήση της τρέχουσας τεχνολογίας παρακολούθησης του CO<sub>2</sub> (αισθητήρες) που είναι φθηνή, εύκολη στην εγκατάσταση και αυτορυθμιζόμενη.

### **1.3.3 Εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση αερίων θερμοκηπίου**

Οι αισθητήρες CO<sub>2</sub> έχουν αποδειχθεί πολύ σημαντικοί για τη διασφάλιση της συνολικής βέλτιστης απόδοσης ενός κτιρίου ανά πάσα στιγμή και μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του ενεργειακού κόστους και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο περιλαμβάνονται αισθητήρες CO<sub>2</sub>, ως μέρος του συστήματος βαθμολόγησης των πράσινων κτιρίων LEED. Οι αισθητήρες του CO<sub>2</sub> μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με τους τρόπους που εξηγούνται στους παρακάτω λόγους χρήσης τους.

### **1.3.4 Επίδοση μαθητών**

Ο κακός αερισμός μπορεί να συμβάλει στην αύξηση των απουσιών και την κακή απόδοση των μαθητών/τριών αλλά και του εκπαιδευτικού προσωπικού. Τα υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> που συσσωρεύονται λόγω κακού εξαερισμού έχουν αποδειχθεί ότι προκαλούν αρνητική επίδραση στη μαθησιακή ικανότητα των μαθητών. Υπάρχουν πολυάριθμες επιστημονικές μελέτες που τεκμηριώνουν ότι η έλλειψη κατάλληλου αερισμού μπορεί να βλάψει την απόδοση των μαθητών και μαθητριών. Μελέτες των Smedje et al. δείχνουν ότι τα χαμηλά ποσοστά αερισμού σχετίζονται με μειωμένη απόδοση, ο Myhrvold et al. συνέδεσε επίσης το χαμηλό ρυθμό εξαερισμού με μειωμένες εργασίες αντίδρασης και απόδοσης, ενώ οι Coley και Greeves έδειξαν ότι οι διαδικασίες προσοχής των παιδιών σχολικής ηλικίας είναι σημαντικά πιο αργές κατά περίπου 5%, όταν το επίπεδο του CO<sub>2</sub> στις τάξεις είναι υψηλό, ένα αποτέλεσμα παρόμοιου μεγέθους με αυτό που παρατηρήθηκε όταν οι μαθητές παραλείπουν το πρωινό, ο Shendell et al. εξέτασε τη συσχέτιση της απουσίας μαθητών με τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> και ανέφερε ότι μια αύξηση 1000 ppm στη διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> σχετίζεται με αύξηση 10-20% στις απουσίες των μαθητών (Griffiths & Eftekhari 2008 pp. 556–7).

Η προστιθέμενη αξία των αισθητήρων CO<sub>2</sub> έγκειται στο ότι μέσω των μετρήσεών τους είναι δυνατόν να παρακολουθούνται και να ελέγχονται συνεχώς τα επίπεδα αερισμού ώστε να εξασφαλιστεί η υγεία και η παραγωγικότητα των μαθητών/τριών και των εκπαιδευτικών.

#### **1.4 Εσωτερική περιβαλλοντική ποιότητα (Indoor Environmental Quality/IEQ)**

Η ιδέα της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) συνδέεται στενά με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (IAQ) (ASHRAE 2016).

Αναγνωρίζεται γενικά ότι η κακή ποιότητα περιβάλλοντος σε εσωτερικούς χώρους (IEQ) στα σχολεία μπορεί να οδηγήσει σε ασθένεια που οδηγεί σε απουσίες μαθητών, καθώς και σε συμπτώματα κακής υγείας και μειωμένη ακαδημαϊκή επίδοση. Διάφοροι βιολογικοί και χημικοί ρύποι και οι αλληλεπιδράσεις τους ενδέχεται να συμβάλουν στην IEQ. Επιπλέον, φυσικοί παράγοντες μπορεί να τροποποιήσουν την ανταπόκριση του σώματος στους ρύπους του εσωτερικού χώρου, αλληλοεπιδρώντας με αυτόν ή να έχουν άμεση επίδραση στους χρήστες ενός χώρου (Haverinen-Shaughnessy et al. 2015 p. 35).

#### **1.5 Ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Indoor Air Quality/IAQ)**

Κατά μέσο όρο, εισπνέουμε και εκπνέουμε αέρα 12 φορές το λεπτό. Το σώμα μας εισπνέει αέρα για να στείλει οξυγόνο μέσω των κυψελιδικών τοιχωμάτων στους πνεύμονές μας και στην κυκλοφορία του αίματός μας. Δυστυχώς, το μισό λίτρο αέρα που εισπνέει κάθε αναπνοή περιέχει πολύ περισσότερες ουσίες από οξυγόνο: μολυσματικούς παράγοντες που μπορούν να περάσουν από τη μύτη, το στόμα, το φάρυγγα και την τραχεία και να εξαπλωθούν σε όλη την κυκλοφορία του αίματος με αποτελέσματα που μπορεί να κυμαίνονται από ερεθισμό των ματιών, της μύτης και του λαιμού έως σοβαρές, απειλητικές για τη ζωή βλάβες. Τα αποτελέσματα μπορούν ακόμη και να παραμείνουν κρυμμένα για χρόνια<sup>18</sup>. Ανεξάρτητα από το πώς ή πότε επηρεάζεται οποιοδήποτε εκτεθειμένο άτομο, ο έλεγχος των κοινών ρύπων σε εσωτερικούς χώρους είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του κινδύνου μιας ποικιλίας προβλημάτων υγείας (ASHRAE 2016).

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα έχει τραβήξει την προσοχή τόσο των επιστημόνων όσο και του γενικότερου κοινού τα τελευταία χρόνια (Al-Rashidi et al. 2012). Πολλές μελέτες έδειξαν ότι τα επίπεδα των ρύπων των εσωτερικών χώρων κινούνται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά που συναντώνται σε εξωτερικούς χώρους. Με δεδομένο ότι οι περισσότεροι άνθρωποι περνούν στην εποχή μας περισσότερο χρόνο σε εσωτερικούς χώρους (από όσο σε εξωτερικούς) αναδεικνύεται η σημασία που έχει η καλή ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Η εξωτερική ρύπανση, ο εξαερισμός, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, η επίπλωση καθώς και οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν την εσωτερική ποιότητα του αέρα.

---

<sup>18</sup> Πηγή: <https://blog.ansi.org/2019/11/ansi-ashrae-62-1-2019-ventilation-indoor-air/>

Αντίστοιχα, κύριες πηγές ρύπανσης του εξωτερικού αέρα είναι όλες οι δραστηριότητες καύσης, η μετακίνηση, η βιομηχανία και οι κατασκευές (Siskos et al. 2001 p. 185).

Στους χώρους ανθρώπινης κατοίκησης και απασχόλησης ο ορισμός της ποιότητας του εσωτερικού αέρα (IAQ) σχετίζεται συχνά με το βαθμό στον οποίο ικανοποιούνται οι ανθρώπινες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές είναι, συνήθως, ο αέρας να γίνεται αντιληπτός ως φρέσκος και ευχάριστος και να μην έχει αρνητική επίδραση στην υγεία των ανθρώπων. Άλλες επιπλέον απαιτήσεις μπορούν να είναι ο αέρας να μην δυσκολεύει την επαγγελματική ασχολία, δηλαδή να μην μειώνει την παραγωγικότητα ούτε τη μάθηση των παιδιών στο σχολείο. Τα σημερινά πρότυπα και οι κατευθυντήριες γραμμές εξαερισμού δεν ενδιαφέρονται για την παραγωγικότητα και τη μάθηση και έχουν την απαίτηση απλώς να είναι αποδεκτός ο εσωτερικός αέρας. Αυτό σημαίνει ότι η πιο ευαίσθητη ομάδα ατόμων (συνήθως γύρω στο 20%) αντιλαμβάνεται τον αέρα ως απαράδεκτο, ενώ και τα υπόλοιπα λιγότερο ευαίσθητα άτομα μπορεί να θεωρούν τον αέρα ελάχιστα αποδεκτό (Fanger 2006 p. 328).

Αυτό που είναι συνηθισμένο μέχρι τώρα είναι να εκφράζουμε τις ανθρώπινες απαιτήσεις αναφορικά με την ποιότητα του αέρα με χημικούς όρους, προσπαθώντας να εξασφαλίσουμε ότι η συγκέντρωση συγκεκριμένων χημικών στοιχείων στον αέρα δεν ξεπερνά τα όρια που προβλέπουν σχετικοί κανόνες και οδηγίες. Αλλά αυτοί οι κανόνες και οι οδηγίες αφορούν μόνο μερικές δεκάδες χημικών ουσιών και επικεντρώνονται στην παρουσία κάθε χημικού ξεχωριστά και όχι σε συνδυασμό. Όμως, οι πιο ευαίσθητοι άνθρωποι μπορεί να αντιλαμβάνονται την παρουσία ενός χημικού σε συγκεντρώσεις που είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που προβλέπουν οι κανόνες και οι οδηγίες και, επιπλέον, μπορεί να αντιλαμβάνονται το συνδυασμό εκατοντάδων χημικών σε ακόμα χαμηλότερες συγκεντρώσεις (Fanger 2006 p. 329).

Η εναλλακτική προσέγγιση είναι να χρησιμοποιηθούν οι αντιδράσεις των ανθρώπινων αισθήσεων (αισθητηριακές μετρήσεις) απευθείας για τον καθορισμό της ποιότητας του εσωτερικού αέρα (IAQ). Στην περίπτωση αυτή, υψηλή ποιότητα εσωτερικού αέρα θεωρείται αυτή που γίνεται αντιληπτή ως τέτοια από υψηλό ποσοστό ανθρώπων (Fanger 2006). Για να αποτυπωθούν τέτοιες μετρήσεις έχουν δημιουργηθεί και αντίστοιχες μονάδες μέτρησης, το olf και το decipro, που εισάγονται για να ποσοτικοποιήσουν τις πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την ατμοσφαιρική ρύπανση που αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Το olf εισάγεται για να ποσοτικοποιήσει τις πηγές ρύπανσης<sup>19</sup>. Ένα olf είναι το ποσοστό εκπομπών ρύπων του αέρα (βιοαπόρροια, δηλαδή βιολογικά απόβλητα στην

---

<sup>19</sup> Η μονάδα olf είναι ανάλογη με το lumen για πηγές φωτός και το watt για πηγές θερμότητας.

ατμόσφαιρα) από ένα τυπικό άτομο. Οποιαδήποτε άλλη πηγή ρύπανσης ποσοτικοποιείται από τον αριθμό των τυπικών ατόμων (olfs) που απαιτούνται για να προκαλέσουν την ίδια δυσαρέσκεια με την πραγματική πηγή ρύπανσης. Το decípol εισάγεται για να ποσοτικοποιήσει τη συγκέντρωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως γίνεται αντιληπτή από τους ανθρώπους<sup>20</sup>. Η αντιληπτή ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η συγκέντρωση ανθρώπινων βιοεκροών που θα προκαλούσε την ίδια δυσαρέσκεια με την πραγματική ατμοσφαιρική ρύπανση. Ένα decípol είναι η ρύπανση που προκαλείται από ένα τυπικό άτομο (ένα olf), που αερίζεται (χρησιμοποιεί αέρα) με 10 l/s μη μολυσμένου αέρα. Οι μονάδες αυτές παρέχουν μια ορθολογική βάση για τον προσδιορισμό των πηγών ρύπανσης, για τον υπολογισμό των απαιτήσεων εξαερισμού και για την πρόβλεψη και μέτρηση της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. (Fanger 1988). Συνεπώς, η αντιληπτή IAQ εκφράζεται σε decípol ή ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων, ενώ το φορτίο ρύπανσης με αισθητηριακές μετρήσεις εκφράζεται σε olf. Οι μονάδες αυτές επιτρέπουν τον υπολογισμό του εξαερισμού που απαιτείται για να επιτευχθεί μια ορισμένη επιθυμητή αντιληπτή ποιότητα αέρα. Οι αισθητηριακές μετρήσεις έχουν αποδειχθεί συχνά ανώτερες από τις χημικές μετρήσεις και έχουν αποτελέσει εδώ και δεκαετίες τη βάση για πρότυπα και οδηγίες εξαερισμού (ASHRAE 2016; European Commission & European Environment Agency 2013; WHO 2000; Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας & Κοινωνικών Ασφαλίσεων 2014). Αυτά τα πρότυπα και οδηγίες καθορίζουν συνήθως την αποδεκτή IAQ ως αέρας με τον οποίο <15%, 20% ή 30% των ανθρώπων είναι δυσαρεστημένοι και καθορίζουν τον αντίστοιχο απαιτούμενο αερισμό. Στην πράξη, αυτή η φιλοσοφία των προτύπων οδήγησε σε μέτριο αέρα με αρκετά μεγάλο αριθμό δυσαρεστημένων ατόμων. Αυτό τεκμηριώνεται από πολυάριθμες επιτόπιες μελέτες σε κτίρια σε όλο τον κόσμο που έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τα πρότυπα, όπου ο εσωτερικός αέρας σε αυτούς τους χώρους είναι συχνά αρκετά μέτριος (Fanger 2006 p. 329).

Μια πιο σύγχρονη προσέγγιση εκτιμά ότι υπάρχει τεράστια δυνατότητα βελτίωσης της IAQ στην πράξη χρησιμοποιώντας νέες αναδυόμενες τεχνολογίες. Αυτό θα επιτρέψει να παρασχεθεί IAQ που είναι αποδεκτή ακόμη και για τα πιο ευαίσθητα άτομα. Αυτές οι βελτιώσεις, σε σύγκριση με τα ελάχιστα πρότυπα και τις τυπικές συνθήκες που εφαρμόζονται στην πράξη, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον κίνδυνο άσθματος/αλλεργίας στα σπίτια, να βελτιώσουν τη μάθηση και την απόδοση στα σχολεία και να αυξήσουν την παραγωγικότητα στην εργασία (Fanger 2006 p. 328).

---

<sup>20</sup> Η μονάδα decípol είναι ανάλογη με το lux για το φως και το decibel για το θόρυβο.

### **1.5.1 Ποιότητα εσωτερικού αέρα και παραγωγικότητα**

Πολλοί μελετητές έχουν επιχειρηματολογήσει για διάφορα πιθανά οφέλη της υψηλής ποιότητας εσωτερικού αέρα για τους υπαλλήλους γραφείου (Bierwirth 2021), συμπεριλαμβανομένου του μειωμένου κόστους σε σχέση με τις απουσίες και την ιατρική περίθαλψη, αλλά το πιο σημαντικό όφελος είναι ο άμεσος αντίκτυπος στην παραγωγικότητα (Fanger 2006 p. 330; Fisk et al. 2019).

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα στα ελληνικά σχολεία είναι συχνά φτωχή. Τα περισσότερα δεν έχουν συστήματα εξαερισμού. Αλλά και εκεί που υπάρχει ο εξαερισμός έχει μειωθεί η χρήση του σε πολλές περιπτώσεις για εξοικονόμηση ενέργειας και η λειτουργία και η συντήρηση των συστημάτων είναι συχνά ανεπαρκείς. Υπάρχουν υποψίες ότι η κακή ποιότητα εσωτερικού αέρα στην τάξη μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στη μάθηση των παιδιών (Al-Rashidi et al. 2012). Σε έρευνα που μελέτησε παράλληλες τάξεις παιδιών και μετρήσε τον αντίκτυπο του αυξημένου αερισμού στις επιδόσεις των παιδιών στο σχολικό έργο, βρέθηκε ότι με την αύξηση του ρυθμού εξαερισμού από 5 σε 10 l/s, η απόδοση της σχολικής εργασίας βελτιώθηκε σημαντικά περισσότερο από 15%. Δηλαδή, η βελτίωση στο διπλάσιο της ποιότητας εσωτερικού αέρα προκάλεσε μια αξιοσημείωτη βελτίωση της σχολικής επίδοσης και μάθησης των παιδιών (Fanger 2006 p. 331).

### **1.5.2 Προτεινόμενοι τρόποι βελτίωσης εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα**

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί αρκετοί τρόποι για τη βελτίωση του εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα. Η μείωση των πηγών μόλυνσης μέσα στο κτίριο (ξεκινώντας από το είδος των υλικών κατασκευής ενός κτιρίου, συνεχίζοντας με τη συχνότητα καθαρισμού των φίλτρων των κλιματιστικών, και φτάνοντας μέχρι και την ύπαρξη στο κτίριο παλιάς τεχνολογίας οθονών υπολογιστή, δηλαδή CRT), ο καθαρισμός με φίλτρα του εσωτερικού αέρα από επικίνδυνα χημικά, προσωπικά συστήματα εξαερισμού, παροχή δροσερού και ξηρού αέρα ή ποικίλοι συνδυασμοί των παραπάνω είναι μερικές από τις προτάσεις (Fanger 2006).

### **1.5.3 Ποιότητα εσωτερικού αέρα και σχολείο**

Η εκπαίδευση των μελλοντικών γενεών είναι ένα σημαντικό θέμα για την κοινωνία και απαιτούνται σχολικά κτίρια υψηλής ποιότητας για να επιτευχθεί αυτό (Griffiths & Eftekhari 2008 p. 556). Για τα παιδιά σχολικής ηλικίας, εκτός από το σπίτι, το σχολείο είναι το πιο σημαντικό εσωτερικό περιβάλλον και υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία από γονείς, εκπαιδευτικούς και επαγγελματίες υγείας για το γενικότερο σχολικό περιβάλλον και τον



αντίκτυπό του στην υγεία (Bierwirth 2021) γιατί τα παιδιά αναπτύσσονται ακόμα βιολογικά (Al-Rashidi et al. 2012 p. 542). Έχουν δημοσιευθεί αρκετές μελέτες που δείχνουν ότι τόσο η ανθρώπινη υγεία όσο και η παραγωγικότητα μπορεί να επηρεαστούν από την κακή ποιότητα του αέρα, καθώς οι ενδείξεις ότι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα (IAQ) επηρεάζει άμεσα την υγεία και τις ακαδημαϊκές επιδόσεις των μαθητών συνεχίζουν να αυξάνονται (EPA 2012). Έως την αποφοίτηση ενός μαθητή ή μιας μαθήτριας από το Λύκειο, έχουν περάσει περίπου 14.000 ώρες αναπνέοντας τον εσωτερικό αέρα των σχολικών κτιρίων. Τα παιδιά αναπνέουν μεγαλύτερο όγκο αέρα σε σχέση με το βάρος του σώματός τους σε σύγκριση με τους ενήλικες. Επιπλέον, τα παιδιά είναι γενικά πιο ευαίσθητα στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Siskos et al. 2001 p. 186), αφού είναι εγγενώς πιο ευάλωτα σε περιβαλλοντικούς κινδύνους, επειδή το σώμα τους εξακολουθεί ακόμα να αναπτύσσεται (EPA 2012).

Συνεπώς, οι -κατώτερες των προβλεπόμενων- περιβαλλοντικές συνθήκες στα σχολεία, όπως ο ανεπαρκής καθαρισμός ή ο ανεπαρκής εξαερισμός, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας στα παιδιά (Haverinen-Shaughnessy et al. 2015 p. 35). Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα (IAQ) αναφέρεται σε αυτά τα χαρακτηριστικά του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, όπως επίπεδα ρύπων, υγρασία, θερμοκρασία κ.λπ., που επηρεάζουν την υγεία, την άνεση και την ικανότητα τους να είναι παραγωγικοί. Άρα η λήψη μέτρων για τη βελτίωση της IAQ των σχολείων είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της υγείας και της ακαδημαϊκής επίδοσης των μαθητών (EPA 2012) γιατί η συστηματική μη εξασφάλιση παροχής καλής ποιότητας αέρα στα σχολεία μπορεί να έχει συνέπειες όπως: αύξηση των πιθανών μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων προβλημάτων υγείας για μαθητές και προσωπικό, επιπτώσεις στο μαθησιακό περιβάλλον των μαθητών, την άνεση και τη φοίτηση, μείωση της παραγωγικότητας των εκπαιδευτικών και του προσωπικού λόγω δυσφορίας, ασθένειας ή απουσίας, δημιουργία έντασης στις σχέσεις μεταξύ της διοίκησης του σχολείου, των γονέων και της αποτελεσματικότητας του προσωπικού (Siskos et al. 2001 pp. 185–6).

Η πιο συνηθισμένη αντιμετώπιση στο σύγχρονο σχεδιασμό ενός σχολείου είναι η χρήση φυσικού αερισμού, όπου είναι δυνατόν. Τα μοντέλα κλιματικής αλλαγής, όμως, προβλέπουν αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, η οποία θα απαιτήσει πιο καινοτόμους σχεδιασμούς για την αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι, επιτρέποντας ταυτόχρονα θερμικά άνετο αερισμό το χειμώνα (Griffiths & Eftekhari 2008 p. 556), ειδικά σε χώρες όπως η Ελλάδα όπου η θερμοκρασία είναι σε συνεχή άνοδο τα τελευταία χρόνια.

Δυστυχώς, στα περισσότερα σχολεία, ο ρυθμός εξαερισμού είναι χαμηλότερος από τα συνιστώμενα επίπεδα εξαερισμού που προτείνονται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Η έλλειψη

συντήρησης σε συνδυασμό με τις ανεπαρκείς πρακτικές καθαρισμού μπορεί να αλλάξει το οικοσύστημα του σχολικού κτιρίου και να ενθαρρύνει την ανάπτυξη και εξάπλωση μικροοργανισμών που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την υγεία των μαθητών (Haverinen-Shaughnessy et al. 2015 pp. 35–6). Συσσωρευμένες επιστημονικές μελέτες υποδεικνύουν ότι η βελτίωση των ρυθμών αερισμού εξωτερικού αέρα μπορεί να βελτιώσει την απόδοση των μαθητών και των εκπαιδευτικών (Fisk et al. 2019), να αυξήσει τις βαθμολογίες των εξετάσεων των μαθητών και να μειώσει τη μετάδοση μολύνσεων μέσω του αέρα (EPA 2012). Οι διεθνείς μελέτες στις τάξεις έχουν δείξει αυξημένα επίπεδα CO<sub>2</sub> που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να ενοχοποιούν το σχεδιασμό του κτιρίου, ωστόσο, συχνά οι διατάξεις εξαερισμού δεν χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά. Οι Lugg και ο Batty διερεύνησαν τα ποσοστά εξαερισμού σε δύο σχολικές αίθουσες και παρατήρησαν ενδείξεις που κορυφώνονταν στα 3500 ppm, οι Coley και Beisteiner μέτρησαν τα επίπεδα CO<sub>2</sub> σε επτά τάξεις τεσσάρων σχολείων με μέσο CO<sub>2</sub> στα 1957 ppm και μέγιστη άνω των 4000 ppm, ενώ μελέτη των Wargocki και Wyon έδειξε ότι η ποιότητα του αέρα και οι θερμοκρασίες στις αίθουσες διδασκαλίας είναι σημαντικοί παράγοντες στη μαθησιακή διαδικασία και στη βελτίωσή τους θα πρέπει να δοθεί ίση προτεραιότητα με τη βελτίωση του υλικού και των μεθόδων διδασκαλίας (Griffiths & Eftekhari 2008 p. 557).

Το λογικό συνεπακόλουθο είναι ότι ένα οργανωμένο πρόγραμμα εξοπλισμού σε επίπεδο εξαερισμού στα σχολεία, καθώς και συντήρησής του, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα (IAQ) και άρα της ακαδημαϊκής επίδοσης. Με περιορισμένους προϋπολογισμούς λειτουργίας, όμως, τα σχολικά συμβούλια και οι κεντρικές διοικητικές υπηρεσίες συχνά θεωρούν τον προϋπολογισμό συντήρησης ως δαπάνη που μπορούν να μειώσουν χωρίς να επηρεάσουν τις βασικές ανάγκες του ακαδημαϊκού προγράμματος. Ωστόσο, η βιβλιογραφία υποδεικνύει το αντίθετο, με αρκετές μελέτες να διαπιστώνουν ότι η υγεία, η παρακολούθηση σε επίπεδο παρουσιών και οι ακαδημαϊκές επιδόσεις βελτιώνονται με τον αυξημένο εξαερισμό και τη συντήρηση τέτοιου εξοπλισμού. Επιπλέον, στα σχολεία που έχουν καλύτερες φυσικές συνθήκες οι μαθητές και μαθήτριά τους παρουσιάζουν βελτιωμένη ακαδημαϊκή επίδοση, ενώ στα σχολεία με λιγότερο προσωπικό επιστασίας και υψηλότερες εκκρεμότητες συντήρησης οι μαθητές και μαθήτριάς έχουν φτωχότερη ακαδημαϊκή επίδοση (EPA 2012).

Ως, εναλλακτικές του φυσικού αερισμού, ή ως επιπλέον στρατηγικές για τη μείωση του συσσωρευμένου CO<sub>2</sub> στα σχολεία έχουν προταθεί: η αύξηση των σχολικών διαλειμμάτων είτε σε χρόνο είτε σε αριθμό, υβριδικό σύστημα εξαερισμού (συνδυασμός φυσικού και τεχνητού αερισμού και εξαερισμού), τροποποιήσεις των συστημάτων κλιματισμού (Al-Rashidi

et al. 2012; Siskos et al. 2001).

#### **1.5.4 Ελληνικό σχολείο και κανονισμοί εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα**

Προς το παρόν δεν υπάρχουν ρυθμισμένα πρότυπα από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα ούτε του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠΑΙΘ) με εξειδίκευση στα σχολεία, αλλά έχουν εκδοθεί ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές για διάφορες εκπομπές ρύπων και ρυθμούς εξαερισμού από διάφορες άλλες κυβερνήσεις και οργανισμούς (Siskos et al. 2001).

Είναι εντυπωσιακό το γεγονός και, δυστυχώς, ιδιαίτερα λυπηρό, αν ληφθεί υπόψη η τρέχουσα παγκόσμια συγκυρία της ανησυχίας για τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα, ότι η εποπτεύουσα αρχή των ελληνικών σχολείων όλων των εκπαιδευτικών βαθμίδων, το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, δεν έχει ορίσει συγκεκριμένες προδιαγραφές, με τη μορφή νομικών δεσμεύσεων, που θα πρέπει να ισχύουν στα εκπαιδευτικά ιδρύματα, αναφορικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Μάλιστα, αυτή η επισήμανση γίνεται για έναν οργανισμό που, συχνά, έχει κατηγορηθεί ότι προβλέπει και νομοθετεί υπέρμετρες και ασφυκτικές ρυθμίσεις για την καθημερινή λειτουργία των σχολείων.

Οι μόνες ρυθμίσεις για ατμοσφαιρικές συνθήκες, που το ΥΠΑΙΘ ουσιαστικά «μεταβιβάζει» στα σχολεία και μόνο συγκυριακά, είναι αυτές του Υπουργείου Υγείας, που αφορούν οδηγίες προστασίας από υψηλές θερμοκρασίες και καύσωνα και συστάσεις για την προστασία της δημόσιας υγείας από υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων ή οδηγίες του Υπουργείου Υγείας για την αντιμετώπιση του Covid-19 μέσω του αυξημένου αερισμού των αιθουσών.

Αυτές, όμως, οι «δανεικές» συστάσεις για έκτακτες καταστάσεις απέχουν πολύ από την ύπαρξη μιας πάγιας, συγκεκριμένης και οργανωμένης εσωτερικής πολιτικής του Υπουργείου αναφορικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και τη θερμική άνεση που πρέπει να επικρατούν στις σχολικές αίθουσες.

#### **1.5.5 Διεθνείς κανονισμοί εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα**

Δεδομένης της προαναφερθείσας έλλειψης της ελληνικής νομοθεσίας αναγκαστικά καταφεύγουμε στις διεθνείς συστάσεις και προδιαγραφές για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και πιο συγκεκριμένα για το επίπεδο συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>, που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), την Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE), και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) ως πρότυπα αναφοράς και σύγκρισης με την κατάσταση που επικρατεί στα ελληνικά

σχολεία (ASHRAE 2016; European Commission & European Environment Agency 2013; WHO 2000; Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας & Κοινωνικών Ασφαλίσεων 2014).

Παραδείγματα συνιστάμενων ορίων CO<sub>2</sub> έχουμε από το αμερικάνικο ASHRAE, που δίνει όριο τα 1000 ppm, από το βρετανικό Building Bulletin 101, που αναφέρει ότι η μέση συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες διδασκαλίας κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1500 ppm, ενώ τα βρετανικά πρότυπα BS6896, BS6230 και BS5990, τα οποία καλύπτουν διάφορες θερμαντικές συσκευές αερίου, δηλώνουν ότι οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 2800 ppm σε μέρη όπου εργάζονται άνθρωποι. Το Building Bulletin 101 αναφέρει περαιτέρω ότι ο εξαερισμός θα πρέπει να παρέχει έναν ελάχιστο ημερήσιο μέσο όρο 5 l/s/άτομο, με την ικανότητα επίτευξης τουλάχιστον 8 l/s σε οποιαδήποτε ώρα που ο χώρος χρησιμοποιείται (ο τελευταίος ρυθμός διατηρεί γενικά τις συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> κάτω από 1000 ppm) Στο πρότυπο εξαερισμού ASHRAE Standard 62 συνιστάται ελάχιστος ρυθμός αερισμού 7,5 l/s ανά μαθητή/τρια στις τάξεις, με τυπική πυκνότητα 33 ατόμων ανά 90 m<sup>2</sup> και ύψος οροφής 3 m γιατί η διαφορά μεταξύ «επαρκούς» και «ανεπαρκούς» αερισμού στις σχολικές τάξεις, καθορίζεται από το ρυθμό αερισμού που θεωρείται ανεπαρκής εάν η εσωτερική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> υπερβαίνει τα 1000 ppm (Al-Rashidi et al. 2012 p. 541).

<b>Πίνακας 2:</b> Προτεινόμενα όρια για ασφαλή επίπεδα CO <sub>2</sub> σε εσωτερικούς χώρους από διάφορες διεθνείς Υπηρεσίες - Πηγή: (Yingying 2019)		
<b>Υπηρεσία</b>	<b>Προτεινόμενο Όριο Επίπεδου CO<sub>2</sub></b>	<b>Έγγραφο αναφοράς</b>
<b>ASHRAE (2001)</b>	700 ppm	ASHRAE/ANSI, Standard 62-2001, Ventilation for acceptable indoor air quality, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers., Inc., Atlanta, GA, 2001
<b>Audit commission, HK (2011)</b>	800 ppm (Excellent IAQ)	Government initiatives to improve indoor air quality, Environment Bureau- Environmental Protection Department (Audit commission Hong Kong, 2011)
<b>EFA, UK (2018)</b>	1000 ppm	Building Bulletin 101 Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools, Version 1 2018 (EFA, 2018)
<b>Audit commission, HK (2011)</b>	1000 ppm (Good IAQ)	Government initiatives to improve indoor air quality, Environment Bureau- Environmental Protection Department (Audit commission Hong Kong, 2011)
<b>Taiwan EPA</b>	1000 ppm	Taiwan Environmental Protection Administration
<b>ACGIH<sup>21</sup></b>	5000 ppm	Threshold limit values (TLVs) and biological exposure indices (BEIs) based on the documentation of the threshold limit values for chemical substance and physical agents (2019)
<b>OSHA<sup>22</sup></b>	5000 ppm	Permissible exposure limits for chemical contaminants, reviewed in 2018
<b>NASA</b>	5000 ppm	Chronic Exposure to Moderately Elevated CO <sub>2</sub> During Long-Duration Space Flight, National Aeronautics and Space

<sup>21</sup> American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

<sup>22</sup> Occupational Safety and Health Administration, United States Department of Labor.



## Μέρος Δεύτερο: Έρευνα

### 2.1 Γενικό πλαίσιο έρευνας

Η Ελλάδα είναι μια μεσογειακή χώρα που βρίσκεται μεταξύ των  $\approx 42^\circ$  και  $\approx 34^\circ$  παραλλήλων βόρειου πλάτους και των  $\approx 19^\circ$  και  $\approx 29^\circ$  μεσημβρινών ανατολικού μήκους<sup>23</sup>.

Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία<sup>24</sup>:

*Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και, γενικά, μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. [...]*

*Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.*

*Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος [...]. Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. [...]*

*Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. [...] Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου [...].*

Έχοντας υπόψη αυτήν την κλιματολογική περιγραφή, καταλαβαίνουμε γιατί οι περισσότεροι κάτοικοι στη χώρα είχαν δώσει, μέχρι τώρα, βάση κυρίως στη θέρμανση και τη μόνωση των κτιρίων, παρά στον κλιματισμό. Μια τάση που έχει πια αντιστραφεί, δεδομένης της υπερθέρμανσης του πλανήτη λόγω της κλιματικής κρίσης. Στο ίδιο πλαίσιο αντίληψης και η ελληνική πολιτεία δεν έχει εξοπλίσει, στη συντριπτική τους πλειονότητα, τα ελληνικά εκπαιδευτικά ιδρύματα με κλιματιστικά συστήματα. Ειδικότερα, στα δημοτικά σχολεία, που μας αφορούν για την έρευνά μας, οι μόνες λύσεις για τον αερισμό των κτιρίων, σχεδόν αποκλειστικά, είναι οι ανεμιστήρες. Αν και αυτό μπορεί να ακούγεται αναχρονιστικό, υπάρχουν αναφορές που επισημαίνουν ότι, από την άποψη της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>, οι σχολικές αίθουσες με φυσικό αερισμό υπερτερούν έναντι αυτών που έχουν κλιματισμό (Al-Rashidi et al. 2012 p. 540).

Στην Ελλάδα υπάρχουν 4486 σχολικές μονάδες στην Πρωτοβάθμια εκπαίδευση (δημοτικά) με 68980 άτομα διδακτικό προσωπικό και 639037 μαθητές και μαθήτριες

<sup>23</sup> Πηγή: Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (<http://www.gys.gr>).

<sup>24</sup> <http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology>

(ΕΛΣΤΑΤ 2019 p. 132)<sup>25</sup>. Τα περισσότερα κτίρια των δημοτικών σχολείων είναι παλιά (παλιότερα των 30-40 χρόνων) και ο αρχικός τους σχεδιασμός δεν προέβλεπε ενεργητικά ή παθητικά συστήματα κλιματισμού. Εκ των υστέρων, το πρόβλημα της υπερβολικής θερμοκρασίας στους χώρους διδασκαλίας αντιμετωπίστηκε κυρίως με ανεμιστήρες οροφής ή επιτοίχιους.

Ένα τυπικό ελληνικό (δημόσιο) Δημοτικό σχολείο αποτελείται από περίπου 15-20 αίθουσες (συνήθως 12 διδασκαλίας και οι υπόλοιπες γραφεία εκπαιδευτικών και βοηθητικοί χώροι). Κάθε αίθουσα διδασκαλίας έχει επιφάνεια περίπου 50 m<sup>2</sup>, ύψος που κυμαίνεται γύρω στα 3 m, και φιλοξενεί περίπου 20-25 μαθητές και μαθήτριες.

Η σχολική χρονιά (ακαδημαϊκό έτος) στην Ελλάδα διαρκεί 9 μήνες και εκτείνεται από τις αρχές Σεπτεμβρίου έως τα μέσα Ιουνίου, με 2 ενδιάμεσες διακοπές (Χριστουγέννων και Πάσχα) που αθροιστικά καλύπτουν ένα μήνα. Πράγμα που σημαίνει ότι μαθήματα γίνονται και στη θερμή/άνομβρη εποχή και στην ψυχρή/βροχερή περίοδο του έτους και, άρα, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα αντιμετώπισης των θεμάτων που σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στις αίθουσες.

Το ζήτημα των συνθηκών που επικρατούν στον εσωτερικό αέρα και της ποιότητάς του στις αίθουσες διδασκαλίας πρέπει να εξεταστεί, διότι τα παιδιά εξακολουθούν ακόμα να αναπτύσσονται σωματικά. Οι κακές συνθήκες και η κακή ποιότητα του εσωτερικού αέρα (αν διαπιστωθεί ότι υπάρχουν) θα μπορούσαν, ενδεχομένως, να επηρεάσουν την υγεία των παιδιών μακροχρόνια αλλά και τη μάθηση και την απόδοσή τους βραχυχρόνια. Αυτό μπορεί να έχει επιζήμιες συνέπειες για τα ίδια τα παιδιά αλλά και το μέλλον της κοινωνίας (Al-Rashidi et al. 2012 p. 542).

Μια τέτοια παράμετρο για την ποιότητα του εσωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα, και συγκεκριμένα το CO<sub>2</sub>, προσπαθεί να διερευνήσει η παρούσα έρευνα, φιλοδοξώντας να συμβάλει στην κατανόηση των θεμάτων που σχετίζονται με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα στα σχολεία και στις πρωτοβουλίες που πρέπει να αναληφθούν για τη βελτίωσή του.

## 2.2 Σκεπτικό έρευνας

Η αρχική ιδέα για την έρευνά μας περιλάμβανε 5 δημοτικά σχολεία και αρκετές τάξεις από τις οποίες θα γινόταν συγκέντρωση ερευνητικών δεδομένων. Όλα τα σχολεία θα βρίσκονταν σε αστικές περιοχές, μια και αυτές επηρεάζονται περισσότερο από τη συσσώρευση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, λόγω της συγκέντρωσης πολλών δραστηριοτήτων στις πόλεις που παράγουν CO<sub>2</sub>

---

<sup>25</sup> Στοιχεία 2017/2018, <http://www.statistics.gr/greece-in-figures>: Η Ελλάς με Αριθμούς (Απρίλιος-Ιούνιος 2020).

σε περιορισμένο χώρο. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ τους θα αφορούσαν την απόστασή τους από το κέντρο της αστικής περιοχής, την εγγύτητά τους σε βιομηχανικές παραγωγικές μονάδες, την πυκνότητα και το ύψος των κτιρίων γύρω τους, το υψόμετρο του οικοπέδου κατασκευής τους, την απόστασή τους από μετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτές οι διαφοροποιήσεις μεταξύ τους θα επέτρεπαν να διερευνηθούν **και** μια σειρά από παράγοντες σχετικά με το πώς επηρεάζει η χωροθέτηση του σχολείου το επίπεδο CO<sub>2</sub> που καταγράφεται μέσα στις αίθουσες του σχολείου.

Δυστυχώς, ο αρχικός μας σχεδιασμός αποδείχθηκε εξαιρετικά φιλόδοξος για να είναι πραγματοποιήσιμος. Δεν είναι μόνο το πλαίσιο μιας εργασίας μεταπτυχιακού επιπέδου που έπαιξε το ρόλο της στην αναπροσαρμογή του αρχικού σκεπτικού και σχεδιασμού. Ο βασικός ανασταλτικός παράγοντας, που οδήγησε στον περιορισμό της έρευνας, ήταν η δυσκολία απόκτησης του σχετικού εξοπλισμού καταγραφής CO<sub>2</sub> στα σχολεία. Δεδομένου ότι θα απαιτούνταν ένας καταγραφέας ανά αίθουσα (και μάλιστα με ικανότητα αυτόματης καταγραφής δεδομένων), άρα αρκετοί ανά σχολείο, αυτό σημαίνει ότι ο συνολικός τους αριθμός θα εκτόξευε το κόστος απόκτησής τους. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι καταγραφείς CO<sub>2</sub> είναι, στην ουσία, βιομηχανικός εξοπλισμός, το κόστος τους είναι ανάλογο των οικονομικών δυνατοτήτων μιας επιχείρησης του δευτερογενούς τομέα της οικονομίας και, συνεπώς, απλησίαστοι για τις οικονομικές μας δυνατότητες.

Ευτυχώς, σταθήκαμε απίστευτα τυχεροί γιατί καταφέραμε να εντοπίσουμε και να αποκτήσουμε έναν τέτοιο καταγραφέα από μεταπώληση (μεταχειρισμένο). Μια και δεν στάθηκε εφικτό να εντοπίσουμε έγκαιρα άλλον στη δευτερογενή αγορά, ο αρχικός μας σχεδιασμός οδηγήθηκε σε αδιέξοδο. Η μόνη μας επιλογή ήταν να μετατραπεί η έρευνα σε μελέτη ενός σχολείου και μόνο, αναφορικά με τον αριθμό των εμπλεκόμενων σχολείων, δηλαδή σε μελέτη περίπτωσης (case study).

### **2.2.a Επιλογή σχολείου έρευνας**

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο εξοπλισμός που εξασφάλισαμε δεν είχε δυνατότητες αυτόματης καταγραφής δεδομένων με την επιθυμητή συχνότητα<sup>26</sup>, η προφανής, εφικτή και, ίσως, και μοναδική δυνατότητα έρευνας, που μας έμενε, ήταν η έρευνα να γίνει στο δημοτικό σχολείο στο οποίο υπηρετούσαμε ως εκπαιδευτικοί, το 27<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο Περιστερίου.

## **2.3 Χαρακτηριστικά σχολείου έρευνας**

Το Περιστερί είναι ένας Δήμος που χαρακτηρίζεται από πυκνή δόμηση στο αστικό του

---

<sup>26</sup> Ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να καταγράφει αυτόματα μόνο μια μέτρηση ανά μισάωρο, συχνότητα που θεωρήσαμε ότι δεν ήταν επιθυμητή για τις ανάγκες της έρευνας.



περιβάλλον και πολυφυλετικότητα στο πληθυσμιακό του προφίλ (Δήμος Περιστερίου 2015 p. 57), ενώ οι κάτοικοι ανήκουν στα μικρομεσαία εισοδηματικά στρώματα και απασχολούνται κυρίως στον τριτογενή τομέα (ό.π., 2015 p. 59). Τα στοιχεία από την απογραφή του 2011, όσον αφορά τον πληθυσμό της πόλης, δείχνουν τάση αύξησης των ατόμων ηλικίας μεγαλύτερης των 50 χρονών, μικρή αύξηση του γυναικείου πληθυσμού, αλλά μείωση του παραγωγικού πληθυσμού και αύξηση του μέσου όρου ηλικίας των κατοίκων του. Σε αυτά πρέπει να προστεθεί η αύξηση των μονογονεϊκών οικογενειών του δήμου. Σημαντική κρίνεται και η πληροφορία της αύξησης του ποσοστού των οικονομικών μεταναστών, που κατανέμονται σε νόμιμο και μη νόμιμο πληθυσμό (Δήμος Περιστερίου 2015 p. 67).

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι το 27<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο (ΔΣ) Περιστερίου, ως τυπικό σχολείο του δήμου, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σχολείο αστικής, μη ευνοημένης, περιοχής της χώρας μας. Το σχολικό έτος 2018-2019 περιλάμβανε 2 τμήματα για κάθε τάξη, 12 δηλαδή συνολικά τμήματα, με 30 περίπου άτομα εκπαιδευτικό και βοηθητικό προσωπικό και 150 περίπου μαθητές.



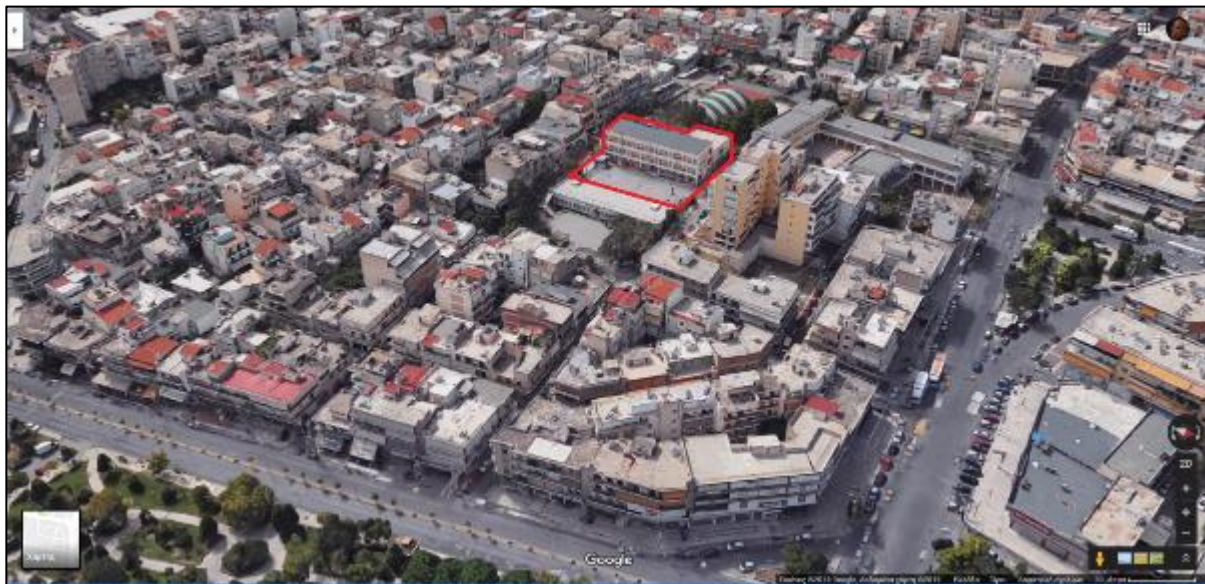
**Εικόνα 6:** Η προνομιακή χωροθέτηση του 27<sup>ου</sup> ΔΣ Περιστερίου (στο κόκκινο πλαίσιο): σχετικά προστατευμένο από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες της περιοχής και σε ύψωμα. Όψη από ανατολικά. Φωτογραφία παλιότερη του 2010.  
Πηγή: Bing Maps/Bird's Eye View (discontinued service) - προσωπικό αρχείο.

Έχει, όμως, δυο βασικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχουν μεγάλη σημασία για την έρευνά μας και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων μας:

- Είναι ένα αρκετά μικρό σχολείο, για αστική περιοχή, με μικρό αριθμό μαθητών ανά τμήμα τάξης. Ο μέσος όρος μαθητών ανά τμήμα τάξης του σχολείου αυτού είναι 12,5<sup>27</sup> μαθητές,

<sup>27</sup> 150 μαθητές : 12 εκπαιδευτικοί (υπεύθυνοι τμημάτων) = 12,5 μαθητές ανά εκπαιδευτικό.

πολύ χαμηλότερος (-36%) από το εθνικό μέσο όρο των 17 μαθητών ανά τμήμα δημοτικού σχολείου (OECD 2018 p. 357) που δίνουν τα, κατά γενική ομολογία υποεκτιμημένα, στοιχεία του ΟΑΣΑ. Είναι, μάλιστα, κοντά με την αναλογία 1 εκπαιδευτικός προς 9,5 μαθητές δημόσιου δημοτικού σχολείου (στοιχεία του 2016/2017) που δίνουν τα σκανδαλωδώς παραπλανητικά<sup>28</sup> στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2019 p. 132).



**Εικόνα 7:** Η προνομακική χωροθέτηση του 27ου ΔΣ Περιστερίου (στο κόκκινο πλαίσιο): σχετικά προστατευμένο από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες της περιοχής και σε ύψωμα. Όψη από βορειοανατολικά. Φωτορεαλιστική τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση. Πηγή: Google Maps.

- Είναι ευνοημένο από άποψη χωροθέτησης (διεύθυνση: Πτολεμαΐδος 11, ΤΚ 12136, Περιστερί) αναφορικά με την ατμοσφαιρική επιβάρυνση που υφίσταται, μιλώντας πάντα για αστικό σχολείο. Βρίσκεται σε μικρό ύψωμα, στα 65 m από το επίπεδο της θάλασσας (Δήμος Περιστερίου 2015 pp. 75–6), σχεδόν στην κορυφή λοφίσκου και είναι ελεύθερο από άλλα κτίσματα γύρω του, πράγμα που επιτρέπει σχετικά απρόσκοπτη κυκλοφορία αέρα γύρω από το κτίριο. Επιπλέον, αν και είναι κοντά σε βεβαρυσμένες κυκλοφοριακές αρτηρίες (Λεωφόρος Θηβών και Οδός Πελασγίας, Περιστερί), χωρίζεται από αυτές με σειρές κατοικιών που αποκόπτουν την άμεση όχληση από θόρυβο ή καυσαέρια.

Όπως και όλες οι τάξεις του σχολείου, έτσι και η Ε΄ τάξη του 27<sup>ου</sup> ΔΣ Περιστερίου, το σχολικό έτος 2018-2019, είχε σχετικά μικρό αριθμό παιδιών. Αποτελούνταν από 25 παιδιά, χωρισμένα σε δυο τμήματα, των 12 (Ε1 τμήμα) και 13 (Ε2 τμήμα) μαθητών και μαθητριών το καθένα. Οι μετρήσεις μας έγιναν στο Ε1 τμήμα με τους 12 μαθητές/μαθήτριες.

<sup>28</sup> Τα στοιχεία είναι παραπλανητικά γιατί, σύμφωνα με την ίδια την ΕΛΣΤΑΤ, στον αριθμό των εκπαιδευτικών με τους οποίους διαιρείται ο αριθμός των μαθητών του δημοτικού για να προκύψει ο δείκτης αυτός «περιλαμβάνονται οι δάσκαλοι, οι καθηγητές ξένων γλωσσών, μουσικής, φυσικής αγωγής, πληροφορικής κ.λπ. Στα δημόσια σχολεία περιλαμβάνονται και οι «απόντες». «Απόντες» θεωρούνται όσοι ανήκουν οργανικά στο σχολείο, αλλά απουσιάζουν για διάστημα μεγαλύτερο των 20 εργάσιμων ημερών (λόγω ασθένειας, τοκετού, μετεκπαίδευσης κ.λπ.) και έχει ζητηθεί η αντικατάστασή τους, καθώς και οι αποσπασμένοι στο Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων, σε Διεύθυνση Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης ή αλλού» (ΕΛΣΤΑΤ 2020 p. 132).





**Εικόνα 9:** Η προνομακία χωροθέτηση του 27ου ΔΣ Περιστερίου (στο κόκκινο πλαίσιο): σχετικά προστατευμένο από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες της περιοχής και σε ύψωμα. Όψη από βόρεια. Φωτογραφία παλιότερη του 2010. Πηγή: [Bing Maps/Bird's Eye View \(discontinued service\)](#) - προσωπικό αρχείο.

Εκτός από το Ε1, μετρήσεις έγιναν και στο ένα τμήμα του ολοήμερου σχολείου, δηλαδή των παιδιών που παραμένουν στο σχολείο και μετά την ολοκλήρωση του τυπικού σχολικού προγράμματος, δηλαδή μετά τις 13:15 και μέχρι τις 16:00 το απόγευμα. Το ολοήμερο πρόγραμμα του σχολείου το παρακολουθούν περίπου 50 μαθητές/μαθήτριες χωρισμένοι σε δυο τμήματα των 25 ατόμων το καθένα. Οι μετρήσεις έγιναν στο πρώτο από τα δυο αυτά τμήματα.

32

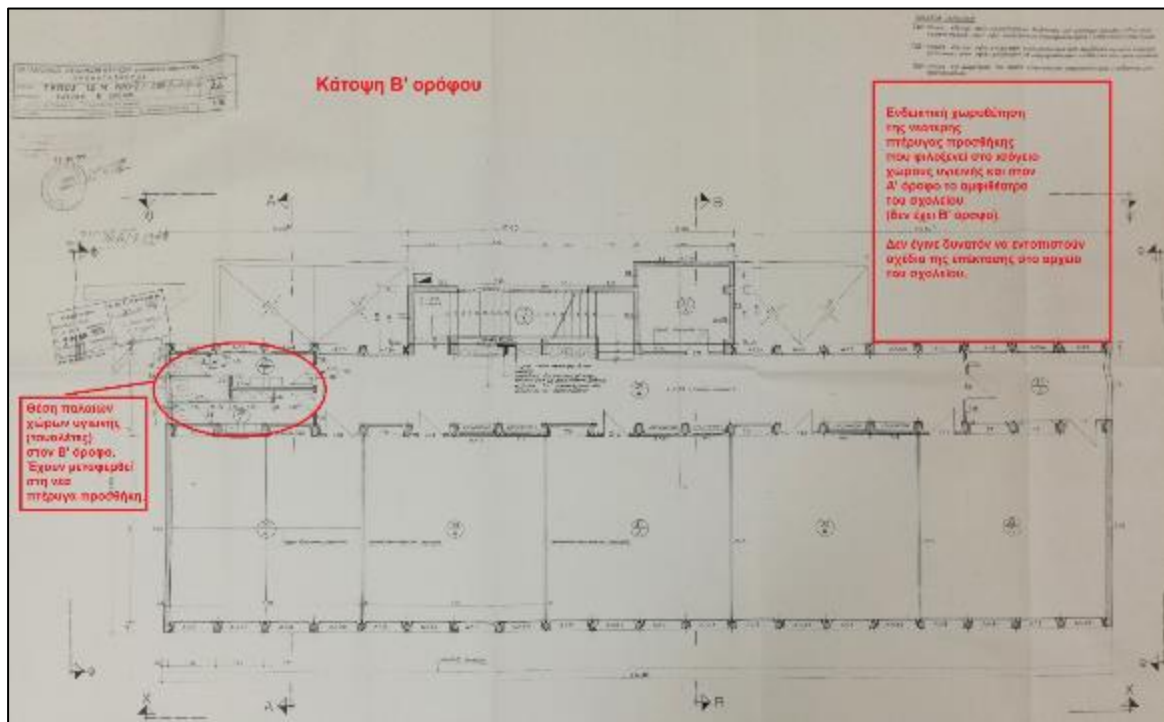


**Εικόνα 8:** Η θέση της αίθουσας του Ε1 στο δεύτερο όροφο και η θέση της αίθουσας ΟΔ1 στο ισόγειο. Με τους κύκλους σημειώνονται οι θέσεις (έξοδοι αεραγωγών) των ανεμιστήρων τοίχου στο Ε1. Παρακαλούμε να προσεχτεί το διαφορετικό προφίλ των παραθύρων του ισογείου σε σχέση με αυτό των ορόφων, που υπαγορεύεται από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά δόμησης (επιπλέον κολόνες στους ορόφους σε σχέση με το ισόγειο). Ανεμιστήρες τοίχου δεν υπάρχουν στο ισόγειο.

Οι μετρήσεις που έγιναν στο τμήμα Ε1 και στο πρώτο τμήμα του ολοήμερου

προγράμματος (ΟΛ1) δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες και δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν συγκριτικά γιατί αφορούν μετρήσεις που έγιναν σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, με διαφορετικά άτομα, σε διαφορετικό όροφο και σε διαφορετική αίθουσα με διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά η καθεμία (επιφάνεια παραθύρων, αριθμό ανεμιστήρων, κλπ).

## 2.4 Περιγραφή τάξεων που έγιναν οι μετρήσεις



Εικόνα 10: Κάτοψη Β' ορόφου με σημειωμένες τις αλλαγές στο κτίριο. ). Πηγή: Αρχείο 27<sup>ου</sup> Δ.Σ.

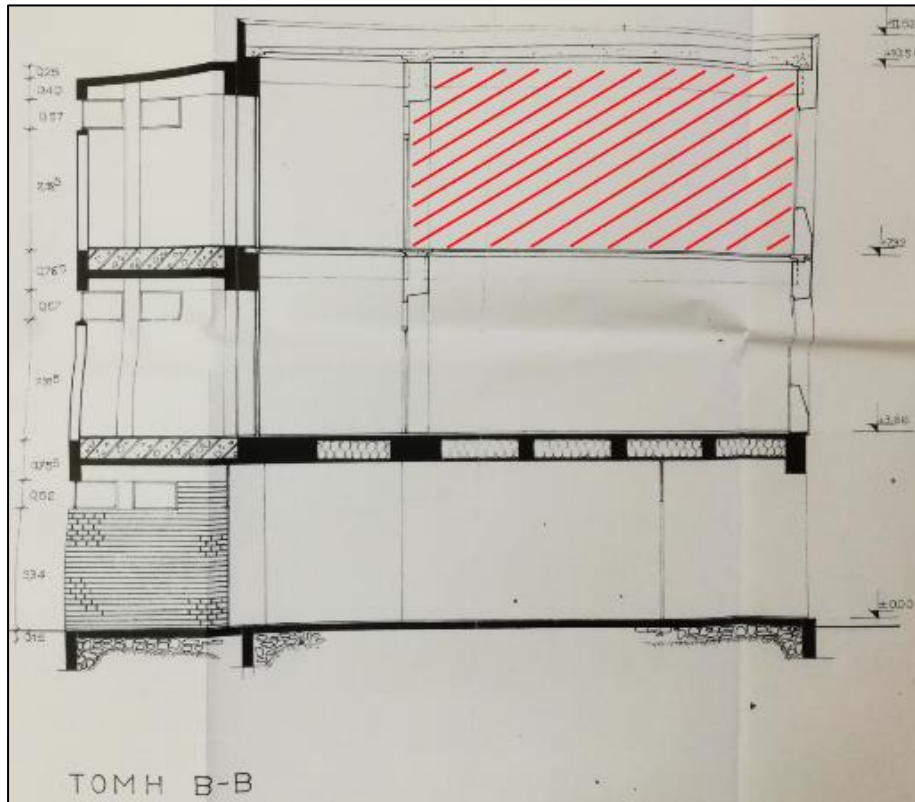
Στην αρχική διαρρύθμιση του σχολείου, όπως αποτυπώνεται στα αρχικά σχέδια που εντοπίστηκαν στο αρχείο του σχολείου, υπήρχαν τουαλέτες σε κάθε όροφο. Αυτές αφαιρέθηκαν αργότερα και μετακινήθηκαν στη νεότερη πτέρυγα-επέκταση του σχολείου που κατασκευάστηκε στα δυτικά του αρχικού κτιρίου. Τα νεότερα σχέδια που αποτυπώνουν την τρέχουσα κατάσταση του κτιρίου, δυστυχώς, δεν υπάρχουν στο αρχείο του σχολείου. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε τα αρχικά σχέδια για την περιγραφή των τάξεων στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις μας. Εξάλλου, στις τάξεις τις ίδιες δεν έχουν υπάρξει (ριζικές) αλλαγές.

### 2.4.α Ε1

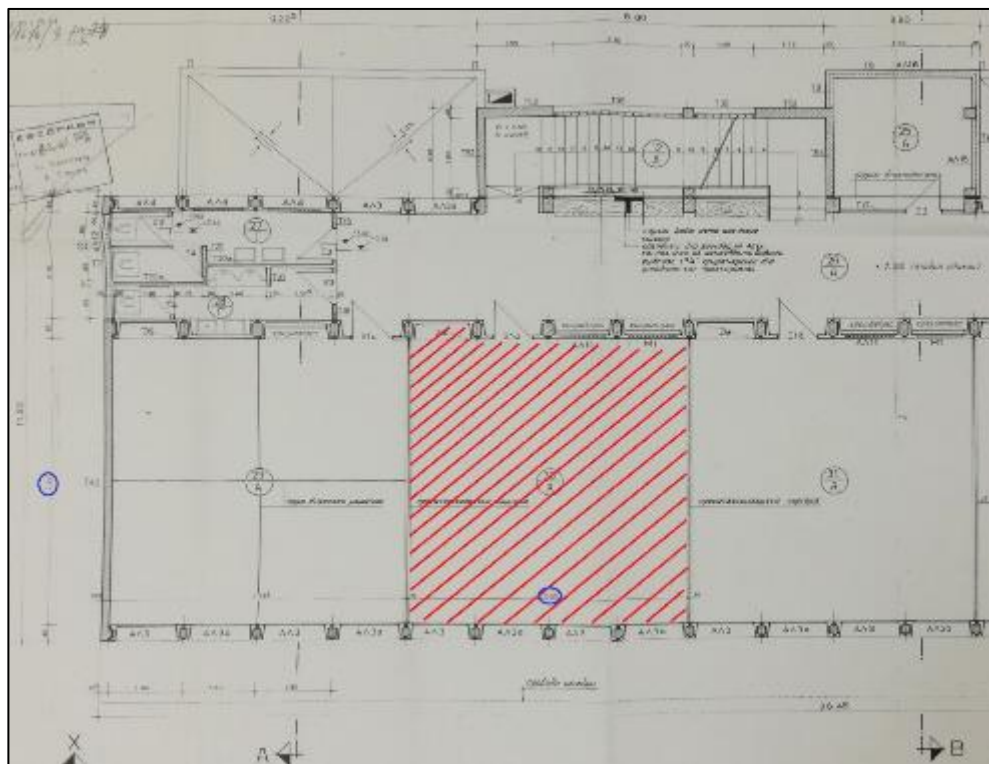
Η αίθουσα του τμήματος Ε1 (αίθουσα 10 του σχολείου) βρίσκεται στο δεύτερο όροφο του κτιρίου του σχολείου. Από το σχέδιο του κτιρίου, που υπάρχει στο αρχείο του σχολείου, προκύπτει ότι η αίθουσα βρίσκεται μεταξύ των 7,32 m (πάτωμα) και 10,58 m (ταβάνι) από την επιφάνεια του εδάφους. Η επιφάνεια του εδάφους (οικοπέδου) βρίσκεται στα 65 m από την



επιφάνεια της θάλασσας<sup>29</sup>. Έτσι, το ύψος της αίθουσας (πάτωμα) είναι στα 72,32 m από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 12: Τομή κτιρίου σχολείου (νότια όψη). Στο γραμμοσκιασμένο τμήμα η αίθουσα 10 (E1). Πηγή: Αρχείο 27<sup>ου</sup> Δ.Σ.



Εικόνα 11: Λεπτομέρεια σχεδίου κάτοψης Β' ορόφου. Σημειώνεται η θέση της αίθουσας του E1(με κόκκινο) και οι διαστάσεις της αίθουσας κατά το σχέδιο (με μπλε). Πηγή: Αρχείο 27<sup>ου</sup> Δ.Σ.

<sup>29</sup> Πηγή: Google Earth.

Από τις μετρήσεις μας, οι διαστάσεις της αίθουσας βρέθηκαν να είναι 7,10 m πλάτος και 7,19 m μήκος (επιφάνεια αίθουσας 51,049 m<sup>2</sup>) και 3,49 m ύψος (όγκος αίθουσας 178,161 m<sup>3</sup>).

Είναι αναγκαίο να επισημάνουμε εδώ ότι οι διαστάσεις που δίνονται στο αρχιτεκτονικό σχέδιο του σχολείου είναι οριακά διαφορετικές από αυτές που μετρήσαμε στην αίθουσα, λόγω, προφανώς, (τυπικών) αποκλίσεων που προέκυψαν κατά την κατασκευή του κτιρίου. Για τους σκοπούς της έρευνας έχουν προτιμηθεί οι επιτόπιες μετρήσεις μας, και όχι οι αντίστοιχες του σχεδίου.

Η σχεδόν τετράγωνη αίθουσα του τμήματος φιλοξενεί ένα συνήθη εξοπλισμό σχολικής αίθουσας, όπως θρανία, καρέκλες, βιβλιοθήκες, μεταλλικά ντουλάπια αποθήκευσης, έδρες, ηλεκτρονικό υπολογιστή, βιντεοπροβολέα, cd-player, φωτιστικά, θερμαντικά σώματα, κρεμάστρες, πίνακες γραφής και πίνακες ανακοινώσεων.



Εικόνα 13: Απόψεις της αίθουσας του Ε1 (μετά το τέλος των μαθημάτων της σχολικής χρονιάς).

Σημαντικά χαρακτηριστικά της αίθουσας, σχετικά με την έρευνά μας, είναι ο αριθμός και το μέγεθος των παραθύρων, το μέγεθος της πόρτας, η ύπαρξη δυο ανεμιστήρων τοίχου (εξαγωγής αέρα) και ενός τρίτου για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης το καλοκαίρι, τη μείωση



Εικόνα 14: Δριστερά: οι ανοιγόμενες επιφάνειες των παραθύρων (σημειωμένες με κίτρινο). Οι ανεμιστήρες τοίχου εξαγωγής αέρα (με κόκκινο) και με μπλε τα 3 σώματα θέρμανσης (καλοριφέρ). Δεξιά: Η πόρτα της αίθουσας ανοιχτή (με κίτρινο). Έχει σημειωθεί και το παράθυρο του διαδρόμου με το οποίο δημιουργείται ρεύμα (με πράσινο). Ο ανεμιστήρας «ανάδευσης» του υπέρχοντος αέρα (με κόκκινο).

δηλαδή του αισθήματος της θερμικής επιβάρυνσης (ζέστης) και τριών σωμάτων καλοριφέρ.

Η αίθουσα, λοιπόν, έχει 4 ισομεγέθη συρόμενα επάλληλα παράθυρα με αποτέλεσμα το άνοιγμα του κάθε παραθύρου να είναι σχετικά μικρό για τις δυνατότητες που παρέχει το αντίστοιχο πλαίσιο ανοίγματος στον τοίχο.

Το μικρό άνοιγμα έχει καθορίσει σε μεγάλο βαθμό και τον τρόπο τοποθέτησης των παραθύρων από τους χρήστες τους: είτε εντελώς ανοιχτό, είτε εντελώς κλειστό. Οι διαστάσεις του κάθε συρόμενου φύλλου του παραθύρου είναι 91 cm ύψος και 89 cm πλάτος, πράγμα που σημαίνει ότι η επιφάνεια ανοίγματος του κάθε παραθύρου (από τα 4 όμοια της αίθουσας) είναι  $8099 \text{ cm}^2$  ή  $0,8099 \text{ m}^2$ .

Η πόρτα της αίθουσας βρίσκεται ακριβώς απέναντι από τα παράθυρα και έχει διαστάσεις ανοίγματος 207 cm ύψος και 99 cm πλάτος, δηλαδή επιφάνεια ανοίγματος  $20493 \text{ cm}^2$  ή  $2,0493 \text{ m}^2$ . Η πόρτα, όταν είναι ανοιχτή, δημιουργεί ρεύμα με το παράθυρο του διαδρόμου. Για να παραμένει ανοιχτή η πόρτα κατά τη διάρκεια του μαθήματος σημαίνει ότι υπάρχει αρκετή ζέστη στο χώρο, άρα και ότι το παράθυρο του διαδρόμου είναι σίγουρα ανοιχτό. Οι φεγγίτες που υπάρχουν πάνω από την πόρτα και κατά μήκος του τοίχου παραμένουν πάντα κλειστοί για την ελαχιστοποίηση του εισερχόμενου από το διάδρομο θορύβου.

Οι δυο όμοιοι ανεμιστήρες εξαγωγής αέρα που βρίσκονται πάνω από τα παράθυρα είναι κατασκευής S&P (Solerpalau)<sup>30</sup> με διάμετρο ανοίγματος φτερών 30 cm (μοντέλο HX M-300, 220V, 50-60Hz, 34W, 0.15A). Οι ανεμιστήρες δεν έχουν ελεγκτή ταχύτητας περιστροφής, άρα θεωρούμε ότι λειτουργούν στο μέγιστο της δυνατότητάς τους (έτσι δηλώνει και ο κατασκευαστής) κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους.



Εικόνα 15: Ένας από τους δυο όμοιους ανεμιστήρες εξαγωγής αέρα του τοίχου.  
Στη λεπτομέρεια δεξιά τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά.

<sup>30</sup> Για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων και το εγχειρίδιο χρήσης και εγκατάστασης δεξ: [https://www.solerpalau.com/en-en/plate-mounted-axial-flow-hxm-78-serie/#product\\_section\\_description](https://www.solerpalau.com/en-en/plate-mounted-axial-flow-hxm-78-serie/#product_section_description)



Σύμφωνα με τον κατασκευαστή η δυνατότητά τους, απαγωγής αέρα, είναι 1180 m<sup>3</sup>/h. Δεδομένου ότι είναι 2, η ενδεικτική συνδυαστική τους ικανότητα απαγωγής αέρα είναι 2360 m<sup>3</sup>/h (1180+1180), πράγμα που σημαίνει ότι σε εντελώς θεωρητικές συνθήκες θα χρειαζόνταν περίπου 75 ώρες συνεχούς λειτουργίας για να αφαιρέσουν/αλλάξουν τον αέρα της αίθουσας (θεωρώντας ότι η αίθουσα είναι άδεια εντελώς από αντικείμενα και δεχόμενοι τον όγκο της, που βρήκαμε από τις μετρήσεις μας, ως τον όγκο του αέρα που φιλοξενεί<sup>31</sup>).

PLATE MOUNTED AXIAL FLOW FANS HXM Series										
TECHNICAL CHARACTERISTICS										
Before making any electrical connection ensure that the voltage and frequency of the mains electrical supply matches that of the fan data plate label.										
Model	Speed (rpm)	Diameter (mm)	Maximum absorbed power (W)	Maximum absorbed current (A)	Sound pressure level* (dB(A))	Maximum air volume (m <sup>3</sup> /h)	Working temperature (°C)	Weight (kg)	Speed controller	
									REB	RMB
HXM 200	1350	200	19	0,1	39	470	15/+40	1,0	REB 1N	RMB 1,5
HXM 250	1380	250	30	0,1	48	810	15/+40	2,4	REB 1N	RMB 1,5
HXM 300	1360	300	41	0,2	48	1.180	-15/+40	3,2	REB-1N	RMB-1,5
HXM 350	1340	350	52	0,2	51	1.680	-15/+40	4,3	REB-1N	RMB-1,5
HXM 400	1295	400	151	0,7	56	3.670	-40/+60	9,0	REB-1N	RMB-1,5

\* Sound pressure measured in free field conditions at 1,5 m.

Εικόνα 16: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων τοίχου (εξαγωγής αέρα), όπως τα δίνει ο κατασκευαστής. Πηγή: [S&P](#).

Εκτός από τους δυο ανεμιστήρες τοίχου (εξαγωγής αέρα) υπάρχει και τρίτος επιτοίχιος ανεμιστήρας με διάμετρο ανοίγματος φτερών 50 cm και μηχανισμό ημιπεριστροφής της φτερωτής για διαμοιρασμό της ριπής ανέμου που δημιουργεί, κατασκευής AlphaLamda<sup>32</sup> (μοντέλο Primo, W-FF2009, 220V, 50Hz, 130W).



Εικόνα 17: Ο ανεμιστήρας "ανάδευσης". Θέση τοποθέτησης, χαρακτηριστικά.

Αυτόν θα τον χαρακτηρίσουμε ως ανεμιστήρα «ανάδευσης», γιατί η λειτουργία του

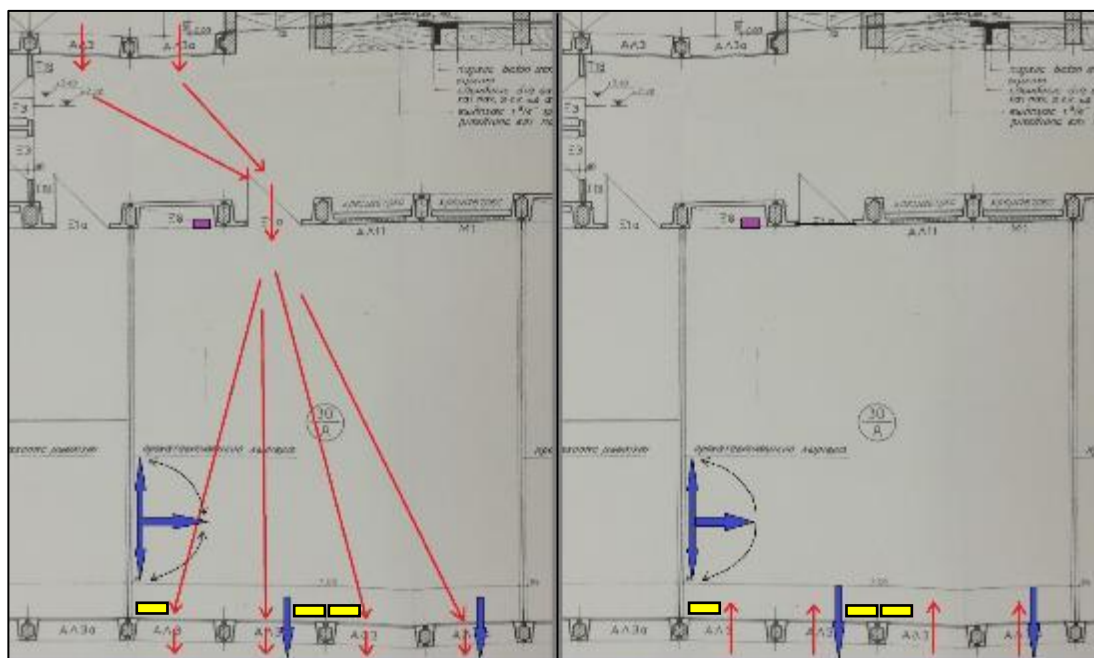
<sup>31</sup>  $178.161 \text{ m}^3 : 2360 \text{ m}^3/\text{h} = 75.49 \text{ h}$

<sup>32</sup> Επειδή είναι παλιό μοντέλο δεν παρέχονται πια τα χαρακτηριστικά του μοντέλου από τον κατασκευαστή. Αντίστοιχα τρέχοντα μοντέλα του ίδιου τύπου και κατασκευαστή μπορούν να βρεθούν εκεί: [\[σύνδεσμος\]](#).



δεν απάγει αέρα από την αίθουσα αλλά μάλλον αναδεύει τον υπάρχοντα με σκοπό τη βελτίωση του υποκειμενικού αισθήματος της θερμικής άνεσης σε περίπτωση υπερβολικής ζέστης.

Η συνήθης ροή αερισμού, όταν η πόρτα και τα παράθυρα είναι ανοιχτά (και με ανεμιστήρες σε λειτουργία ή όχι), έχει ως εξής: ένα (συνήθως έντονο) ρεύμα αέρα έρχεται από τα παράθυρα του διαδρόμου και βγαίνει από τα παράθυρα της αίθουσας. Στην περίπτωση που η πόρτα είναι κλειστή (ακόμα και με ανεμιστήρες σε λειτουργία) ένα (συνήθως ασθενές) ρεύμα αέρα έρχεται από τα ανοιχτά παράθυρα μέσα στην αίθουσα.

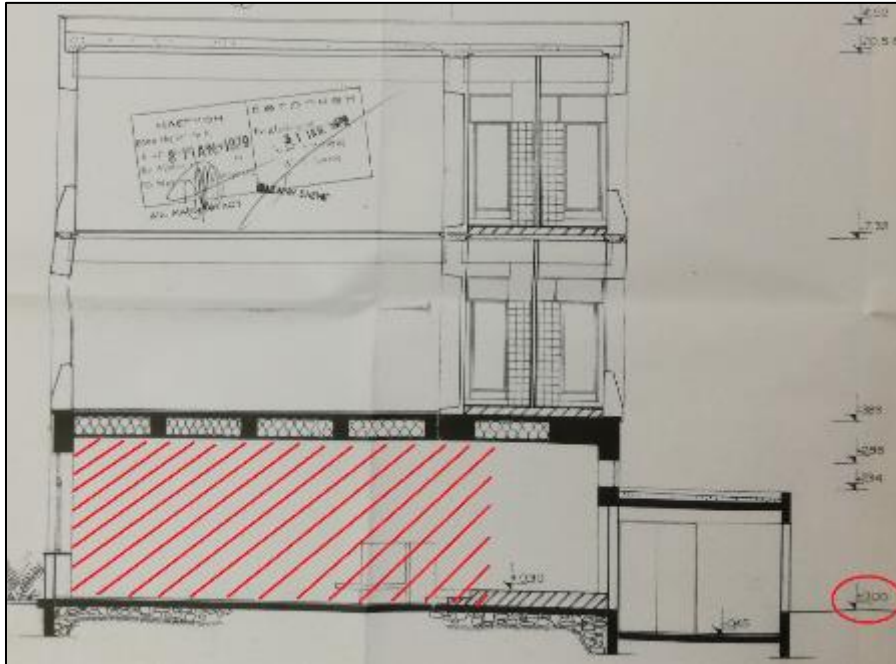


**Εικόνα 18:** Συνήθεις ροές αερισμού στην αίθουσα του Ε1 με **ανοιχτή πόρτα** (αριστερά) και με **κλειστή πόρτα** (δεξιά). Σχέδιο φυσικού αερισμού (παράθυρα-πόρτα) με κόκκινο και τεχνητού αερισμού (ανεμιστήρες) με μπλε. Στο μοβ σημειώνεται και η θέση του εξοπλισμού καταγραφής (μετρητή CO<sub>2</sub>). Στο κίτρινο οι θέσεις των σωμάτων θέρμανσης (καλοριφέρ).

Κλείνοντας, στο χώρο υπάρχουν και τρία σώματα θέρμανσης (καλοριφέρ), διαστάσεων 59,5 cm ύψους, 13,6 cm πλάτους (τρίστηλα), με 14 στοιχεία θέρμανσης (φέτες) που απέχουν 4 cm το ένα από το άλλο, και ιδανική θερμική απόδοση 1120 kcal/h το καθένα<sup>33</sup>. Άρα, συνδυαστικά και υπό ιδανικές συνθήκες, η μέγιστη συνδυαστική τους απόδοση είναι 3360 kcal/h.

<sup>33</sup> Πηγή: <http://www.mgavrieltos.gr/Akan.html>

## 2.4.β ΟΛ1



**Εικόνα 19:** Τομή κτιρίου σχολείου (βόρεια όψη). Να σημειωθεί ότι επήλθαν αλλαγές στο αρχικό σχέδιο, που παραθέτουμε εδώ, μετά την επέκταση του κτιρίου. Στο γραμμοσκιασμένο τμήμα (κατά προσέγγιση) η αίθουσα του ολοήμερου (ΟΛ1). Πηγή: Αρχείο 27ου Δ.Σ.

Η αίθουσα του πρώτου τμήματος του ολοήμερου (ΟΛ1) βρίσκεται στο ισόγειο του κτιρίου του σχολείου. Από το σχέδιο του κτιρίου, που υπάρχει στο αρχείο του σχολείου, φαίνεται ότι η αίθουσα βρίσκεται στα +0 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Η επιφάνεια του εδάφους (οικοπέδου) βρίσκεται στα 65 m από την επιφάνεια της θάλασσας<sup>34</sup>. Άρα και το ύψος της αίθουσας (πάτωμα) θεωρούμε ότι είναι στα 65 m από την επιφάνεια της θάλασσας.

39



**Εικόνα 20:** Λεπτομέρεια κάτοψης ισογείου. Με πορτοκαλί σημειώνεται η αίθουσα του ολοήμερου (ΟΛ1). Με κόκκινο οι διαστάσεις στο σχέδιο, με μπλε ο μόνιμος τοίχος που αντικατέστησε τις πόρτες διαχωρισμού των αιθουσών. Πηγή: Αρχείο 27ου Δ.Σ.

<sup>34</sup> Πηγή: Google Earth.

Από τις μετρήσεις μας, οι διαστάσεις της αίθουσας βρέθηκαν να είναι 7,17 m πλάτος και 7,78 m μήκος (επιφάνεια αίθουσας 55,782 m<sup>2</sup>) και 3,16 m ύψος (όγκος αίθουσας 176,273 m<sup>3</sup>).

Είναι αναγκαίο να επισημάνουμε εδώ ότι οι διαστάσεις που δίνονται στο αρχιτεκτονικό σχέδιο του σχολείου είναι οριακά διαφορετικές από αυτές που μετρήσαμε στην αίθουσα, λόγω, προφανώς, (τυπικών) αποκλίσεων που προέκυψαν κατά την κατασκευή του κτιρίου. Για τους σκοπούς της έρευνας έχουν προτιμηθεί οι επιτόπιες μετρήσεις μας, και όχι οι αντίστοιχες του σχεδίου. Επίσης, οι αναδιπλούμενες πόρτες χωρισμού της αίθουσας του ολοήμερου από τη διπλανή της αίθουσα έχουν αντικατασταθεί από μόνιμο κτιστό τοίχο.



Εικόνα 21: Απόψεις της αίθουσας του ΟΛ1 (κατά τη διάρκεια των μαθημάτων της σχολικής χρονιάς). Σημειώνεται (με κόκκινο) και ο μοναδικός ανεμιστήρας της αίθουσας.

Η αίθουσα του τμήματος (ΟΛ1) φιλοξενεί ένα συνήθη εξοπλισμό μιας σχολικής αίθουσας, όπως θρανία, καρέκλες, βιβλιοθήκες, μεταλλικά και ξύλινα ντουλάπια αποθήκευσης, έδρες, ηλεκτρονικό υπολογιστή, βιντεοπροβολέα, cd-player, φωτιστικά, θερμαντικά σώματα, κρεμάστρες, πίνακες γραφής και πίνακες ανακοινώσεων.



Εικόνα 22: Αριστερά: οι ανοιγόμενες επιφάνειες των παραθύρων (σημειωμένες με κίτρινο). Δεξιά: Η πόρτα της αίθουσας ανοιχτή (με κίτρινο). Ο ανεμιστήρας «ανάδευσης» του υπάρχοντος αέρα (με κόκκινο).



Σημαντικά χαρακτηριστικά της αίθουσας, σχετικά με την έρευνά μας, είναι ο αριθμός και το μέγεθος των παραθύρων, το μέγεθος της πόρτας, και η ύπαρξη ενός μόνο επιτοίχιου ανεμιστήρα (διαμέτρου 50 cm) για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης το καλοκαίρι, για τη μείωση δηλαδή του αισθήματος της θερμικής επιβάρυνσης (ζέστης).

Η αίθουσα, λοιπόν, έχει 2 μεγάλα ισομεγέθη συρόμενα επάλληλα δίφυλλα παράθυρα. Οι διαστάσεις του κάθε συρόμενου φύλλου των παραθύρων είναι 139 cm ύψος και 77 cm πλάτος, πράγμα που σημαίνει ότι η επιφάνεια ανοίγματος του κάθε φύλλου του κάθε παραθύρου (από τα 4 όμοια της αίθουσας) είναι  $10703 \text{ cm}^2$  ή  $1,0703 \text{ m}^2$ .

Η πόρτα της αίθουσας βρίσκεται ακριβώς απέναντι από τα παράθυρα και έχει διαστάσεις ανοίγματος 197 cm ύψος και 84 cm πλάτος, δηλαδή επιφάνεια ανοίγματος  $16548 \text{ cm}^2$  ή  $1,6548 \text{ m}^2$ . Η πόρτα, όταν είναι ανοιχτή, δημιουργεί ρεύμα αέρα με το διάδρομο.



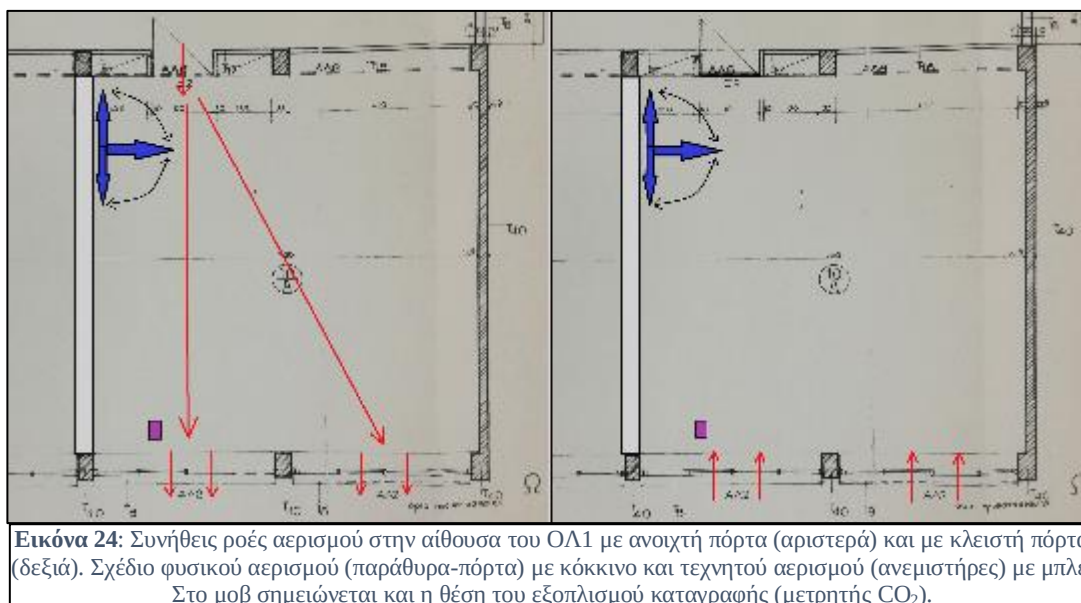
Εικόνα 23: Ο ανεμιστήρας "ανάδευσης" στο ΟΛ1. Θέση τοποθέτησης, χαρακτηριστικά.

Στην αίθουσα υπάρχει και ένας ανεμιστήρας επιτοίχιος με διάμετρο ανοίγματος φτερών 50 cm και μηχανισμό ημιπεριστροφής της φτερωτής για διαμοιρασμό της ριπής ανέμου που δημιουργεί, κατασκευής AlphaLamda<sup>35</sup> (μοντέλο Primo, W-FF2009, 220V, 50Hz, 130W). Αυτόν θα τον χαρακτηρίσουμε ως ανεμιστήρα «ανάδευσης», γιατί η λειτουργία του μάλλον αναδύει τον υπάρχοντα αέρα με σκοπό τη βελτίωση του υποκειμενικού αισθήματος της θερμικής άνεσης σε περίπτωση ζέστης.

Η συνήθης ροή αερισμού, όταν η πόρτα και τα παράθυρα είναι ανοιχτά (ακόμα και με ανεμιστήρα σε λειτουργία), έχει ως εξής: ένα (συνήθως έντονο) ρεύμα αέρα έρχεται από το

<sup>35</sup> Επειδή είναι παλιό μοντέλο δεν παρέχονται πια τα χαρακτηριστικά του μοντέλου από τον κατασκευαστή. Αντίστοιχα τρέχοντα μοντέλα του ίδιου τύπου και κατασκευαστή μπορούν να βρεθούν εκεί: [\[σύνδεσμος\]](#).

διάδρομο και βγαίνει από τα παράθυρα της αίθουσας. Στην περίπτωση που η πόρτα είναι κλειστή (ακόμα και με ανεμιστήρα σε λειτουργία) ένα (συνήθως ασθενές) ρεύμα αέρα έρχεται από τα ανοιχτά παράθυρα μέσα στην αίθουσα.



Τέλος, τις ώρες της καταγραφής στο ολόημερο (13.15 με 16.00) τα θερμαντικά σώματα δεν λειτουργούσαν ποτέ, ενώ επιπλέον τα 2 από τα 3 είχαν αποσυνδεθεί λόγω διαρροής τους.

## 2.5 Εξοπλισμός έρευνας

Για την καταγραφή του επιπέδου του CO<sub>2</sub> μέσα στις δυο αίθουσες χρησιμοποιήθηκε ο ελεγκτής εκπομπών ( monitor) **Kane Alert CO<sub>2</sub>** της βρετανικής εταιρείας Kane<sup>36</sup> που καταγράφει τόσο το CO<sub>2</sub> όσο και τη θερμοκρασία ενός (κυρίως εσωτερικού) χώρου.

Ο συγκεκριμένος ελεγκτής δεν είναι πια διαθέσιμος από την παραγωγό εταιρεία, εξαιτίας αντικατάστασης του από νεότερα μοντέλα, πράγμα που έχει σηματοδοτήσει στην αγορά (στους μεταπωλητές) μια ριζική ανατιμολόγησή του προς τα κάτω<sup>37</sup>. Πωλείται, όμως, ακόμα από σειρά μεταπωλητών παγκόσμια<sup>38</sup>, πράγμα που ίσως έμμεσα καταδεικνύει την

<sup>36</sup> <https://www.kane.co.uk/>

<sup>37</sup> Ο μέσος όρος τιμής, τώρα (Αύγουστος 2020), κυμαίνεται γύρω στα 150€, από 300€ περίπου πρόπερσι (Σεπτέμβριος 2018) όταν αρχίζαμε την έρευνά μας.

<sup>38</sup> Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποιους μεταπωλητές σήμερα (Αύγουστος 2020):

- <https://www.acutestdirect.co.uk/gas-analysers-equipment/kane/co2-0-3-000ppm-and-temperature-monitor-5013>
- <https://www.ban.gr/Kane-CO2-ALERT>
- [https://www.bsria.com/uk/product/XBYown/kane\\_international\\_alert\\_co2\\_c531e0e5/](https://www.bsria.com/uk/product/XBYown/kane_international_alert_co2_c531e0e5/)
- <https://www.corgi-direct.co.uk/kanealert-co2-monitor-17952-3420342>
- <https://www.gassafetyshop.co.uk/products/KANEALERTCO2-Temperature-Monitor>
- <http://hvac-shop.eu/index.php?item=kane-alert-co2-indoor-co2-and-temperature-monitor&action=article&aid=137&lang=EN>
- <https://www.ibhs.co.uk/kane/co2-flow-meters/kane-alert-co2.html>
- <https://www.india mart.com/proddetail/co2-air-quality-monitors-13927502497.html>
- [https://keison.co.uk/kane\\_alertco2.shtml](https://keison.co.uk/kane_alertco2.shtml)

αξιοπιστία του προϊόντος αλλά και την αποδοχή του από τη βιομηχανία, μια και αποτελεί κατά βάση βιομηχανικό προϊόν.



Εικόνα 25: Φωτογραφική και σχεδιαστική απεικόνιση του μετρητή CO<sub>2</sub>. Πηγή: Kane

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά, που δίνονται από τον κατασκευαστή και αναπαράγονται από τους μεταπωλητές του μετρητή, η συσκευή μετράει το επίπεδο του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα με χρήση ενός μη διαπερατού αισθητήρα υπερύθρων (αισθητήρας NDIR) και της θερμοκρασίας με ψηφιακό θερμόμετρο. Δεν είναι μόνο όργανο ελέγχου και μέτρησης του CO<sub>2</sub> και της θερμοκρασίας αλλά και έγκαιρης προειδοποίησης, αφού συμπεριλαμβάνει ρυθμιζόμενο συναγερμό.

Το εύρος των μετρήσεών του είναι:

- Για το CO<sub>2</sub> (NDIR): από 0 έως 3000 ppm, με ακρίβεια:  $\pm 50$  ppm ή  $\pm 5\%$ .
- Για τη θερμοκρασία: από 0 °C έως +50 °C, με ακρίβεια:  $\pm 1$  °C.

Το βήμα των μετρήσεών του είναι:

- Για το CO<sub>2</sub> (NDIR): ανά 1 ppm (για μετρήσεις 0-1000 ppm), ανά 5 ppm (για μετρήσεις 1000-2000 ppm), ανά 10 ppm (για μετρήσεις 2000-3000 ppm), ενώ για μετρήσεις πάνω από 3000 ppm εμφανίζεται η ένδειξη «**Hi**(gh)».
- Για τη θερμοκρασία: ανά 0.1 °C.

Ο αισθητήρας, επίσης, δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από αλλαγές στη θερμοκρασία (επίδραση θερμοκρασίας στην ένδειξη CO<sub>2</sub> μόνο  $\pm 0.1\%$  ή  $\pm 2$  ppm ανά °C) ή την πίεση (επίδραση πίεσης στην ένδειξη CO<sub>2</sub> μόνο  $\pm 0.13\%$  ανά mm Hg=χιλιοστό υδραργύρου).

Σχετικά με τη χρηστικότητα του, τα κείμενα διαφημιστικής προβολής του αναφέρουν

- 
- [https://lanfor.ru/katalog/Oborudovanie\\_dlya\\_kontrolya\\_i\\_ucheta\\_gazov/gazoanalizatory/perenosnye/KANE-ALERT-CO2](https://lanfor.ru/katalog/Oborudovanie_dlya_kontrolya_i_ucheta_gazov/gazoanalizatory/perenosnye/KANE-ALERT-CO2)
  - <https://www.testers.co.uk/kane-alert-co2>
  - <https://viva-telecom.org/11238/kane/alert-co2/>

ότι το Kane Alert CO<sub>2</sub> είναι μια οικονομική φορητή συσκευή παρακολούθησης αερίου που υπολογίζει και προβάλλει το CO<sub>2</sub> και τη θερμοκρασία του αέρα σε τοποθεσίες όπου η παρακολούθηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα είναι σημαντική. Με ενσωματωμένο

SPECIFICATIONS		
	CO <sub>2</sub> via NDIR sensor	Temperature
Measurement Range	0-3,000 ppm display	0 to 50°C / 32 to 122°F
Display Resolution	1ppm from 0-1,000ppm; 5ppm from 1,000-2,000ppm; 10ppm from 2,000-3,000ppm over 3000 ppm display shows "Hi"	0.1°C / 0.1°F
Accuracy	±50 ppm, or ±5% of reading	±1°C / ±2°F
Repeatability	±20 ppm	
Temperature Dependence	±0.1% of reading per °C or ±2 ppm per °C, whichever is greater, referenced to 25°C	
Pressure Dependence	0.13% of reading per mm Hg (Corrected via user input for altitude)	
Warm-Up Time	< 60 seconds at 22°C	
Response Time	< 2min for 63% of step change	20-30 minutes (case must equilibrate with environment)
Calibration Interval	12 months.	
Operating Conditions	0 to 50°C, 0 to 95%RH non condensing	
Dimensions	166mm long x 83mm high x 26mm deep	

Εικόνα 26: Τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή, όπως δίνονται από τον κατασκευαστή. Πηγή: Kane

αισθητήρα NDIR μεγάλης διάρκειας ζωής, το Alert CO<sub>2</sub> μπορεί να μετρήσει τις συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> έως 3000 ppm και θερμοκρασία από 0 έως 50 °C. Έχει επίσης ενσωματωμένη μνήμη και μπορεί να αποθηκεύσει 48 σειρές μετρήσεων CO<sub>2</sub>/θερμοκρασίας τις τελευταίες 24 ώρες (αποθηκεύει μία καταγραφή κάθε 30 λεπτά). Περιλαμβάνει, επίσης, λειτουργία Max/ Min που υπολογίζει μέγιστες και ελάχιστες τιμές συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> και λειτουργία συναγερμού που ενεργοποιείται στα 1000 ppm (όριο ASHRAE) για να ειδοποιεί για τις κορυφώσεις του CO<sub>2</sub>.

Η συσκευή έχει σχεδιαστεί για σκοπούς ένδειξης και ειδοποίησης, μόνο για εσωτερική χρήση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλοντα ή σε εργασιακούς χώρους, όπου το CO<sub>2</sub> πρέπει να παρακολουθείται, ώστε να διασφαλίζεται ότι είναι εντός των αποδεκτών επιπέδων που συνιστώνται από τους κανονισμούς εργασίας. Γιατί έχει αποδειχτεί ότι υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> μπορεί να προκαλέσουν, υπνηλία, πονοκεφάλους ή ακόμα και μακροχρόνιες βλάβες. Παραδείγματα συνιστάμενων ορίων CO<sub>2</sub> είναι το αμερικάνικο ASHRAE, που δίνει όριο τα 1000 ppm, το βρετανικό Building Bulletin 101, που αναφέρει ότι η μέση συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες διδασκαλίας κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1500 ppm, ενώ τα βρετανικά πρότυπα BS6896, BS6230 και BS5990, τα οποία καλύπτουν διάφορες θερμαντικές συσκευές αερίου, δηλώνουν ότι οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 2800 ppm σε μέρη όπου εργάζονται άνθρωποι.

Βρίσκει εφαρμογή σε εγκαταστάσεις και επισκευές οικιακών συσκευών πετρελαίου ή



αερίου, σε έλεγχο ασφαλείας CO<sub>2</sub> σε ένα κλειστό χώρο ή γύρω από μια συσκευή, ελέγχει τις επιδόσεις και την απόδοση της καύσης, την αποτελεσματικότητα του εξαερισμού σε γραφεία, δημόσια κτίρια, εμπορικές κουζίνες. Άλλες εφαρμογές για τη συσκευή περιλαμβάνουν την παρακολούθηση των συνθηκών καλλιέργειας σε θερμοκήπια και την προειδοποίηση για διαρροές, όταν το CO<sub>2</sub> αποθηκεύεται σε δοχεία υπό πίεση σε κλειστό χώρο.

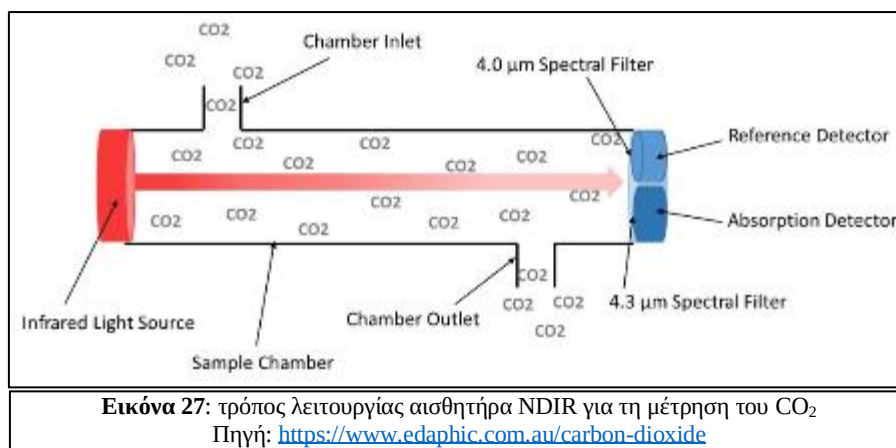
Μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί σε βιομηχανικά κτίρια, σχολεία, νοσοκομεία, σουπερμάρκετ, καταστήματα, ιδιωτικά κτίρια, διαμερίσματα, αθλητικά κέντρα και είναι εξαιρετικά χρήσιμο για τον τομέα των τροφίμων, εταιρείες αυτοκινήτων και εμπειρογνώμονες.<sup>39</sup>

### 2.5.α Μη διαπερατός αισθητήρας υπέρυθρων (αισθητήρας NDIR): τρόπος λειτουργίας

Ο ελεγκτής εκπομπών (monitor) **Kane Alert CO<sub>2</sub>**, όπως προαναφέραμε, χρησιμοποιεί τεχνολογία NDIR για την ανίχνευση του επιπέδου του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Το NDIR (ή αισθητήρας NDIR) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για «μη διαπερατή υπέρυθρη ακτινοβολία» και είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αισθητήρα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του CO<sub>2</sub> στις έρευνες (Griffiths & Eftekhari 2008; Siskos et al. 2001; Wikipedia 2021c).

Ένας μη διαπερατός αισθητήρας υπέρυθρων (nondispersive infrared sensor: αισθητήρας NDIR) είναι ένας απλός φασματοσκοπικός αισθητήρας που χρησιμοποιείται συχνά ως ανιχνευτής αερίων (Wikipedia 2021d). Είναι μη διαπερατός με την έννοια της οπτικής διασποράς, αφού η υπέρυθρη ενέργεια αφήνεται να διέλθει μέσω του θαλάμου της ατμοσφαιρικής δειγματοληψίας χωρίς παραμόρφωση.

Μια λυχνία υπέρυθρων (IR) κατευθύνει κύματα φωτός, μέσω ενός σωλήνα γεμάτου με δείγμα αέρα, προς ένα οπτικό φίλτρο μπροστά από έναν ανιχνευτή φωτός IR. Ο ανιχνευτής



<sup>39</sup>Τα παραπάνω αποτελούν συνδυασμό συνοδευτικών κειμένων περιγραφής της συσκευής, που εντοπίστηκαν σε μεταπωλητές της συσκευής που παρατέθηκαν στην προηγούμενη υποσημείωση, και του εγχειριδίου χρήσης.



φωτός IR μετράει την ποσότητα φωτός IR που διέρχεται από το οπτικό φίλτρο. Η λωρίδα των 4,2 μm (μικρομέτρων ή μικρών ή  $10^{-6}$  m) της ακτινοβολίας IR, που παράγεται από τη λάμπα, είναι πολύ κοντά στη ζώνη απορρόφησης CO<sub>2</sub> των 4,26 μm. Επειδή το φάσμα IR του CO<sub>2</sub> είναι μοναδικό, το ταιριαστό μήκος κύματος φωτός χρησιμεύει ως υπογραφή για τον προσδιορισμό του μορίου του CO<sub>2</sub>. Καθώς το φως IR διέρχεται από το μήκος του σωλήνα, τα μόρια αερίου CO<sub>2</sub> απορροφούν τη συγκεκριμένη ζώνη του φωτός IR, ενώ αφήνουν να περάσουν τα άλλα μήκη κύματος φωτός.

Στο άκρο του ανιχνευτή το υπόλοιπο φως φτάνει σε ένα οπτικό φίλτρο, που απορροφά κάθε μήκος κύματος του φωτός, εκτός από το μήκος κύματος 4.2 μm που απορροφάται από μόρια CO<sub>2</sub> στον σωλήνα δειγματοληψίας αέρα. Τέλος, ένας ανιχνευτής υπέρυθρων «διαβάζει» την υπόλοιπη ποσότητα φωτός των 4.2 μm που δεν απορροφήθηκε από τα μόρια του CO<sub>2</sub> ή από το οπτικό φίλτρο. Η διαφορά μεταξύ της ποσότητας φωτός που ακτινοβολείται από τη λυχνία IR και της ποσότητας του φωτός IR που λαμβάνεται από τον ανιχνευτή μετρείται. Δεδομένου ότι η διαφορά είναι το αποτέλεσμα του φωτός που απορροφάται από τα μόρια του CO<sub>2</sub> στον αέρα μέσα στον σωλήνα, είναι ευθέως ανάλογη του αριθμού των μορίων του CO<sub>2</sub> στο σωλήνα δειγματοληψίας αέρα.<sup>40</sup>

## 2.6 Συλλογή δεδομένων

Η καταγραφή των δεδομένων, αναφορικά με τα επίπεδα CO<sub>2</sub> και θερμοκρασίας μέσα στις αίθουσες των τάξεων Ε1 και ΟΛ1, έγινε στο 27<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο Περιστερίου σε μια περίοδο έξι μηνών (από τον Ιανουάριο έως τον Ιούνιο του 2019).

Ένας αισθητήρας (συσκευή καταγραφής) τοποθετήθηκε στην κάθε υπό έρευνα αίθουσα διδασκαλίας (Kane Alert CO<sub>2</sub>) και **κάθε 10 λεπτά** καταγραφόταν, χειροκίνητα από τον ερευνητή, το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, σε ppm, και η θερμοκρασία της αίθουσας του σχολείου, σε °C, κατά τη διάρκεια των μαθημάτων, καθώς και στα διαλείμματα. Σε χρονική αντιστοιχία με τις καταγραφές του αισθητήρα μας, συγκεντρώθηκαν, επιπλέον, μετεωρολογικά δεδομένα (εξωτερική θερμοκρασία, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, βροχή, ατμοσφαιρική πίεση) που επικρατούσαν στο εξωτερικό περιβάλλον της περιοχής που βρίσκεται το σχολείο, τα οποία ανακτήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (από το Μετεωρολογικό Σταθμό Περιστερίου, που απέχει 1,8km από το σχολείο).

### 2.6.α Τοποθέτηση αισθητήρα καταγραφής

Η φορητή συσκευή καταγραφής Kane Alert CO<sub>2</sub> με τον αισθητήρα NDIR τοποθετούνταν στην

<sup>40</sup> Πηγή: <https://www.co2-meter.com/blogs/news/6010192-how-does-an-ndir-co2-sensor-work>

κάθε αίθουσα μόνο όταν ο ερευνητής ήταν παρών στην αίθουσα, μια και ήταν απαραίτητη η συμβολή του στην καταγραφή των ενδείξεων της συσκευής. Σε κάθε αίθουσα, ανάλογα με τη διαρρύθμισή της, η τοποθέτηση του αισθητήρα έγινε σε διαφορετικό μέρος, ώστε να είναι σε σημείο συμβατό με τη διαρρύθμιση του χώρου, την τοποθέτηση του εκπαιδευτικού και των μαθητών, να είναι σχετικά απομακρυσμένος από τους εκάστοτε ανεμιστήρες κάθε είδους, να μην παρενοχλεί τη διδακτική διαδικασία και να διευκολύνει την ίδια την καταγραφή των δεδομένων, που έπρεπε να γίνεται σύντομα, αξιόπιστα και με τη λιγότερη δυνατή διακοπή του μαθήματος (βλ. και (Al-Rashidi et al. 2012 p. 542).

Στην **αίθουσα E1** ο αισθητήρας τοποθετήθηκε στα 180 cm ύψος, πάνω σε εντοιχισμένο ράφι βιβλιοθήκης, στα 220 cm απόσταση από τη θέση του εκπαιδευτικού, στα



**Εικόνα 28:** Η θέση του αισθητήρα στην αίθουσα του E1 (με μοβ) και ενδεικτικά οι αποστάσεις του από τις θέσεις μαθητών και εκπαιδευτικού (κίτρινο).

325 cm περίπου από την κοντινότερη (στον αισθητήρα) θέση μαθητή/τριας και περίπου στα 620 cm από την πιο απομακρυσμένη (στον αισθητήρα) θέση μαθητή/τριας.

Στην **αίθουσα OΛ1** ο αισθητήρας τοποθετήθηκε στα 80 cm ύψος, πάνω στη συμπληρωματική έδρα της τάξης, στα 60 cm περίπου απόσταση από τη θέση του εκπαιδευτικού, στα 80 cm περίπου από την κοντινότερη (στον αισθητήρα) θέση μαθητή/τριας και στα 690 cm περίπου από την πιο απομακρυσμένη (στον αισθητήρα) θέση μαθητή/τριας.

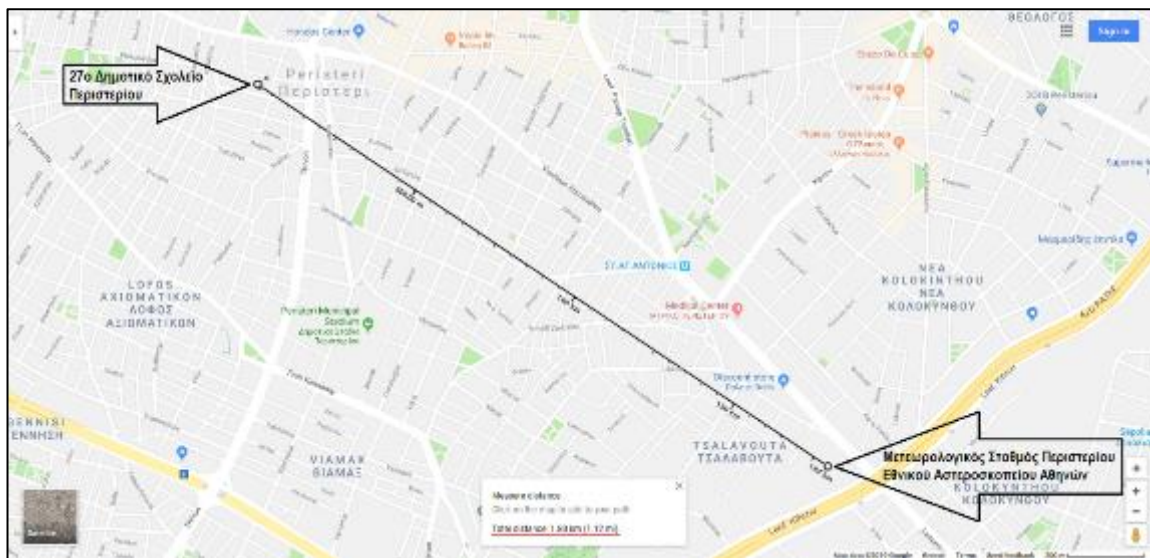


**Εικόνα 29:** Η θέση του αισθητήρα στην αίθουσα του OΛ1 (με μοβ) και ενδεικτικά οι αποστάσεις του από τις θέσεις μαθητών και εκπαιδευτικού (κίτρινο).

## 2.6.β Μετεωρολογικός σταθμός

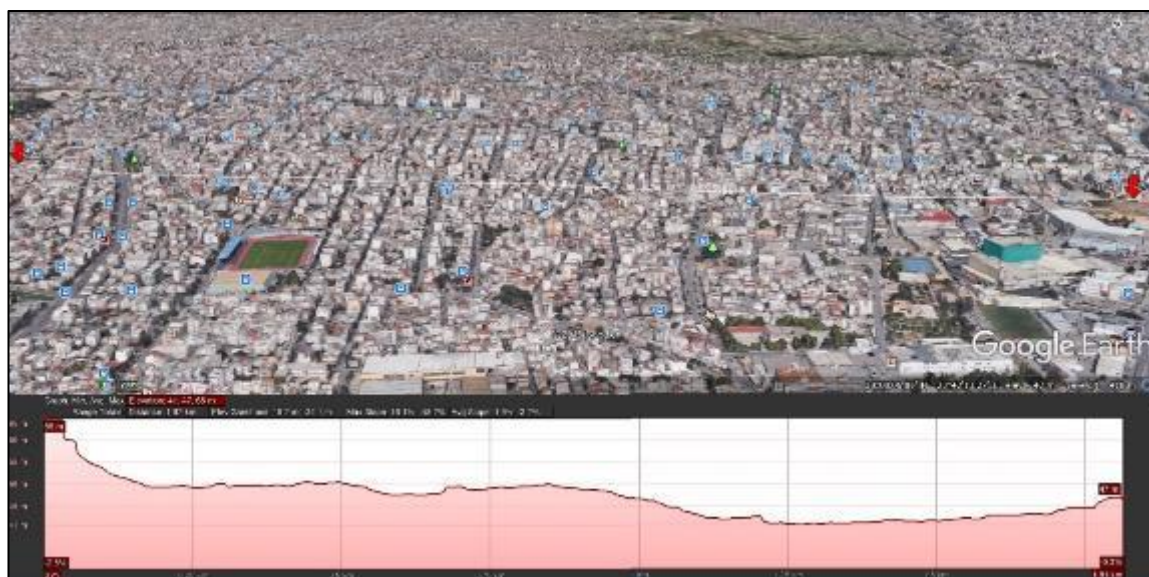
Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνά μας προήλθαν από το μετεωρολογικό σταθμό Περιστερίου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ([www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)).

Αποτελεί ευτύχημα, για την έρευνά μας, το γεγονός ότι ο μετεωρολογικός σταθμός βρίσκεται αρκετά κοντά στο σχολικό κτίριο, στα 1.8 km σε ευθεία γραμμή (πηγή: [Google Maps](https://www.google.com/maps)).



Εικόνα 30: Η απόσταση του σχολικού κτιρίου από το μετεωρολογικό σταθμό Περιστερίου σε ευθεία γραμμή.

Το σχολικό κτίριο κυμαίνεται από τα 65 m (ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας<sup>41</sup>) μέχρι τα 76,5 m (ύψος κτιρίου 11.50 m<sup>42</sup>), ενώ ο μετεωρολογικός σταθμός βρίσκεται στα 55 m (47 m από την επιφάνεια της θάλασσας +8 m επιπλέον το ύψος του κτιρίου στο οποίο βρίσκεται



Εικόνα 31: Η υψομετρική εικόνα (ύψος εδάφους από την επιφάνεια της θάλασσας) της απόστασης των 1.8km από το σχολείο (κόκκινο βέλος στα αριστερά) μέχρι το κτίριο (ΚΥΒΕ) που βρίσκεται ο μετεωρολογικός σταθμός Περιστερίου (κόκκινο βέλος στα δεξιά). Πηγή Google Earth.

<sup>41</sup> Πηγή: Google Earth (βλ. και σχετική εικόνα υψομετρίας της περιοχής).

<sup>42</sup> Πηγή: σχέδια κτιρίου από Αρχείο Σχολείου (βλ. και σχετική εικόνα τομής του σχολείου).




τοποθετημένους, +2 m ή +3 m για κάποια όργανα καταγραφής<sup>43</sup>).

Ο μετεωρολογικός σταθμός του Περιστερίου βρίσκεται σε δημοτικό κτίριο (πρώην ΚΥΒΕ: Κέντρο Υποστήριξης Βιοτεχνικών Επιχειρήσεων) στη διασταύρωση Εθνάρχου Μακαρίου 1 & Κηφισού, τοποθετημένος στην ταράτσα του κτιρίου. Με τα επιστημονικά του όργανα και τους αισθητήρες του καταγράφει συνεχώς και ανά δεκάλεπτο τα εξής δεδομένα: ημερομηνία, ώρα, θερμοκρασία, υγρασία, σημείο δρόσου, ταχύτητα ανέμου, κατεύθυνση ανέμου, ανώτατη ταχύτητα του ανέμου, ατμοσφαιρική πίεση, βροχή και ρυθμό βροχής.



**Εικόνα 32:** Το κτίριο του Δήμου Περιστερίου (ΚΥΒΕ) πάνω στην ταράτσα του οποίου βρίσκεται ο μετεωρολογικός σταθμός. Στη μεγάλη φωτογραφία ο σταθμός δεν είναι ορατός. Στις μικρότερες φωτογραφίες (λήψεις από το πίσω και το πλαϊνό μέρος του κτιρίου) ο σταθμός σημειώνεται με κύκλο.

Τόσο η αρκετά μικρή απόσταση του μετεωρολογικού σταθμού (1.8km) από το σχολείο, όσο και η μικρή, σχετικά, υψομετρική διαφορά του επιπέδου καταγραφής των μετεωρολογικών δεδομένων (55 m ύψος του σταθμού/μηχανημάτων καταγραφής από την επιφάνεια της θάλασσας, +2 m αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρόμετρο, +3 m ανεμόμετρο<sup>44</sup>) από το επίπεδο των τάξεων του σχολείου που έγινε η καταγραφή (65 m για το ΟΛ1 και 72,3 m για το Ε1 από την επιφάνεια της θάλασσας) θεωρούμε ότι είναι ευτυχείς συγκυρίες που μας επέτρεψαν να έχουμε έγκυρα μετεωρολογικά δεδομένα και μετρήσεις πολύ κοντά σε αυτές που θα παίρναμε, αν ο μετεωρολογικός σταθμός ήταν τοποθετημένος στο κτίριο του σχολείου.

	<b>Meteo</b> Όλα για τον καιρό
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΕΟ.GR	
Περιστερί ( LGU0)	
Πληροφορίες σταθμού:	Υψόμετρο 55 m, Θέση: ΚΥΒΕ Περιστερίου, Βρίσκεται σε ταράτσα. Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμόμετρου : 3 m.

**Εικόνα 33:** Περιγραφή της χωροθέτησης του μετεωρολογικού σταθμού Περιστερίου. Πηγή: meteo.gr

Πάντως η χρήση μετεωρολογικών δεδομένων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς κοντά στα σχολεία μελέτης είναι διαδεδομένη πρακτική σε αντίστοιχες έρευνες (πρβλ. π.χ. Al-Rashidi et al. 2012; Griffiths & Eftekhari 2008).

<sup>43</sup> Πηγή: <http://meteosearch.meteo.gr/>, σταθμός: Αττική>Περιστερί

<sup>44</sup> Πηγή: <http://meteosearch.meteo.gr/>, σταθμός: Αττική>Περιστερί (βλ. και εικόνα).

## Μέρος Τρίτο: Αποτελέσματα έρευνας

### 3.1 Σκοπός έρευνας

Η έρευνά μας είναι μια ποσοτική πειραματική μελέτη περίπτωσης (σε επίπεδο τάξεων σχολείου), όπου τα υποκείμενα της έρευνας επιλέχθηκαν με μη τυχαία συμπτωματική δειγματοληψία με τη μέθοδο του διαθέσιμου δείγματος (Παντελής 2003, Παπαγεωργίου 2017, Παρασκευόπουλος 1993).

Σκοπός της είναι να περιγράψει την κατάσταση που επικρατεί σε συγκεκριμένες τάξεις ενός δημοτικού σχολείου, σχετικά με τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στις αίθουσες κατά τη διάρκεια του μαθήματος και να διερευνήσει τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν τη συγκέντρωση του αερίου.

Για να επιτευχθεί αυτό, η συσσώρευση του CO<sub>2</sub> στην τάξη αξιολογήθηκε σε σχέση με τον αριθμό των μαθητών, τους μήνες, τη θερμοκρασία, το μέγεθος της αίθουσας, τον αριθμό των ανοιχτών παραθύρων, το αν η πόρτα της αίθουσας ήταν ανοικτή ή όχι, και συνδυάστηκε με εξωτερικά μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, βροχή) που ανακτήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (από το Μετεωρολογικό Σταθμό Περιστερίου).

### 3.2 Σταθερές

Για το σκοπό της έρευνας συγκεντρώθηκαν και καταγράφηκαν τα παρακάτω στοιχεία (σταθερές) από τις δυο αίθουσες του σχολείου<sup>45</sup>:

- στοιχεία κατασκευής και χωροθέτησης του σχολικού κτιρίου,
- το υψόμετρο κάθε αίθουσας, όπου κάναμε μετρήσεις, από την επιφάνεια της θάλασσας,
- οι διαστάσεις των αιθουσών: πλάτος, μήκος, ύψος, επιφάνεια, όγκος,
- η χωροθέτηση των αιθουσών (ισόγειο η ΟΛ1 και δεύτερος όροφος η Ε1)
- ο εξοπλισμός των αιθουσών,
- αριθμός και επιφάνεια παραθύρων αιθουσών,
- επιφάνεια πόρτας αιθουσών,
- αριθμός και θέση ανεμιστήρων αιθουσών,
- αριθμός και θέση θερμαντικών σωμάτων (καλοριφέρ),

με στόχο να περιγραφεί η κατάσταση που υπάρχει στις αίθουσες, όπου έγιναν οι μετρήσεις μας, αλλά και να καταγραφούν δεδομένα που θα μας βοηθούσαν να ερμηνεύουμε τα ευρήματα των μετρήσεων μας και να καταλήξουμε σε συμπεράσματα.

---

<sup>45</sup> Βλ. Μέρος Δεύτερο: Έρευνα.

### 3.3 Μεταβλητές

Για την πειραματική διερεύνηση των υποθέσεών μας προχωρήσαμε στην μέτρηση και καταγραφή των παρακάτω μεταβλητών για τις δύο σχολικές αίθουσες:

1. ημερομηνία καταγραφής (date σε day/month/year),
2. ώρα καταγραφής δεδομένων ανά δεκάλεπτο (time σε hour: min),
3. αριθμό των μαθητών κάθε τάξης (Ε1 και ΟΛ1) ανά δεκάλεπτο (students/children),
4. επίπεδο CO<sub>2</sub> στην τάξη ανά δεκάλεπτο (CO<sub>2</sub> σε ppm),
5. θερμοκρασία στην τάξη ανά δεκάλεπτο (temp σε °C),
6. αριθμό παραθύρων τάξης που ήταν ανοιχτά ανά φύλλο παραθύρου ανά δεκάλεπτο (windows open),
7. το αν η πόρτα της αίθουσας ήταν ανοιχτή ή όχι ανά δεκάλεπτο (door open),
8. το αν ήταν σε λειτουργία οι σταθεροί ανεμιστήρες της αίθουσας ανά δεκάλεπτο (window fans),
9. το αν ήταν σε λειτουργία ο κινητός ανεμιστήρας της αίθουσας ανά δεκάλεπτο (fan),
10. το αν ήταν σε λειτουργία τα καλοριφέρ του σχολείου ανά δεκάλεπτο (radiators).

Οι παραπάνω μεταβλητές συνδυάστηκαν με μεταβλητές από τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Περιστερίου (Lagouvardos et al. 2017) και συγκεκριμένα τις παρακάτω:

1. ημερομηνία καταγραφής (date σε day/month/year),
2. ώρα καταγραφής δεδομένων ανά δεκάλεπτο (time σε hour: min),
3. εξωτερική θερμοκρασία ανά δεκάλεπτο (temp σε °C),
4. εξωτερική υγρασία ανά δεκάλεπτο (humidity σε %),
5. σημείο δρόσου ανά δεκάλεπτο (dew point σε °C),
6. ταχύτητα ανέμου ανά δεκάλεπτο (wind speed σε km/h),
7. κατεύθυνση ανέμου ανά δεκάλεπτο (wind direction ανά σημεία ορίζοντα),
8. ανώτατη ταχύτητα ανέμου στο δεκάλεπτο (wind high speed σε km/h),
9. ατμοσφαιρική πίεση ανά δεκάλεπτο (at m σε mbar),
10. επίπεδο βροχής ανά δεκάλεπτο (rain σε mm),
11. ρυθμός βροχής ανά δεκάλεπτο (rain rate σε mm/h).

Συνεπώς, πρόκειται για 19 μοναδικές μεταβλητές (μια και ημερομηνία και ώρα υπάρχουν και στα δυο σύνολα δεδομένων και χρησιμοποιήθηκαν για να συνδυαστούν μεταξύ τους).

Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από τις μετρήσεις μας και τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού<sup>46</sup> αντιστοιχήθηκαν, ανά ημερομηνία και ανά δεκάλεπτο της ώρας καταγραφής, ώστε να δημιουργήσουν σειρές από συγχρονικά δεδομένα για περαιτέρω επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων.

---

<sup>46</sup> Ορισμένες από τις μεταβλητές, οι οποίες δεν μπορούσαν να υποστηρίξουν ουσιαστικά συμπεράσματα στο πλαίσιο της έρευνας, όπως πχ. η κατεύθυνση του ανέμου, η ανώτατη ταχύτητα ανέμου που είχε καταγραφεί μέσα στο δεκάλεπτο (δηλαδή η πιο έντονη ριπή ανέμου), το σημείο δρόσου, η ατμοσφαιρική πίεση δεν χρησιμοποιήθηκαν τελικά.

Για να συγκεντρώσουμε αρκετά αναλυτικά δεδομένα κατά τη διάρκεια της σχολικής ημέρας (είτε οι μαθητές είναι μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας, είτε σε διάλειμμα εκτός αίθουσας) κρίθηκε σκόπιμο να γίνονται καταγραφές με όσο το δυνατό μικρότερο χρονικό βήμα, που θα ήταν όμως το λιγότερο διασπαστικό κατά τη διάρκεια των μαθημάτων. Ιδανικότερο βήμα καταγραφής κρίθηκε αυτό του δεκάλεπτου, αφού είναι ιδιαίτερο «πυκνό» για να καταγράψει όλες τις πιθανές αλλαγές στις τιμές, χωρίς να γίνεται ιδιαίτερα φορτικό στον ερευνητή, ο οποίος ταυτόχρονα δίδασκε στη διάρκεια των μετρήσεων. Το μικρότερο βήμα καταγραφής (πχ. πεντάλεπτο) θα ήταν ιδιαίτερα επιβαρυντικό για τη διδακτική διαδικασία, χωρίς να προσφέρει σημαντικά διαφοροποιημένη πληροφόρηση, ενώ μεγαλύτερα βήματα καταγραφής (πχ. τέταρτο, εικοσάλεπτο κλπ.) θεωρήθηκαν ότι δεν θα δώσουν τη βέλτιστη πληροφόρηση. Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι η καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων γίνεται ανά δεκάλεπτο, κρίναμε σκόπιμο να ακολουθήσουμε το ίδιο βήμα καταγραφής για να συνδυαστούν ακριβέστερα τα δεδομένα ώστε να προκύψουν απρόσκοπτα οι σειρές δεδομένων.

**Πίνακας 3:** Χρονικές θέσεις καταγραφής μέσα στη σχολική ημέρα σε h: min. Σενάρια καταγραφής A και B. Με κόκκινο το σενάριο A που επιλέχθηκε τελικά. Με γκριζα σκίαση σημειώνονται τα διαλείμματα.

A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
-	-	9:05	9:10	10:05	10:10	11:05	11:10	12:05	12:10	13:05	13:10	14:05	14:10	15:05	15:10
8:15	-	9:15	9:20	10:15	10:20	11:15	11:20	12:15	12:20	13:15	13:20	14:15	14:20	15:15	15:20
8:25	8:20	9:25	9:30	10:25	10:30	11:25	11:30	12:25	12:30	13:25	13:30	14:25	14:30	15:25	15:30
8:35	8:30	9:35	9:40	10:35	10:40	11:35	11:40	12:35	12:40	13:35	13:40	14:35	14:40	15:35	15:40
8:45	8:40	9:45	9:50	10:45	10:50	11:45	11:50	12:45	12:50	13:45	13:50	14:45	14:50	15:45	15:50
8:55	8:50	9:55	10:00	10:55	11:00	11:55	12:00	12:55	13:00	13:55	14:00	14:55	15:00	15:55	16:00

Εξετάστηκαν, λοιπόν, δυο σενάρια καταγραφής (βλ. πίνακα) που τα ονομάσαμε A και B. Δεδομένου ότι μια πλήρης μέρα καταγραφών περιλαμβάνει 47 χρονικά βήματα δεκάλεπτου και στα δυο σενάρια, καταλήξαμε να επιλέξουμε το σενάριο καταγραφής A για να αρχίζει η καταγραφή αμέσως με την είσοδο των μαθητών στην τάξη (8:15 η πρώτη εγγραφή) για το E1 και για να δίνεται επαρκής χρόνος για τη μετάβαση των μαθητών στην αίθουσα του ολοήμερου μετά την ολοκλήρωση του πρωινού προγράμματος (13:25 η πρώτη εγγραφή) στο OΛ1.

### 3.4 Στατιστικά καταγραφής

Τα δεδομένα της ερευνάς μας έχουν συγκεντρωθεί σε μια χρονική περίοδο έξι μηνών (από Ιανουάριο έως Ιούνιο 2019). Σε αυτό το διάστημα έγιναν μετρήσεις σε 37 ημέρες για την τάξη E1 και σε 25 ημέρες για την τάξη OΛ1, ενώ οι συνολικές σειρές δεδομένων από τις μετρήσεις αυτές ανέρχονται σε 860 (558 για την τάξη E1 και 302 για την τάξη OΛ1) και περιλαμβάνουν 16.340 μετρήσεις τιμών, που αφορούν 19 μεταβλητές.

Οι τιμές του επιπέδου του CO<sub>2</sub> από την κάθε αίθουσα/τάξη του σχολείου συσχετίστηκαν με τον αριθμό των μαθητών, με τις τιμές κατά τη διάρκεια μαθημάτων και διαλειμμάτων, με τις ώρες της ημέρας, με το μήνα, με την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία, με το όταν είναι αναμμένα τα καλοριφέρ, με το όταν είναι ανοιγμένα τα παράθυρα, με το όταν είναι ανοιγμένη η πόρτα, με το όταν λειτουργούν οι ανεμιστήρες, με την υγρασία, με τον άνεμο, με τη βροχή και την ατμοσφαιρική πίεση.

Συνολικά έγιναν 22 συγκρίσεις (12 για το Ε1 και 10 για το ΟΛ1<sup>47</sup>) για να διερευνηθούν πιθανοί παράγοντες που επηρεάζουν το επίπεδο του CO<sub>2</sub> μέσα στις αίθουσες του συγκεκριμένου δημοτικού σχολείου από όπου προέρχονται τα δεδομένα μας και να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα που παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο.

### 3.5 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που προσπαθούμε να διερευνήσουμε και να απαντήσουμε στη συγκριμένη έρευνα είναι, αναλυτικά, τα παρακάτω.

#### - Για την αίθουσα Ε1

- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με τον αριθμό των μαθητών;
- υπάρχουν διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα, όταν γίνεται μάθημα, με το CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα, όταν γίνεται διάλειμμα;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την ώρα;
- υπάρχουν διαφορές μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα ανά μήνα;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την εσωτερική θερμοκρασία (εντός αίθουσας);
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την εξωτερική θερμοκρασία (εκτός κτιρίου);
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν λειτουργούν τα καλοριφέρ;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν τα παράθυρα είναι κλειστά ή ανοιχτά;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν η πόρτα είναι κλειστή ή ανοιχτή;

---

<sup>47</sup> Μια και το ΟΛ1 δεν είχε ποτέ καλοριφέρ σε λειτουργία τις ώρες των μετρήσεων μας (13.20-16.00) και δεν υπάρχουν ανεμιστήρες τοίχου πάνω από τα παράθυρα.



- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν λειτουργούν οι ανεμιστήρες τοίχου πάνω από τα παράθυρα;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την εξωτερική υγρασία (εκτός κτιρίου) και την ταχύτητα του ανέμου (εκτός κτιρίου);
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με τη βροχή και την ένταση της βροχόπτωσης;

#### - Για την αίθουσα ΟΛ1

- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με τον αριθμό των μαθητών;
- υπάρχουν διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα, όταν γίνεται μάθημα, με το CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα, όταν γίνεται διάλειμμα;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την ώρα;
- υπάρχουν διαφορές μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα ανά μήνα;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την εσωτερική θερμοκρασία (εντός αίθουσας);
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την εξωτερική θερμοκρασία (εκτός κτιρίου);
- ~~υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν λειτουργούν τα καλοριφέρ;<sup>48</sup>~~
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν τα παράθυρα είναι κλειστά ή ανοιχτά;
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν η πόρτα είναι κλειστή ή ανοιχτή;
- ~~υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με το αν λειτουργούν οι ανεμιστήρες τοίχου πάνω από τα παράθυρα;<sup>49</sup>~~
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με την εξωτερική υγρασία (εκτός κτιρίου) και την ταχύτητα του ανέμου (εκτός κτιρίου);
- υπάρχει σχέση μεταξύ CO<sub>2</sub> που καταγράψαμε στην αίθουσα με τη βροχή και την ένταση της βροχόπτωσης;

<sup>48</sup> Αυτή είναι μια μεταβλητή που δεν κατέστη δυνατό να διερευνήσουμε, δεδομένου ότι τα καλοριφέρ δεν λειτουργούν ποτέ κατά τη διάρκεια του ολόημερου προγράμματος.

<sup>49</sup> Αυτή είναι μια μεταβλητή που δεν κατέστη δυνατό να διερευνήσουμε, δεδομένου ότι η αίθουσα ΟΛ1 δεν έχει ανεμιστήρες τοίχου πάνω από τα παράθυρα.

### 3.6 Αποτελέσματα<sup>50</sup> του τμήματος Ε1

#### 3.6.α Σχέση CO<sub>2</sub> και αριθμού μαθητών (Ε1)

Για να διερευνήσουμε τη συσχέτιση του αριθμού μαθητών/μαθητριών (N) του Ε1 και του επιπέδου CO<sub>2</sub> (ppm) μέσα στην αίθουσα αρχικά αφαιρέσαμε (στη συγκεκριμένη περίπτωση) τις σειρές δεδομένων με τιμές μαθητών N=0 (μαθητές εκτός τάξης στα διαλείμματα<sup>51</sup>) και διατηρήσαμε τις υπόλοιπες σειρές, δηλαδή όσες τιμές των μαθητών είναι N≠0.

Επιλέγουμε το μη παραμετρικό κριτήριο ανάλυσης Spearman, γιατί υπάρχει μη ομαλή κατανομή δεδομένων στη μια μας μεταβλητή, έχουμε δηλαδή πολλές ίδιες τιμές, μια και αφορούν τμήμα μαθητών, που ο αριθμός τους είναι συγκεκριμένος και δεν επιδέχεται πολλές διαφοροποιήσεις.<sup>52</sup>

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** η συσχέτιση των τιμών μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών ισούται με το μηδέν ( $r_s=0$ ).

**H<sub>1</sub>:** η συσχέτιση των τιμών μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών δεν ισούται με το μηδέν ( $r_s \neq 0$  ή  $r_s < 0$  ή  $r_s > 0$ ).

Πίνακας 4: CO <sub>2</sub> αριθμός μαθητών (Ε1)		CO <sub>2</sub> (ppm)	Μαθητές (Number)
Spearman's rho	CO <sub>2</sub> (ppm)	Correlation Coefficient	1,000
		Sig. (2-tailed)	,213**
		N	463
Students (Number)	Students (Number)	Correlation Coefficient	1,000
		Sig. (2-tailed)	,213**
		N	463

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Για να ελέγξουμε αν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman και βρήκαμε ότι  $r_s(461) = ,21$ ;  $p < ,001$ . **Από αυτό συμπεραίνουμε ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική.** Η συσχέτιση βρέθηκε να είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι όσο αυξάνονται οι μαθητές τόσο αυξάνεται και το CO<sub>2</sub>, αν και η συσχέτιση βρέθηκε να είναι αρκετά αδύναμη.

#### 3.6.β Σχέση CO<sub>2</sub> και μαθήματος ή διαλείμματος (Ε1)

Λόγω της αδύναμης αυτής συσχέτισης που εντοπίσαμε, κρίναμε ότι έπρεπε να διερευνήσουμε περισσότερο τη σχέση του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών και μαθητριών. Έτσι, προχωρήσαμε σε σύγκριση των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub> όταν γίνεται μάθημα, καθώς και των

<sup>50</sup> Για την ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων έχει χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη βιβλιογραφία: (MacRae 1998, 1999 - Παναγιωτακόπουλος & Σαρρής 2015 - Παντελής 1994 - Παπαγεωργίου 2017)

<sup>51</sup> Αφού δεν υπάρχουν μαθητές μέσα στην τάξη στα διαλείμματα, δεν έχει νόημα να ελεγχθεί η επίδρασή τους στα επίπεδα του CO<sub>2</sub>.

<sup>52</sup> Μόνο σε περίπτωση απουσιών των μαθητών ή «φιλοξενίας» αλλάζει ο αριθμός τους και τότε οριακά και μόνο.

μέσων τιμών του CO<sub>2</sub> όταν γίνεται διάλειμμα, για να διαπιστώσουμε πόσο διαφέρουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> όταν υπάρχουν (CO<sub>2</sub> με N≠0) και όταν δεν υπάρχουν (CO<sub>2</sub> με N=0) μαθητές και μαθήτριες μέσα στην αίθουσα. Το κριτήριο t είναι το πλέον κατάλληλο για τη σύγκριση των μέσων όρων των ομάδων δεδομένων που αναφέραμε, αφού ελέγχει το αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους μέσους όρους των υπό εξέταση ομάδων.

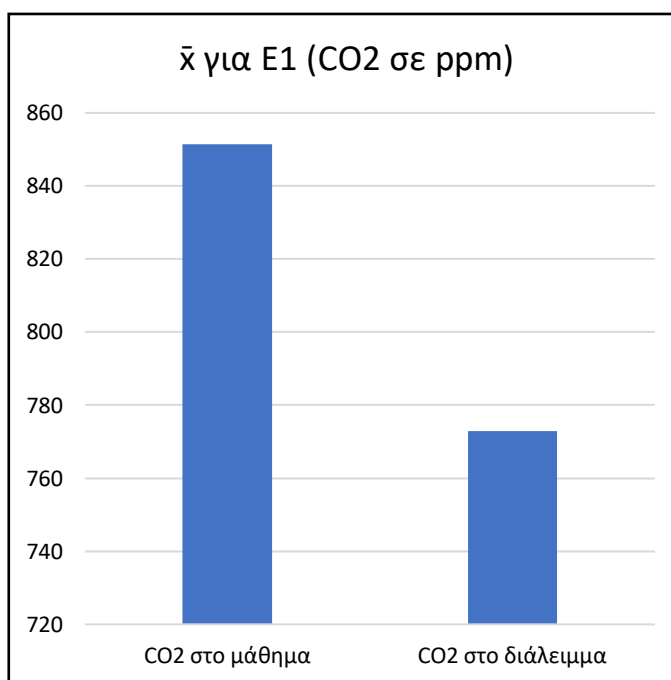
#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στο μάθημα (N μαθητών ≠0) και του CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (N μαθητών = 0).

**H<sub>1</sub>:** υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στο μάθημα (N μαθητών ≠0) και του CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (N μαθητών = 0).

Πίνακας 5: CO <sub>2</sub> σε μάθημα και διάλειμμα (E1)	$\bar{x}$	s	t	df	p
<b>t-test</b>			<b>2,094</b>	<b>556</b>	<b>0,037</b>
CO <sub>2</sub> στο μάθημα	851,42	329,487			
CO <sub>2</sub> στο διάλειμμα	772,90	356,613			

Από τη σύγκριση του CO<sub>2</sub> στο μάθημα (N μαθητών ≠0) και του CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (N μαθητών =0) με τη χρήση του κριτηρίου t για δυο ανεξάρτητα δείγματα προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων με  $t(556)=2,09$ , για σημαντικότητα  $p<,05$ . Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των δυο ανεξάρτητων δειγμάτων διαφέρουν σημαντικά με το CO<sub>2</sub> στο μάθημα να είναι σημαντικά υψηλότερο



από το CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (δες και διπλανό γράφημα). Ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> στο μάθημα ήταν  $\bar{x}=851,42$  και η τυπική απόκλιση  $s=329,48$ , ενώ ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα ήταν  $\bar{x}=772,90$  και η τυπική απόκλιση  $s=356,613$ .

Με βάση την παραπάνω ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική, δηλαδή ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του CO<sub>2</sub> που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια των μαθημάτων και αυτού που μετρήθηκε στα διαλείμματα.

### 3.6.γ Σχέση CO<sub>2</sub> και ώρας (E1)

Δεδομένου ότι το CO<sub>2</sub> συσσωρεύεται μέσα στις αίθουσες του σχολείου όση περισσότερη ώρα

οι μαθητές και οι μαθήτριες βρίσκονται μέσα σε αυτές, είναι απαραίτητο, νομίζουμε, να διερευνήσουμε το πώς εξελίσσεται η αύξησή του επιπέδου του CO<sub>2</sub> με το πέρασμα της ώρας και αν υπάρχει σχέση ανάμεσα σε αυτές τις δυο μεταβλητές.

Για να εξετάσουμε τη σχέση αυτή κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται, αυξάνονται ή μειώνονται και οι τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μεταβλητής του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της ώρας.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μεταβλητής του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της ώρας.

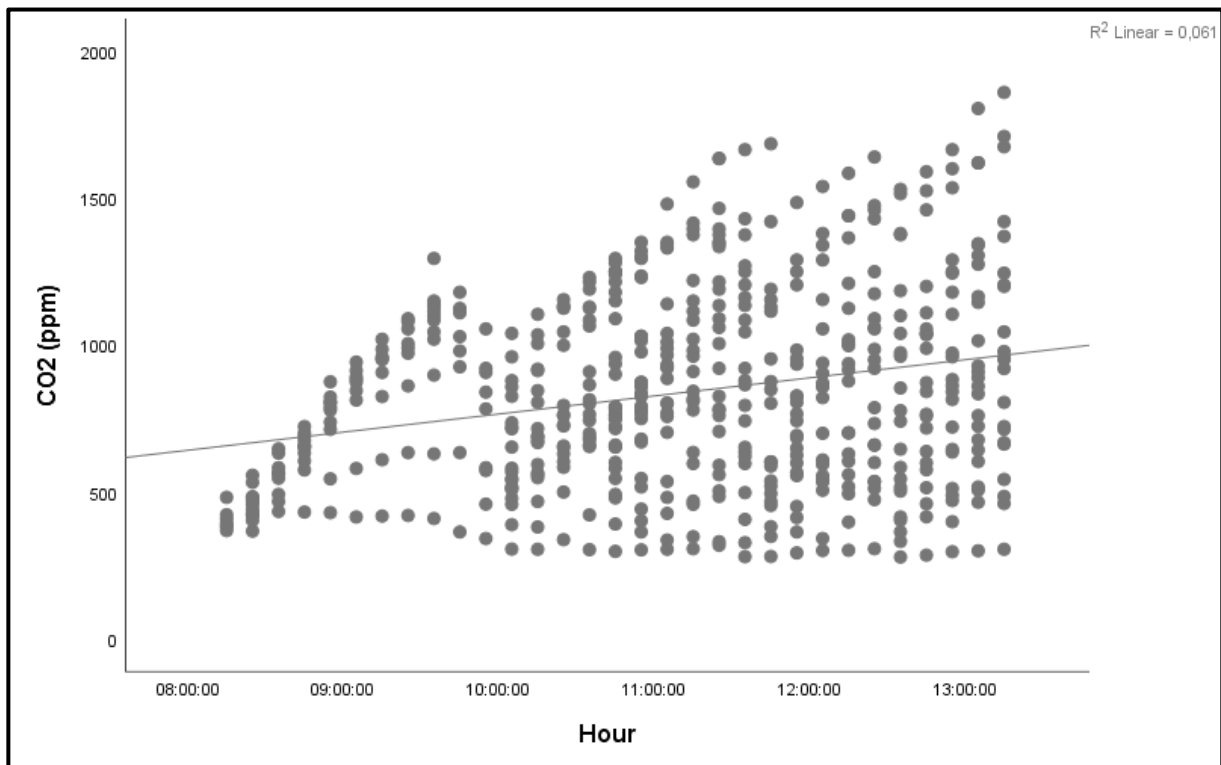
Πίνακας 6: CO <sub>2</sub> και ώρα (E1)		CO <sub>2</sub>	Hour
CO <sub>2</sub>	Pearson Correlation	1	,247**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	558	558
Hour	Pearson Correlation	,247**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	558	558

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και ώρας, προέκυψε  $r=,247$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο περνάει η ώρα («μεγαλώνει» η ώρα), μεγαλώνει και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $0,1 < r < 0,3$ ).

Από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και ώρας φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει θετική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,061$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίξουμε ότι το 6,1% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της ώρας, με την έννοια ότι όσο περισσότερη ώρα δώσουμε στους χρήστες της αίθουσας για να τη χρησιμοποιήσουν τόσο περισσότερο CO<sub>2</sub> θα συνεισφέρουν στο χώρο.

**Η ανάλυση, συνεπώς, του στατιστικού κριτηρίου Pearson μας δείχνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση CO<sub>2</sub> και ώρας και μάλιστα θετική (όσο αυξάνονται οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνονται και της άλλης).**



Εικόνα 34: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και ώρας (αίθουσα E1)

### 3.6.δ Σχέση CO<sub>2</sub> και μήνα (E1)

Θεωρήσαμε ότι θα ήταν εξίσου απαραίτητο να διερευνηθεί και η πιθανή σχέση του CO<sub>2</sub> με τον καθένα από τους έξι ημερολογιακούς μήνες, στους οποίους συγκεντρώθηκαν μετρήσεις, για να εξεταστεί αν υπάρχουν διαφορές στη συσσώρευση του CO<sub>2</sub> ανά μήνα, αφού οι κλιματολογικές συνθήκες, που συνδέονται με τον κάθε μήνα, επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες μέσα στην αίθουσα, δεδομένου ότι καθορίζουν μια σειρά από αποφάσεις των χρηστών της κάθε αίθουσας (π.χ. αν θα λειτουργήσει το καλοριφέρ, αν θα ανοιχθούν παράθυρα, αν θα χρησιμοποιηθεί ο ανεμιστήρας κλπ.).

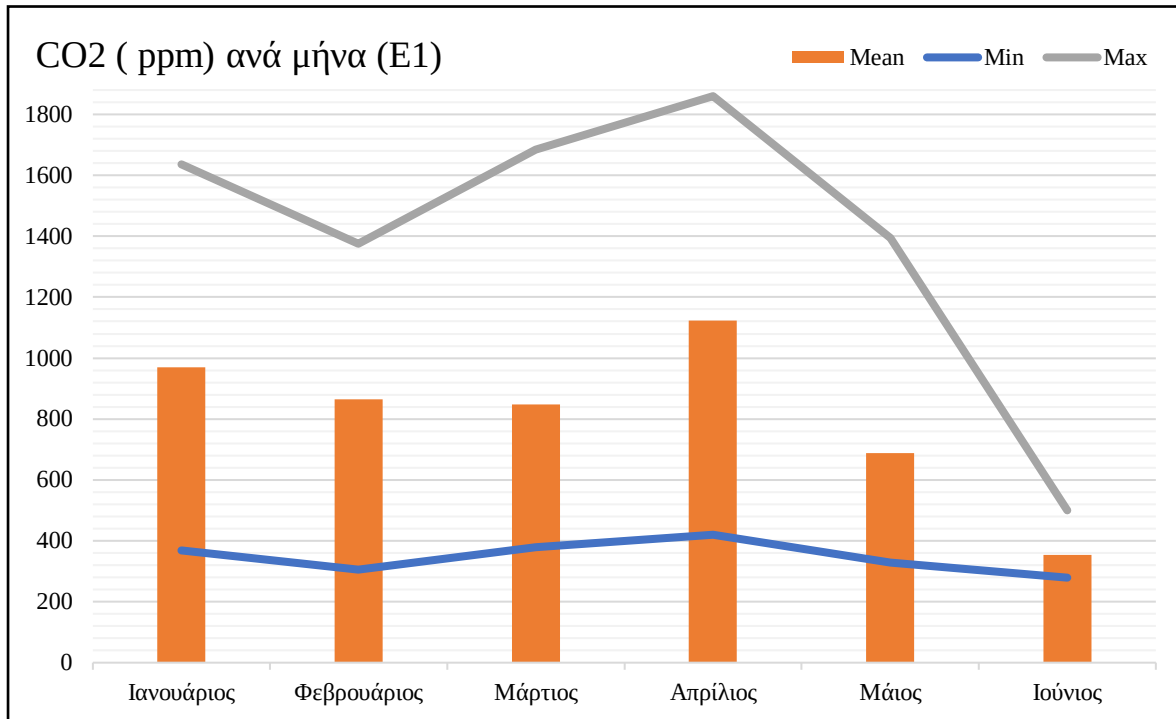
#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν ανά μήνα.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν ανά μήνα σε τουλάχιστον μία μέση τιμή.

Πίνακας 7: Τιμές CO <sub>2</sub> ανά μήνα (E1)						
CO <sub>2</sub> (ppm)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Mini mu m	Maxi mu m
Ιανουάριος	18	969,22	334,406	78,820	369	1635
Φεβρουάριος	67	864,60	264,541	32,319	305	1375
Μάρτιος	158	848,08	280,659	22,328	380	1685
Απρίλιος	124	1123,21	301,251	27,053	420	1860
Μάιος	154	687,18	252,898	20,379	328	1395
Ιούνιος	37	353,57	61,792	10,159	279	500
Total	558	837,91	335,292	14,194	279	1860

Από το παρακάτω γράφημα και τον παραπάνω πίνακα είναι εμφανές ότι ο μέσος όρος των τιμών του CO<sub>2</sub> διαφέρει από μήνα σε μήνα. Τα δεδομένα από τις συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> ανά μήνα (Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος, Ιούνιος) αναλύθηκαν με τη χρήση της απλής ανάλυσης της διακύμανσης με ένα παράγοντα (one-way ANOVA) μεταξύ των ομάδων.



Εικόνα 35 Μέσοι όροι τιμών CO<sub>2</sub> ανά μήνα (αίθουσα E1)

**Πίνακας 8:** Τιμές CO<sub>2</sub> ανά μήνα (E1) - ANOVA

CO <sub>2</sub> (ppm)	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22646296,814	5	4529259,363	<b>62,547</b>	,000
Within Groups	39972155,057	552	72413,324		
Total	62618451,871	557			

Η απλή ανάλυση της διακύμανσης (one-way ANOVA) έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «Μήνας»:  $F(5,552) = 62,55$ ;  $p < ,001$  στο επίπεδο συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> μέσα στη σχολική αίθουσα.

**Πίνακας 9:** Ομαδοποιημένες μέσες τιμές CO<sub>2</sub> ανά μήνα (E1) - Tukey HSD

Tukey HSD <sup>a,b</sup> :		Subset for alpha = 0.05			
CO <sub>2</sub> (ppm)	N	1	2	3	4
Ιούνιος	37	353,57			
Μάιος	154		687,18		
Μάρτιος	158			848,08	
Φεβρουάριος	67			864,60	
Ιανουάριος	18			969,22	
Απρίλιος	124				1123,21
Sig.		1,000	1,000	,210	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 50,678.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Επιμέρους συγκρίσεις των αποτελεσμάτων με τον έλεγχο Tukey HSD έδειξαν διαφορές μεταξύ των μηνών μεταξύ τους και την κατηγοριοποίησή τους σε 4 ομάδες διαφορών μεταξύ τους (βλ. πίνακα 7). Στην πρώτη ομάδα με το χαμηλότερο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται μόνο ο Ιούνιος, στη δεύτερη ομάδα με το χαμηλό μεσαίο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται μόνο ο Μάιος, στην τρίτη ομάδα με το υψηλό μεσαίο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκονται ο Μάρτιος, ο Φεβρουάριος και ο Ιανουάριος, ενώ στην τελευταία ομάδα με το υψηλότερο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται μόνο ο Απρίλιος. Κάθε ομάδα διαφέρει σημαντικά από την επόμενη της με το CO<sub>2</sub> να είναι σημαντικά υψηλότερο από την προηγούμενη ομάδα ( $p < 0,05$ ).

Τα αναλυτικά αποτελέσματα των συγκρίσεων των διαφορών μεταξύ των μηνών ανά ζεύγη παρουσιάζονται στον πίνακα 8 (επόμενη σελίδα), όπου δίνεται και η στατιστική σημαντικότητα ανά ζεύγος σύγκρισης (22 από τα 30 ζεύγη συγκρίσεων στατιστικά σημαντικά με  $p = 0,00 < 0,05$ ).

**Πίνακας 10:** Διαφορές τιμών CO<sub>2</sub> - συγκρίσεις ανά μήνα (E1) - Tukey HSD  
**Dependent Variable: CO2 (ppm)**  
**Tukey HSD**

(I) Μήνες	(J) Μήνες	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Ιανουάριος	Φεβρουάριος	104,625	71,441	,687	-99,68	308,93
	Μάρτιος	121,140	66,942	,460	-70,30	312,58
	Απρίλιος	-153,987	67,874	,209	-348,09	40,12
	Μάιος	282,047*	67,031	,000	90,35	473,74
	Ιούνιος	615,655*	77,331	,000	394,51	836,80
Φεβρουάριος	Ιανουάριος	-104,625	71,441	,687	-308,93	99,68
	Μάρτιος	16,515	39,231	,998	-95,68	128,71
	Απρίλιος	-258,613*	40,802	,000	-375,30	-141,93
	Μάιος	177,422*	39,383	,000	64,80	290,05
	Ιούνιος	511,029*	55,117	,000	353,41	668,65
Μάρτιος	Ιανουάριος	-121,140	66,942	,460	-312,58	70,30
	Φεβρουάριος	-16,515	39,231	,998	-128,71	95,68
	Απρίλιος	-275,127*	32,285	,000	-367,45	-182,80
	Μάιος	160,907*	30,472	,000	73,77	248,05
	Ιούνιος	494,515*	49,147	,000	353,97	635,06
Απρίλιος	Ιανουάριος	153,987	67,874	,209	-40,12	348,09
	Φεβρουάριος	258,613*	40,802	,000	141,93	375,30
	Μάρτιος	275,127*	32,285	,000	182,80	367,45
	Μάιος	436,034*	32,468	,000	343,18	528,89
	Ιούνιος	769,642*	50,409	,000	625,48	913,80
Μάιος	Ιανουάριος	-282,047*	67,031	,000	-473,74	-90,35
	Φεβρουάριος	-177,422*	39,383	,000	-290,05	-64,80
	Μάρτιος	-160,907*	30,472	,000	-248,05	-73,77
	Απρίλιος	-436,034*	32,468	,000	-528,89	-343,18
	Ιούνιος	333,608*	49,268	,000	192,71	474,50
Ιούνιος	Ιανουάριος	-615,655*	77,331	,000	-836,80	-394,51
	Φεβρουάριος	-511,029*	55,117	,000	-668,65	-353,41
	Μάρτιος	-494,515*	49,147	,000	-635,06	-353,97
	Απρίλιος	-769,642*	50,409	,000	-913,80	-625,48
	Μάιος	-333,608*	49,268	,000	-474,50	-192,71

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



Από την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική, ότι, δηλαδή, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν ανά μήνα και μάλιστα μεταξύ και των 4 ομάδων μηνών που σχηματίστηκαν.

### 3.6.ε Σχέση CO<sub>2</sub> με εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (E1)

Το CO<sub>2</sub> είναι αέριο και όπως όλα τα αέρια επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Θα ήταν, λοιπόν, ουσιαστική παράλειψη να μην εξετάσουμε τη σχέση του αερίου της έρευνας τόσο με την εσωτερική θερμοκρασία (μέσα στην τάξη) όσο και με την εξωτερική θερμοκρασία (θερμοκρασία έξω από το κτίριο).

Για να εξετάσουμε τις σχέσεις αυτές κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται, αυξάνονται ή μειώνονται και οι τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (εσωτερική θερμοκρασία)

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εσωτερικής θερμοκρασίας.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εσωτερικής θερμοκρασίας.

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (εξωτερική θερμοκρασία)

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής θερμοκρασίας.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Πίνακας 11: CO <sub>2</sub> και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (E1)		CO <sub>2</sub>	Temperature Inside	Temperature Outside
CO <sub>2</sub>	Pearson Correlation	1	-,449**	-,393**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000
	N	558	558	558
Temperature Inside	Pearson Correlation	-,449**	1	,913**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000
	N	558	558	558
Temperature Outside	Pearson Correlation	-,393**	,913**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	
	N	558	558	558

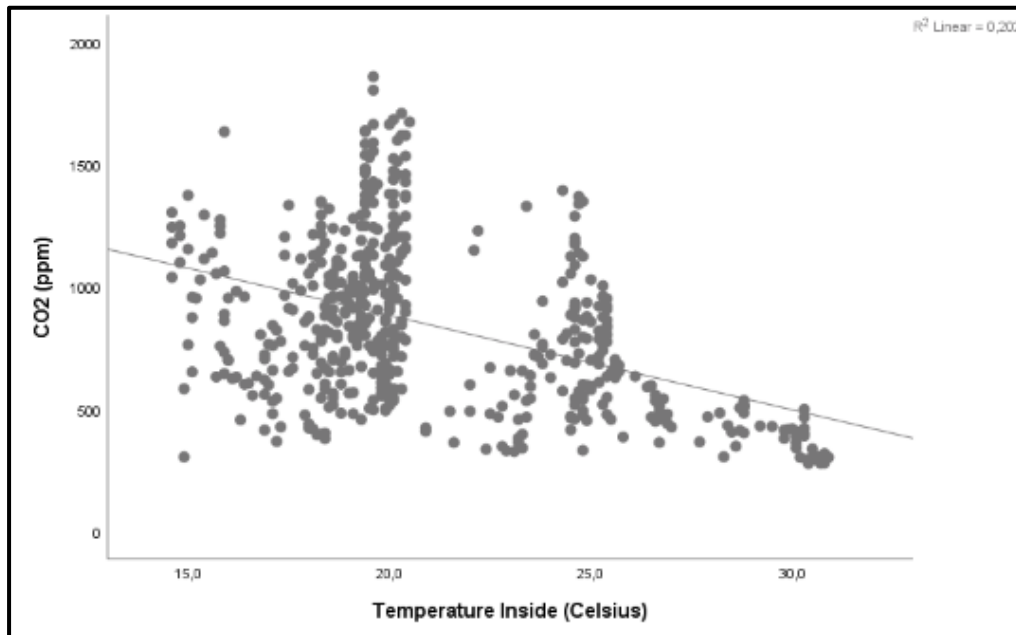
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, για τη σχέση του CO<sub>2</sub> και εσωτερικής θερμοκρασίας (μέσα στην τάξη), προέκυψε  $r=-,449$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μέσα στην τάξη, μειώνεται το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται μέτριο ( $-0,4<r<-0,5$ ).



Ενώ και ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, προς τη σχέση του **CO<sub>2</sub> και εξωτερικής θερμοκρασίας** (έξω από το κτίριο), προέκυψε  $r=-,393$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία έξω από το κτίριο, μειώνεται το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $-0,1<r<-0,3$ ).

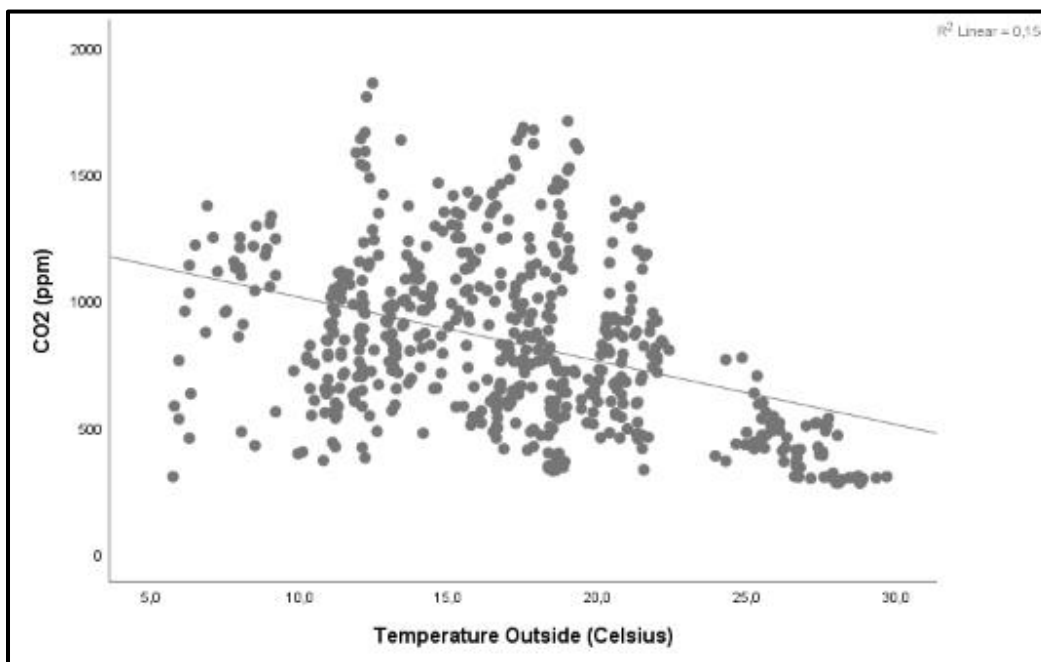
Ας σημειωθεί εδώ, με την ευκαιρία, για λόγους εσωτερικής λογικής επιβεβαίωσης της επεξεργασίας μας, και η σχέση μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας, όπως υπολογίστηκε από τη στατιστική ανάλυση. Προέκυψε, λοιπόν,  $r=,913$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο πιο υψηλή βρίσκεται να είναι η θερμοκρασία έξω από το κτίριο τόσο πιο υψηλή βρίσκεται να είναι και μέσα στο κτίριο, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται πολύ υψηλό ( $r>0,8$ ).



Εικόνα 36 Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και εσωτερικής θερμοκρασίας (εντός αίθουσας E1)

Από το παραπάνω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **εσωτερικής** θερμοκρασίας φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει αρνητική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,202$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίξουμε ότι το 20,2% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **εξωτερικής** θερμοκρασίας φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει αρνητική κλίση, ενώ τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,154$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίξουμε ότι το 15,4% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας.



Εικόνα 37: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και εξωτερικής θερμοκρασίας (εκτός σχολείου)

Από την ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου Pearson προκύπτει ότι απορρίπτονται και οι δυο μηδενικές υποθέσεις και ισχύουν οι εναλλακτικές, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση και μάλιστα αντίστροφη (δηλαδή οι τιμές κινούνται αντίθετα) τόσο του CO<sub>2</sub> και της εσωτερικής θερμοκρασίας, όσο και του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής θερμοκρασίας.

### 3.6.στ Σχέση CO<sub>2</sub> και λειτουργίας καλοριφέρ (E1)

Αφού το CO<sub>2</sub> είναι αέριο, επηρεάζεται η συγκέντρωσή του από τη θερμοκρασία, όπως είδαμε και από την προηγούμενη ανάλυση. Η εσωτερική θερμοκρασία των σχολικών αιθουσών επηρεάζεται αναντίρρητα από την εξωτερική θερμοκρασία, με αποτέλεσμα η πρώτη να κορυφώνεται τη θερμή περίοδο και να σημειώνει τις χαμηλότερες τιμές της κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Δεδομένου ότι οι ακραίες τιμές επηρεάζουν τη θερμική άνεση των χρηστών του χώρου γίνεται προσπάθεια να αυξηθούν οι χαμηλές τιμές κατά την ψυχρή περίοδο με τη χρήση κεντρικής θέρμανσης (καλοριφέρ).

Αποτελεί λογικό επακόλουθο, λοιπόν, το να συγκρίνουμε τις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub>, όταν λειτουργούν τα καλοριφέρ, καθώς και τις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> όταν δεν λειτουργούν τα καλοριφέρ, για να διαπιστώσουμε πόσο διαφέρουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> όταν λειτουργεί (radiators on) ή δεν λειτουργεί (radiators off) η κεντρική θέρμανση του σχολικού κτιρίου. Το κριτήριο t είναι το πλέον κατάλληλο για τη σύγκριση των μέσων όρων των ομάδων δεδομένων που αναφέραμε, αφού ελέγχει το αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους μέσους όρους των υπό εξέταση ομάδων.

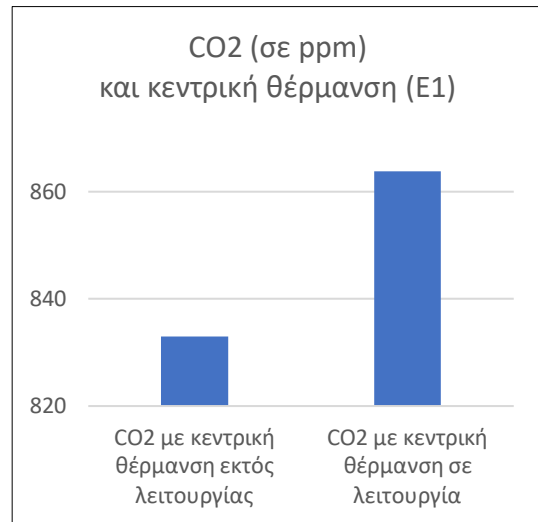
### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση εκτός λειτουργίας (radiators off) και του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση σε λειτουργία (radiators on).

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση εκτός λειτουργίας (radiators off) και του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση σε λειτουργία (radiators on).

Πίνακας 12: CO <sub>2</sub> και κεντρική θέρμανση (E1)	$\bar{x}$	s	t	df	p
t-test			<b>-,967</b>	155,007	<b>,335</b>
CO <sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση εκτός λειτουργίας	833,00	347,867			
CO <sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση σε λειτουργία	863,80	259,245			

Από τη σύγκριση του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση εκτός λειτουργίας (radiators off) και του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση σε λειτουργία (radiators on) με τη χρήση του κριτηρίου t για δυο ανεξάρτητα δείγματα προέκυψε ότι **δεν** υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων, με  $t(155,007) = -,967$ , για σημαντικότητα  $p = ,335$  (δηλ.  $p > ,05$ ). Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των δυο ανεξάρτητων δειγμάτων δεν



διαφέρουν σημαντικά. Συγκεκριμένα, το CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση εκτός λειτουργίας και το CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση σε λειτουργία έχουν μικρή διαφορά (δες και σχετικό γράφημα). Ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση εκτός λειτουργίας ήταν  $\bar{x} = 833,00$  και η τυπική απόκλιση  $s = 347,867$ , ενώ ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση σε λειτουργία ήταν  $\bar{x} = 863,80$  και η τυπική απόκλιση  $s = 259,245$ .

**Με βάση την παραπάνω ανάλυση απορρίπτεται η εναλλακτική υπόθεση και ισχύει η μηδενική**, δηλαδή ότι **δεν** υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση εκτός λειτουργίας (radiators off) και του CO<sub>2</sub> με κεντρική θέρμανση σε λειτουργία (radiators on).

### 3.6.ζ Σχέση CO<sub>2</sub> και παραθύρων (E1)

Η πιο διαδεδομένη πρακτική ελέγχου της εσωτερικής ατμόσφαιρας των σχολικών αιθουσών είναι ο φυσικός αερισμός μέσω της πρακτικής του ανοίγματος των παραθύρων της αίθουσας, αφού δεν υφίσταται τεχνητό σύστημα (εξ)αερισμού στο συγκεκριμένο σχολείο. Είναι απαραίτητο, συνεπώς, να διερευνηθεί πώς αυτή η πρακτική επηρεάζει τη συσσώρευση του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα.

Η αίθουσα E1 έχει 4 ισομεγέθη συρόμενα επάλληλα παράθυρα με σχετικά μικρό

άνοιγμα φύλλου του κάθε παραθύρου (βλ. περισσότερα στην ενότητα 2.4.α) χαρακτηριστικό που οδηγεί τους χρήστες της αίθουσας είτε να ανοίγουν εντελώς το κάθε φύλλο ή να το κλείνουν εντελώς. Στην καταγραφή των θέσεων των παραθύρων σημειωνόταν πόσα φύλλα από τα παράθυρα ήταν ανοιχτά (0, 1, 2, 3, 4) για να διαπιστωθεί πως επηρεάζεται το επίπεδο της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα.

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν σε σχέση με τη θέση (ανοιχτά ή κλειστά) των παραθύρων.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν σε σχέση με τη θέση (ανοιχτά ή κλειστά) των παραθύρων σε τουλάχιστον μία μέση τιμή.

**Πίνακας 13:** Τιμές CO<sub>2</sub> και θέση παραθύρων (E1)

CO <sub>2</sub> (ppm)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Mini mu m	Maxi mu m
Κλειστά	219	1037,55	323,685	21,873	305	1860
Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	241	737,82	305,037	19,649	279	1710
Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	98	637,93	156,787	15,838	293	1275
Total	558	837,91	335,292	14,194	279	1860

Από τον προηγούμενο πίνακα είναι εμφανές ότι ο μέσος όρος των τιμών του CO<sub>2</sub> διαφέρει ανάλογα με το αν τα παράθυρα είναι ανοιχτά ή όχι, καθώς και σε σχέση με τα πόσα παράθυρα είναι ανοιχτά. Τα δεδομένα από τις συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> με κλειστά παράθυρα, με 1 ή 2 φύλλα ανοιχτά και με 3 ή 4 φύλλα ανοιχτά (ομαδοποιημένα) αναλύθηκαν με τη χρήση της απλής ανάλυσης της διακύμανσης με ένα παράγοντα (one-way ANOVA) μεταξύ των ομάδων.

**Πίνακας 14:** Τιμές CO<sub>2</sub> και παράθυρα (E1) - ANOVA

CO <sub>2</sub> (ppm)	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15062247,897	2	7531123,949	87,891	<b>,000</b>
Within Groups	47556203,974	555	85686,854		
Total	62618451,871	557			

Η απλή ανάλυση της διακύμανσης (one-way ANOVA) έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση των παραθύρων:  $F(2,555) = 87,891$ ;  $p < ,001$  στο επίπεδο συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> μέσα στη σχολική αίθουσα.

**Πίνακας 15:** Συγκρίσεις διαφορών τιμών CO<sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (E1) - Tukey HSD

**Dependent Variable: CO<sub>2</sub> (ppm) - Tukey HSD**

(I) Παράθυρα	(J) Παράθυρα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Κλειστά	Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	299,731*	27,328	<b>,000</b>	235,51	363,95
	Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	399,624*	35,576	<b>,000</b>	316,02	483,23
Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	Κλειστά	-299,731*	27,328	<b>,000</b>	-363,95	-235,51
	Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	99,893*	35,070	<b>,013</b>	17,48	182,31
Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	Κλειστά	-399,624*	35,576	<b>,000</b>	-483,23	-316,02
	Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	-99,893*	35,070	<b>,013</b>	-182,31	-17,48

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

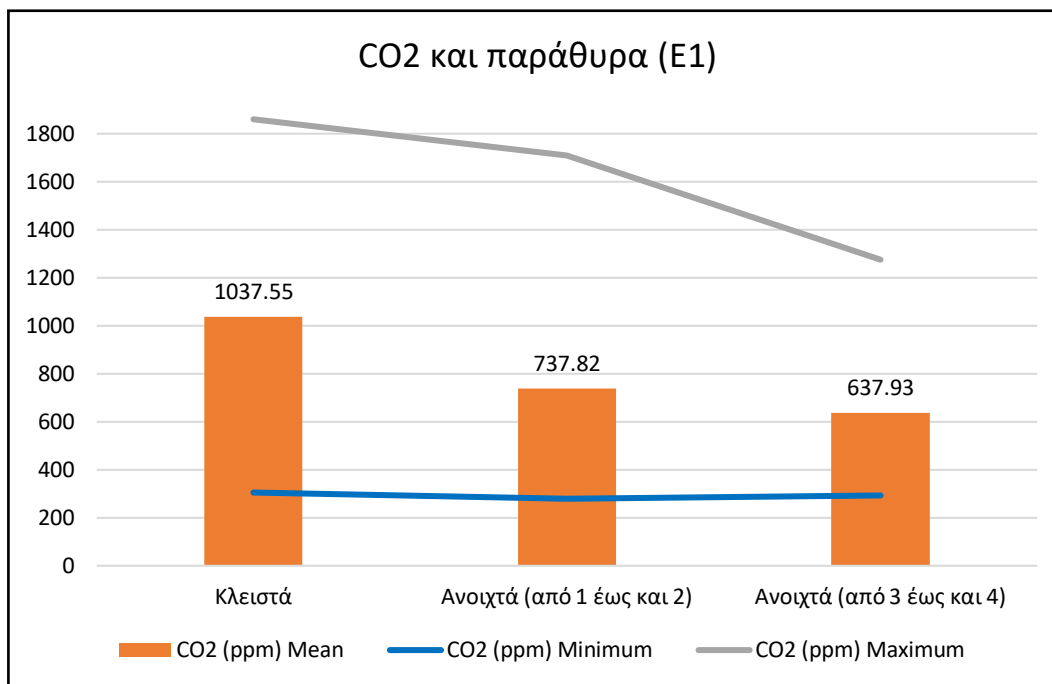
**Πίνακας 16:** Συγκρίσεις μέσων τιμών CO<sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (E1) - Tukey HSD  
**Tukey HSD<sup>a,b</sup>: CO<sub>2</sub> (ppm)**

Παράθυρα	N	1	2	Subset for alpha = 0.05 3
Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	98	637,93		
Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	241		737,82	
Κλειστά	219			1037,55
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 158,565.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.



Επιμέρους συγκρίσεις των αποτελεσμάτων με τον έλεγχο Tukey HSD έδειξαν ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των θέσεων των παραθύρων (φύλλα κλειστά/ φύλλα ανοιχτά 1-2/ φύλλα ανοιχτά 3-4) και κατηγοριοποίησή τους σε 3 ομάδες διαφορών μεταξύ τους. Στην πρώτη ομάδα με το χαμηλότερο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται η ομάδα με τα 3 ή 4 φύλλα παραθύρων ανοιχτά, στη δεύτερη ομάδα με το μεσαίο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται η ομάδα με τα 1 ή 2 φύλλα παραθύρων ανοιχτά, στην τρίτη ομάδα με το υψηλό επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκονται τα κλειστά παράθυρα. Κάθε ομάδα διαφέρει σημαντικά από την επόμενη της με το CO<sub>2</sub> να είναι σημαντικά υψηλότερο από την κάθε προηγούμενη ομάδα (επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0,05$ ).

Από την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική, ότι, δηλαδή, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν σε σχέση με τη θέση (ανοιχτά ή κλειστά) των παραθύρων σε τουλάχιστον μία μέση τιμή.

### 3.6.η Σχέση CO<sub>2</sub> και πόρτας αίθουσας (E1)

Επεκτείνοντας τη διερεύνηση της επίδρασης των ανοιγμάτων φυσικού (εξ)αερισμού στη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες -μετά τα παράθυρα- συνεχίσαμε και στη διερεύνηση της επίδρασης του ανοίγματος της πόρτας στα επίπεδα του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα E1. Προχωρήσαμε, λοιπόν, στη σύγκριση των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub> όταν είναι κλειστή η πόρτα, καθώς και των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub> όταν είναι ανοιχτή η πόρτα, για να διαπιστώσουμε πόσο διαφέρουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> ανάλογα με τη θέση της πόρτας. Θα θέλαμε να επισημάνουμε ότι, μια και πρόκειται για σχολείο, για λόγους ηχομόνωσης και απρόσκοπτης συνέχειας της διδακτικής διαδικασίας, η επιθυμητή θέση της πόρτας κατά τη διάρκεια των μαθημάτων είναι η κλειστή θέση. Για να είναι ανοιχτή η πόρτα στη διάρκεια του μαθήματος υπάρχει έντονο θερμικό φορτίο στο χώρο που επηρεάζει τη θερμική άνεση των χρηστών του χώρου, πράγμα που σημαίνει ότι, όταν η πόρτα είναι ανοιχτή, σίγουρα και τα παράθυρα της αίθουσας είναι ανοιχτά για να δημιουργηθεί ρεύμα με τα παράθυρα του διαδρόμου (βλ. και ενότητα 2.4.α). Το κριτήριο t είναι το πλέον κατάλληλο για τη σύγκριση των μέσων όρων των ομάδων δεδομένων που αναφέραμε (CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα και CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα), αφού ελέγχει το αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους μέσους όρους των υπό εξέταση ομάδων.

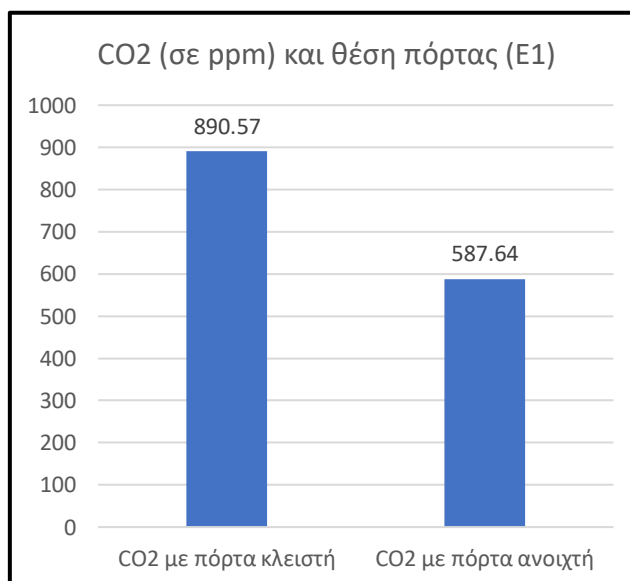
#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα.

Πίνακας 17: CO <sub>2</sub> και πόρτα (E1)	$\bar{x}$	s	t	df	p
<b>t-test</b>			<b>8,602</b>	<b>556</b>	<b>,000</b>
CO <sub>2</sub> με πόρτα κλειστή	890,57	312,494			
CO <sub>2</sub> με πόρτα ανοιχτή	587,64	328,253			

Από τη σύγκριση του επιπέδου συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα, χρησιμοποιώντας το κριτήριο t για δυο ανεξάρτητα δείγματα, προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο αυτών ομάδων, με  $t(556) = 8,602$ ;  $p < ,001$ . Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των δυο ανεξάρτητων δειγμάτων διαφέρουν σημαντικά.



Συγκεκριμένα, οι μέσοι όροι του CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα έχουν σημαντική διαφορά, με αυτόν που αφορά κλειστή πόρτα να είναι σημαντικά υψηλότερος από αυτόν που αφορά ανοιχτή πόρτα (δες και παραπάνω γράφημα).

Ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα ήταν  $\bar{x}=890,57$  και η τυπική απόκλιση  $s=312,494$ , ενώ ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα ήταν  $\bar{x}=587,64$  και η τυπική απόκλιση  $s=328,253$ .

**Από την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική**, ότι, δηλαδή, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα.

### **3.6.θ Σχέση CO<sub>2</sub> και ανεμιστήρων τοίχου πάνω από τα παράθυρα (E1)**

Μετά την ολοκλήρωση της διερεύνησης της επίδρασης του φυσικού (εξ)αερισμού στη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες, συνεχίσαμε και στη διερεύνηση της επίδρασης του υποβοηθούμενου εξαερισμού (με ανεμιστήρες) στο επίπεδο του παρατηρούμενου CO<sub>2</sub> στην αίθουσα E1.

Όπως αναφέραμε και στην περιγραφή της αίθουσας (ενότητα 2.4.α, βλ. και εικ. 9), η E1 έχει 2 ανεμιστήρες εξαγωγής αέρα πάνω από τα παράθυρα και ένα περιστρεφόμενο ανεμιστήρα (ανάδευσης) τοποθετημένο στον ένα τοίχο. Δεδομένου ότι ο ανεμιστήρας ανάδευσης είναι εξαιρετικά θορυβώδης η συστηματική του χρήση μάλλον αποφεύγεται, όπως διαφάνηκε και από τις καταγραφές μας. Από τις 558 καταγραφές μας μόνο 4 αντιστοιχούν σε λειτουργία (on) του ανεμιστήρα αυτού, δηλαδή ποσοστό 0,7%, ενώ η συντριπτική πλειονότητα των καταγραφών μας (554) αντιστοιχεί σε ανεμιστήρα σβηστό (off), δηλαδή ποσοστό 99,3%. Λαμβάνοντας υπόψη αυτή την ανισορροπία στις καταγραφές, κρίναμε ότι δεν είναι εύλογο να προχωρήσουμε σε συγκρίσεις και εξαγωγή συμπερασμάτων από τα συγκεκριμένα δεδομένα που αφορούν τον ανεμιστήρα αυτόν.

Η διερεύνηση, από την άλλη, της επίδρασης των ανεμιστήρων εξαγωγής αέρα στο επίπεδο συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική και κομβική για την έρευνά μας. Μια και το CO<sub>2</sub> είναι αέριο είναι αναμενόμενο να επηρεάζεται η συγκέντρωσή του από αυτούς τους ανεμιστήρες.

Προχωρήσαμε, λοιπόν, στη σύγκριση των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub> όταν λειτουργούν οι ανεμιστήρες αυτοί, καθώς και των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub> όταν δεν λειτουργούν, για να διαπιστώσουμε πόσο διαφέρουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> ανάλογα με το αν λειτουργούν ή όχι οι δύο αυτοί ανεμιστήρες. Το κριτήριο t είναι το πλέον κατάλληλο για τη σύγκριση των μέσων όρων των ομάδων δεδομένων που αναφέραμε (CO<sub>2</sub> με ανεμιστήρες σε λειτουργία και CO<sub>2</sub> με ανεμιστήρες σβηστούς), αφού ελέγχει το αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα



στους μέσους όρους των υπό εξέταση ομάδων.

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με τους δυο ανεμιστήρες σε λειτουργία και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με τους δυο ανεμιστήρες εκτός λειτουργίας.

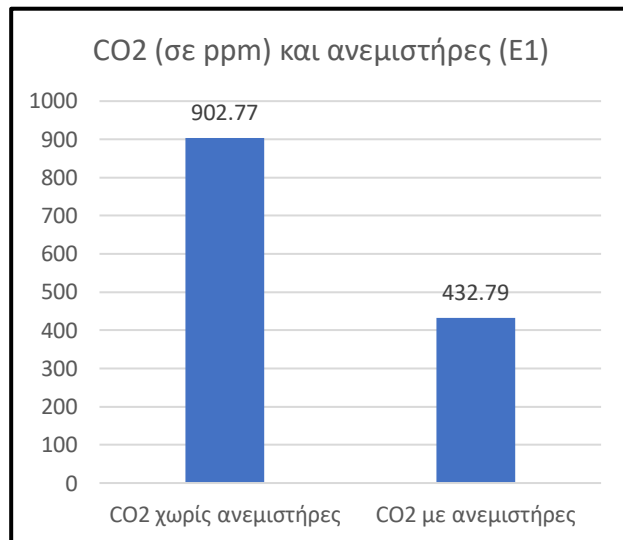
**H<sub>1</sub>:** υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με τους δυο ανεμιστήρες σε λειτουργία και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με τους δυο ανεμιστήρες εκτός λειτουργίας.

Πίνακας 18: CO <sub>2</sub> και ανεμιστήρες παραθύρων (E1)	$\bar{x}$	s	t	df	p
<b>t-test</b>			<b>13,037</b>	<b>556</b>	<b>,000</b>
CO <sub>2</sub> με ανεμιστήρες εκτός λειτουργίας	902,77	313,009			
CO <sub>2</sub> με ανεμιστήρες σε λειτουργία	432,79	110,624			

Η σύγκριση του επιπέδου συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> χωρίς να λειτουργούν οι ανεμιστήρες και του CO<sub>2</sub> με τους ανεμιστήρες σε λειτουργία, με τη χρήση του κριτηρίου t για δυο ανεξάρτητα δείγματα, έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο αυτών ομάδων, με  $t(556)=13,037$ ;  $p<,001$ . Επιπλέον, στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των δυο ανεξάρτητων δειγμάτων διαφέρουν σημαντικά.

Αναλυτικότερα, οι μέσοι όροι του CO<sub>2</sub> με αδρανείς ανεμιστήρες και του CO<sub>2</sub> με ανεμιστήρες σε λειτουργία έχουν σημαντική διαφορά, με αυτόν που αφορά τους σβηστούς ανεμιστήρες να είναι σημαντικά υψηλότερος από αυτόν που αφορά τους λειτουργούντες (δες και διπλανό γράφημα).

Ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> χωρίς ανεμιστήρες ήταν  $\bar{x}=902,77$  και η τυπική απόκλιση  $s=313,009$ , ενώ ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> με ανεμιστήρες ήταν  $\bar{x}=432,79$  και η τυπική απόκλιση  $s=110,624$ .



Συνεπώς, από την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική, ότι, δηλαδή, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του μέσου όρου του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα χωρίς λειτουργία ανεμιστήρων και του μέσου όρου του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με λειτουργία ανεμιστήρων.

#### 3.6.1 Σχέση CO<sub>2</sub>, εξωτερικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου εκτός κτιρίου (E1)

Ολοκληρώνοντας, σε γενικές γραμμές, τη διερεύνηση των παραγόντων εντός του κτιρίου που επιδρούν στο CO<sub>2</sub>, στρέφουμε το ενδιαφέρον μας στη σχέση των γενικότερων καιρικών συνθηκών με τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες. Έτσι, εξετάζουμε την επίδραση της εξωτερικής υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου εκτός κτιρίου με το επίπεδο συγκέντρωσης

CO<sub>2</sub> στην αίθουσα E1. Προτιμήσαμε να συνεξετάσουμε την υγρασία με την ταχύτητα του ανέμου γιατί η δεύτερη μεταβλητή επηρεάζει καθοριστικά την πρώτη, αφού το επίπεδο της υγρασίας στην ατμόσφαιρα επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου, μια και δυνατότεροι άνεμοι τείνουν να μην επιτρέπουν στην υγρασία να συσσωρευθεί σε μια περιοχή αλλά να τη διασκορπίζουν.

Για να εξετάσουμε, λοιπόν, τις σχέσεις αυτές κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται, αυξάνονται ή μειώνονται και οι τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (εξωτερική υγρασία)

**H<sub>0</sub>**: δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής υγρασίας.

**H<sub>1</sub>**: υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής υγρασίας.

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (ταχύτητα ανέμου):

**H<sub>0</sub>**: δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της ταχύτητας του ανέμου (εκτός κτιρίου).

**H<sub>1</sub>**: υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της ταχύτητας του ανέμου (εκτός κτιρίου).

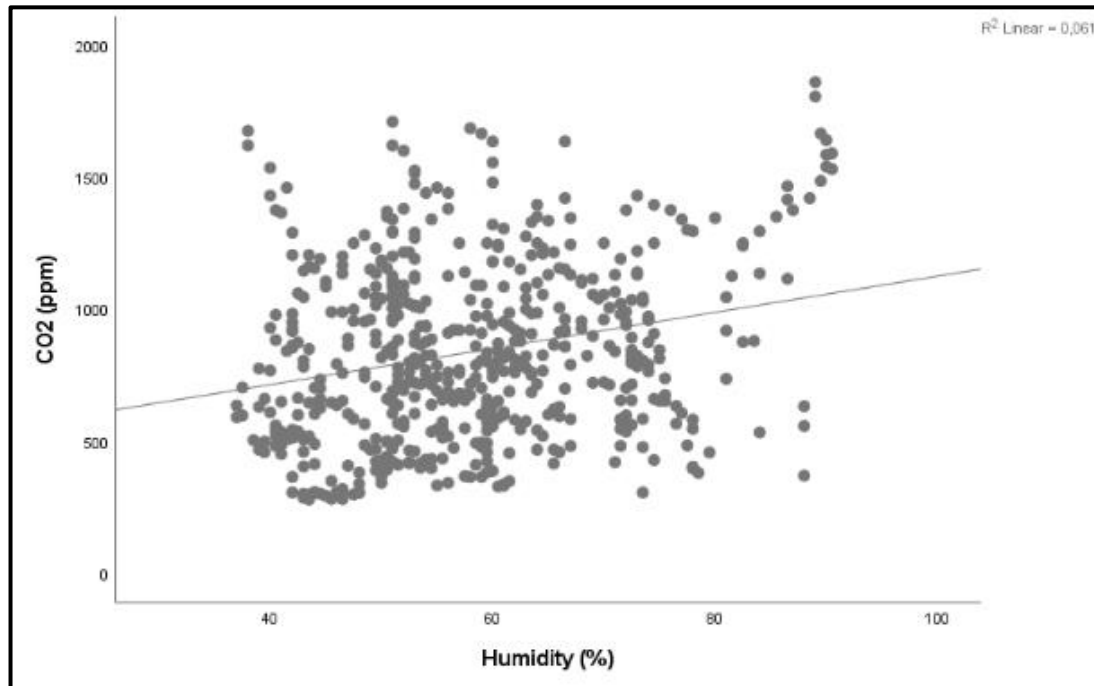
Πίνακας 19: CO <sub>2</sub> και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (E1)		CO <sub>2</sub>	Humidity (%)	Wind Speed (km/h)
CO <sub>2</sub>	Pearson Correlation	1	<b>,247**</b>	<b>-,103*</b>
	Sig. (2-tailed)		,000	,015
	N	558	558	558
Humidity (%)	Pearson Correlation	<b>,247**</b>	1	<b>-,337**</b>
	Sig. (2-tailed)	,000		,000
	N	558	558	558
Wind Speed (km/h)	Pearson Correlation	<b>-,103*</b>	<b>-,337**</b>	1
	Sig. (2-tailed)	,015	,000	
	N	558	558	558

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
 \* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη **σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και υγρασίας**, προέκυψε  $r=,247$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο υψηλότερη είναι η εξωτερική υγρασία, τόσο αυξάνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $0,1 < r < 0,3$ ).

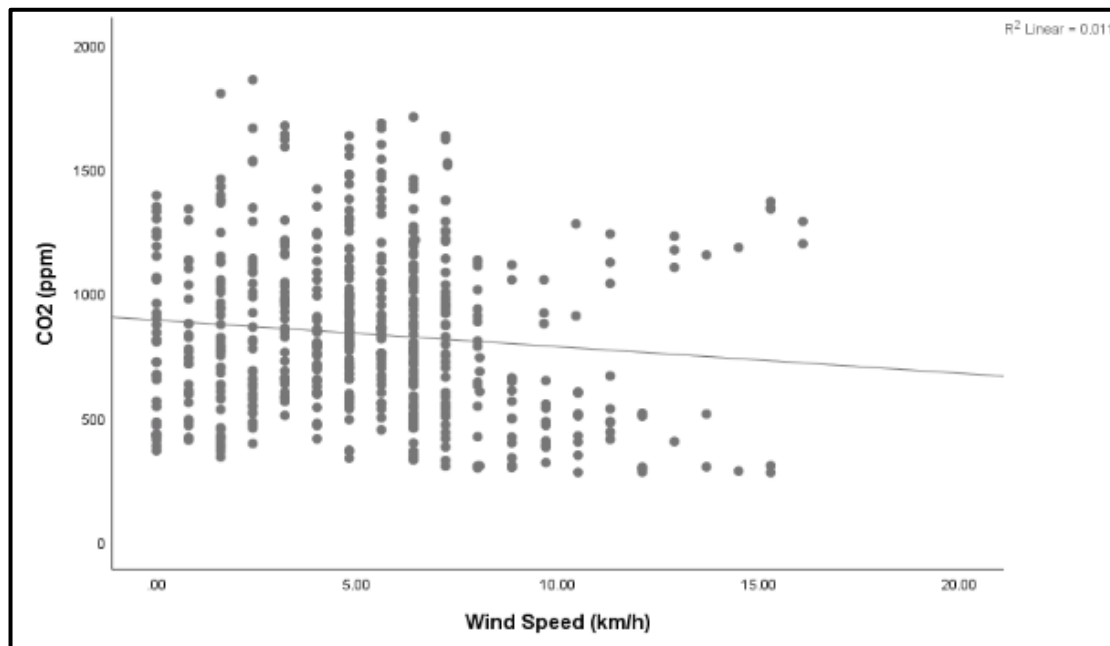
Από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **υγρασίας** φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει θετική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,061$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίξουμε ότι το 6,1% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται

από τη διακύμανση της υγρασίας.



Εικόνα 38: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και υγρασίας (αίθουσα E1)

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και **ταχύτητας του ανέμου**, προέκυψε  $r=-,103$ ;  $n=558$ ;  $p<,05$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο δυνατότερος είναι ο άνεμος εκτός κτιρίου, τόσο μειώνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $-0,1 < r < -0,3$ ).



Εικόνα 39: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (αίθουσα E1)

Από το παραπάνω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **ταχύτητας ανέμου** φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει

αρνητική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,011$ . Αυτό μας αποκαλύπτει ότι μόνο το 1,1% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου εκτός κτιρίου.

Ας σημειωθεί εδώ, με την ευκαιρία, για λόγους εσωτερικής λογικής επιβεβαίωσης της επεξεργασίας μας, και η σχέση μεταξύ εξωτερικής υγρασίας και (εξωτερικής) ταχύτητας του ανέμου, όπως υπολογίστηκε από τη στατιστική ανάλυση. Προέκυψε, λοιπόν,  $r=-,337$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο πιο δυνατός είναι ο άνεμος εκτός κτιρίου τόσο χαμηλότερη βρίσκεται να είναι η υγρασία έξω από το κτίριο, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $r$  έως  $\pm 0,3$ ).

**Η ανάλυση, συνεπώς, του στατιστικού κριτηρίου Pearson μας δείχνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική για την εξωτερική υγρασία, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση CO<sub>2</sub> και υγρασίας και μάλιστα θετική (όσο αυξάνονται οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνονται και της άλλης).**

**Επίσης, η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου Pearson μας δείχνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική και για την ταχύτητα του ανέμου, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση CO<sub>2</sub> και υγρασίας και μάλιστα αρνητική (όσο αυξάνονται οι τιμές της μιας μεταβλητής μειώνονται της άλλης).**

### **3.6.1α Σχέση CO<sub>2</sub>, βροχής και ρυθμός (ένταση) βροχόπτωσης (E1)**

Συνεχίζοντας τη διερεύνηση των γενικότερων καιρικών συνθηκών και της σχέσης τους με τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες, εξετάζουμε την επίδραση της βροχής και της έντασης της βροχόπτωσης με το επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στην αίθουσα E1. Ήταν αναμενόμενο, από τα συγκεντρωμένα μας μετεωρολογικά δεδομένα, να συνεξετάσουμε τη βροχή (βροχόπτωση) μαζί με την ένταση της βροχόπτωσης αφού η δεύτερη μεταβλητή επηρεάζει καθοριστικά την πρώτη.

Για να εξετάσουμε, λοιπόν, τις σχέσεις αυτές κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται, αυξάνονται ή μειώνονται και οι τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

#### **Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (βροχόπτωση):**

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της βροχής.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της βροχής.

#### **Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (ένταση βροχόπτωσης):**

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της έντασης της βροχόπτωσης.

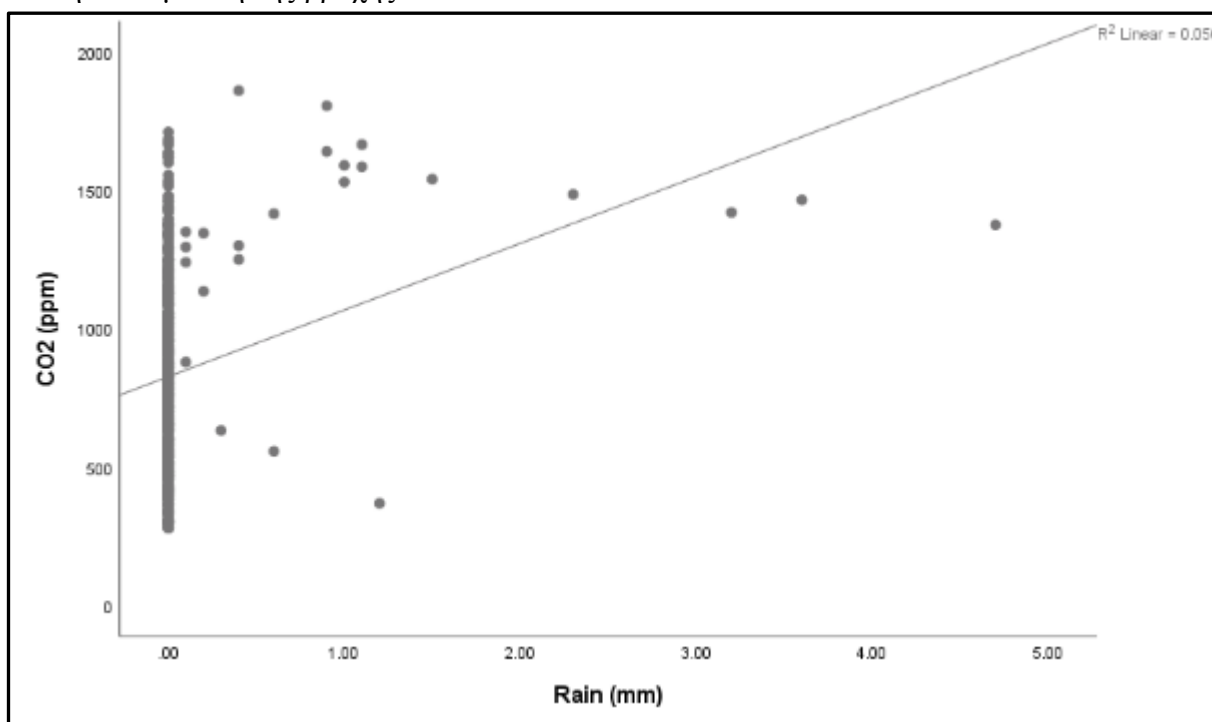
**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της έντασης της βροχόπτωσης.

Πίνακας 20: CO <sub>2</sub> και βροχή και ένταση βροχόπτωσης (E1)		CO <sub>2</sub>	Rain (mm)	Rain rate (mm/h)
CO <sub>2</sub>	Pearson Correlation	1	<b>.237**</b>	<b>.192**</b>
	Sig. (2-tailed)		.000	.000
	N	558	558	558
Rain (mm)	Pearson Correlation	<b>.237**</b>	1	<b>.980**</b>
	Sig. (2-tailed)	.000		.000
	N	558	558	558
Rain rate (mm/h)	Pearson Correlation	<b>.192**</b>	<b>.980**</b>	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	
	N	558	558	558

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη **σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και βροχής**, προέκυψε  $r=,237$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο περισσότερο βρέχει, τόσο αυξάνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $0,1 < r < 0,3$ ).

Από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **βροχής** φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει θετική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,056$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίξουμε ότι το 5,6% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της βροχής.

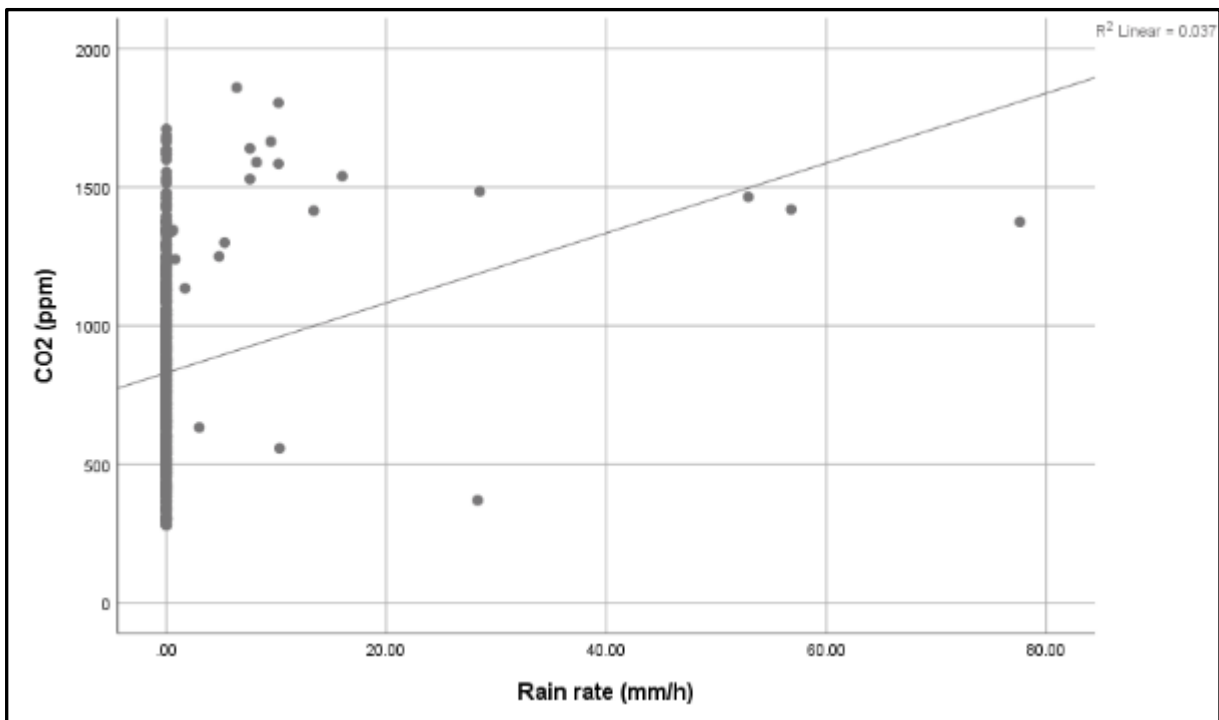


Εικόνα 40: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και βροχής (αίθουσα E1)

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και **έντασης της βροχόπτωσης**, προέκυψε  $r=,192$ ;

$n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο εντονότερος είναι ο ρυθμός της βροχόπτωσης, τόσο αυξάνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $-0,1<r<-0,3$ ).

Από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και έντασης της βροχόπτωσης φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει θετική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,037$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίξουμε ότι το 3,7% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από την ένταση της βροχόπτωσης.



Εικόνα 41: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και έντασης βροχής (αίθουσα E1)

Ας σημειωθεί ότι, για λόγους εσωτερικής λογικής επιβεβαίωσης της επεξεργασίας, σημειώνεται εδώ και η σχέση μεταξύ βροχής και έντασης της βροχόπτωσης, όπως υπολογίστηκε από τη στατιστική ανάλυση. Προέκυψε, λοιπόν,  $r=,980$ ;  $n=558$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι φυσικά θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο πιο δυνατή είναι ή ένταση της βροχόπτωσης τόσο περισσότερη είναι η βροχή, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται βεβαίως πολύ υψηλό ( $r > \pm 0,8$ ).

Η ανάλυση, συνεπώς, του στατιστικού κριτηρίου Pearson μας δείχνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική για τη βροχή, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση CO<sub>2</sub> και βροχής και μάλιστα θετική (όσο αυξάνονται οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνονται και της άλλης).

Επίσης, η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου Pearson μας δείχνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική και για την ένταση της

**βροχόπτωσης**, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση CO<sub>2</sub> και έντασης βροχόπτωσης και θετική (όσο αυξάνονται οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνονται και της άλλης).

### 3.7 Αποτελέσματα του τμήματος ΟΛ1

#### 3.7.α Σχέση CO<sub>2</sub> και αριθμού μαθητών (ΟΛ1)

Για να διερευνήσουμε τη συσχέτιση του αριθμού μαθητών και μαθητριών (N) του ΟΛ1 και του επιπέδου του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα ( ppm) αρχικά αφαιρέσαμε τις σειρές δεδομένων με τιμές μαθητών N=0 (μαθητές εκτός τάξης στα διαλείμματα) και διατηρήσαμε τις υπόλοιπες σειρές, δηλαδή όσες τιμές των μαθητών είναι N≠0.

Επιλέγουμε το μη παραμετρικό κριτήριο ανάλυσης Spear man, γιατί υπάρχει μη ομαλή κατανομή δεδομένων στη μια μας μεταβλητή, έχουμε δηλαδή πολλές ίδιες τιμές μια και αφορούν τμήμα μαθητών, που ο αριθμός τους είναι συγκεκριμένος και δεν επιδέχεται πολλές διαφοροποιήσεις.

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης

**H<sub>0</sub>**: η συσχέτιση των τιμών μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών ισούται με το μηδέν ( $r_s=0$ ).

**H<sub>1</sub>**: η συσχέτιση των τιμών μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών δεν ισούται με το μηδέν ( $r_s \neq 0$  ή  $r_s < 0$  ή  $r_s > 0$ ).

Πίνακας 21: CO <sub>2</sub> και αριθμός μαθητών (ΟΛ1)		CO2 (ppm)	Μαθητές (Number)
Spearman's rho	CO2 (ppm)	Correlation Coefficient	1,000
		Sig. (2-tailed)	,381**
		N	302
Students (Number)		Correlation Coefficient	,381**
		Sig. (2-tailed)	1,000
		N	302

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Για να ελέγξουμε αν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spear man και βρήκαμε ότι  $r_s(300) = ,38$ ;  $p < ,001$ . Η συσχέτιση βρέθηκε να είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι όσο αυξάνονται οι μαθητές τόσο αυξάνεται και το CO<sub>2</sub>, αν και η συσχέτιση βρέθηκε να είναι σχετικά αδύναμη.

**Από αυτό συμπεραίνουμε ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική**

#### 3.7.β Σχέση CO<sub>2</sub> και μαθήματος ή διαλείμματος (ΟΛ1)

Όπως και στο Ε1, λόγω της αδύναμης αυτής συσχέτισης που εντοπίσαμε και στο ΟΛ1, θεωρήσαμε ότι έπρεπε να διερευνήσουμε περισσότερο τη σχέση του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών και μαθητριών. Έτσι, προχωρήσαμε σε σύγκριση των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub>, όταν



γίνεται μάθημα, καθώς και των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub>, όταν είναι διάλειμμα, για να διαπιστώσουμε πόσο διαφέρουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> όταν υπάρχουν (CO<sub>2</sub> με N≠0) και όταν δεν υπάρχουν (CO<sub>2</sub> με N=0) μαθητές και μαθήτριες μέσα στην αίθουσα. Είναι γνωστό ότι το κριτήριο t είναι το πλέον κατάλληλο για τη σύγκριση των μέσων όρων των ομάδων δεδομένων που αναφέραμε, αφού ελέγχει το αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους μέσους όρους των υπό εξέταση ομάδων.

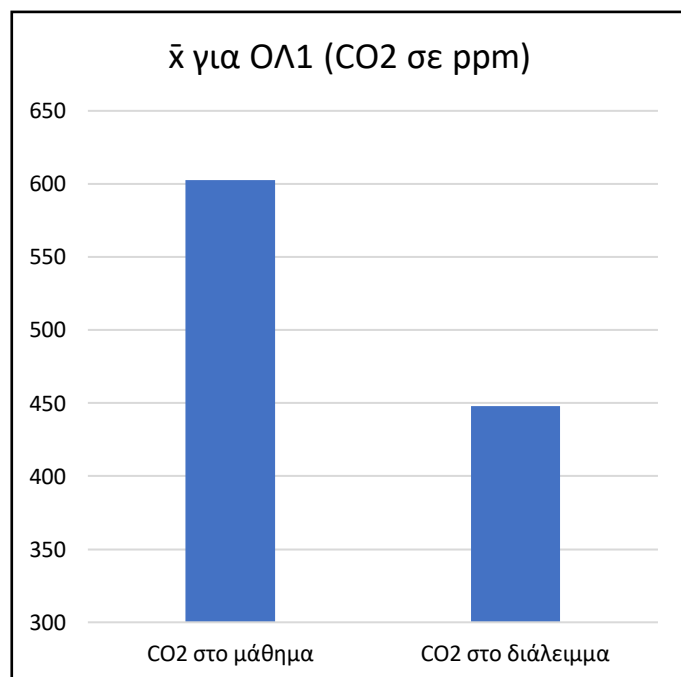
**Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:**

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στο μάθημα (N μαθητών ≠0) και του CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (N μαθητών =0).

**H<sub>1</sub>:** υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στο μάθημα (N μαθητών ≠0) και του CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (N μαθητών =0).

Πίνακας 22: CO <sub>2</sub> σε μάθημα και διάλειμμα (ΟΛ1)	$\bar{x}$	s	t	df	p
<b>t-test</b>			<b>4,874</b>	<b>300</b>	<b>,000</b>
CO <sub>2</sub> στο μάθημα	602,42	251,352			
CO <sub>2</sub> στο διάλειμμα	448,01	250,209			

Από τη σύγκριση των μέσων όρων δηλαδή του CO<sub>2</sub> στο μάθημα (N μαθητών ≠0) και του CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (N μαθητών =0) με τη χρήση του κριτηρίου t για δυο ανεξάρτητα δείγματα προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων. Τα στατιστικά αποτελέσματα μας παρουσιάζουν το κριτήριο t με τιμή t(300)=4,87, για σημαντικότητα p<,001. Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις



των δυο ανεξάρτητων δειγμάτων διαφέρουν σημαντικά με το CO<sub>2</sub> στο μάθημα να είναι σημαντικά υψηλότερο από το CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα (δες και διπλανό γράφημα). Ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> στο μάθημα ήταν  $\bar{x}$ =602,42 και η τυπική απόκλιση s=251,35, ενώ ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα ήταν  $\bar{x}$ =448,01 και η τυπική απόκλιση s=250,209.

**Με βάση την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική**, ότι, δηλαδή, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του μέσου όρου της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια του μαθήματος από το μέσο όρο της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στο διάλειμμα.

### 3.7.γ Σχέση CO<sub>2</sub> και ώρας (ΟΛ1)

Αφού, όπως ήδη αναφέραμε το CO<sub>2</sub> συσσωρεύεται μέσα στις αίθουσες του σχολείου όση περισσότερη ώρα οι μαθητές και οι μαθήτριες βρίσκονται μέσα σε αυτές, πρέπει να διερευνήσουμε το πώς εξελίσσεται η αύξησή του επιπέδου του CO<sub>2</sub> με το πέρασμα της ώρας και αν υπάρχει σχέση ανάμεσα σε αυτές τις δυο μεταβλητές.

Όπως και πριν για να εξετάσουμε τη σχέση αυτή θα χρησιμοποιήσουμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται, αυξάνονται ή μειώνονται και οι τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

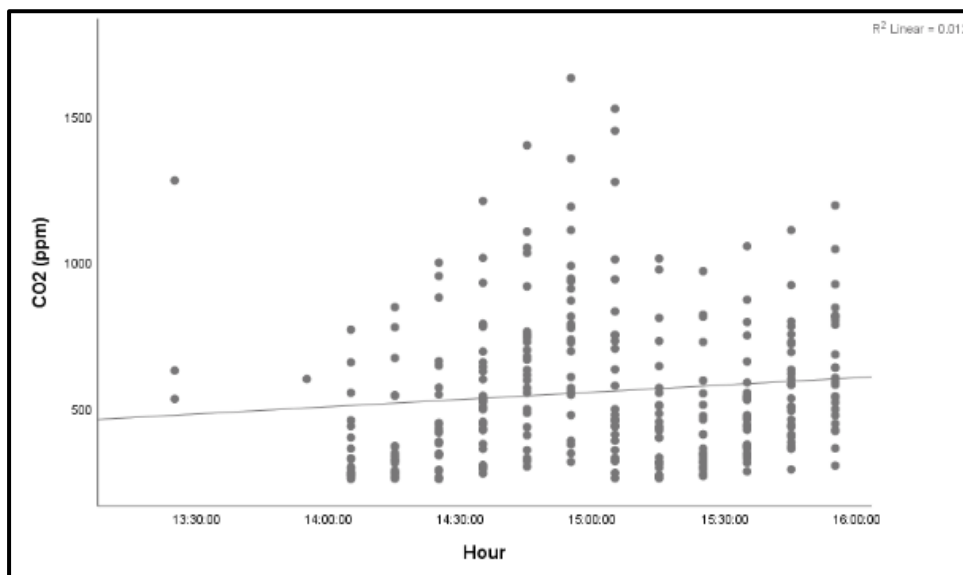
#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μεταβλητής του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της ώρας.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μεταβλητής του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της ώρας.

Πίνακας 23: CO <sub>2</sub> και ώρα (ΟΛ1)		CO <sub>2</sub> ( ppm)	Hour
CO <sub>2</sub> ( ppm)	Pearson Correlation	1	,112
	Sig. (2-tailed)		,052
	N	302	302
Hour	Pearson Correlation	,112	1
	Sig. (2-tailed)	,052	
	N	302	302

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και ώρας, προέκυψε  $r=,112$ ;  $n=302$ ;  $p<,05$ . Το αποτέλεσμα δείχνει ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ CO<sub>2</sub> και ώρας.



Εικόνα 42: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και ώρας (αίθουσα ΟΛ1)

Από το παραπάνω διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και ώρας φαίνεται μια κάποια γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει θετική

κλίση, αλλά η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,012$ . Αυτό μας επισημαίνει ότι μόνο το 1,2% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της ώρας, επιβεβαιώνοντας τη μη ύπαρξη στατιστικά σημαντικής συσχέτισης μεταξύ των δυο αυτών μεταβλητών μας.

**Άρα, η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου Pearson δείχνει ότι ισχύει η μηδενική υπόθεση και απορρίπτεται η εναλλακτική, δηλαδή ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της ώρας.**

### 3.7.δ Σχέση CO<sub>2</sub> και μήνα (ΟΛ1)

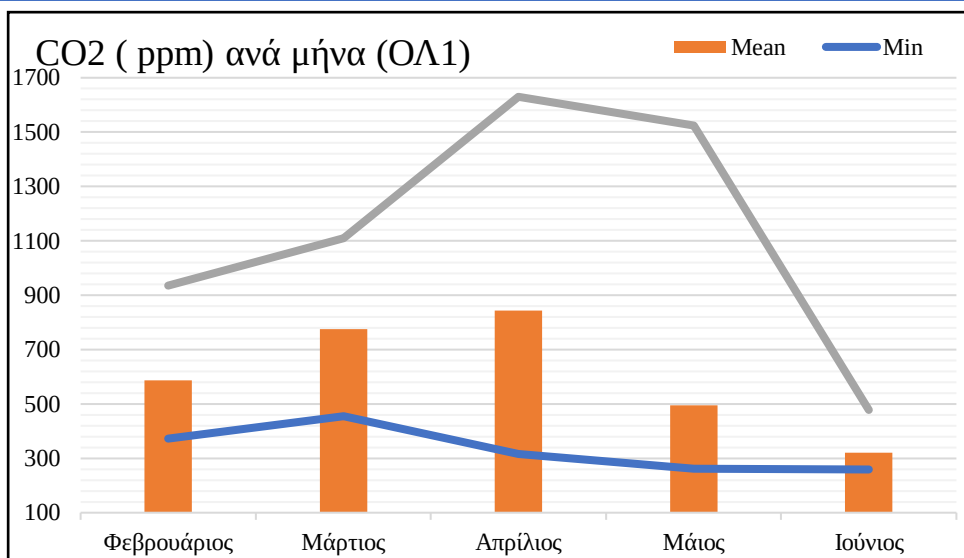
Όπως και στην περίπτωση της αίθουσας E1, θεωρήσαμε ότι πρέπει να διερευνηθεί και στην αίθουσα ΟΛ1 η σχέση του CO<sub>2</sub> με τους πέντε ημερολογιακούς μήνες, που έγιναν μετρήσεις, για να εξεταστεί αν υπάρχουν διαφορές στη συσσώρευση του CO<sub>2</sub> ανά μήνα, αφού οι κλιματολογικές συνθήκες, που συνδέονται με τον κάθε μήνα, επηρεάζουν τις συνθήκες στην αίθουσα, αφού καθορίζουν σειρά αποφάσεων των χρηστών (π.χ. αν θα ανοιχθούν παράθυρα, αν θα χρησιμοποιηθεί ο ανεμιστήρας κλπ.).

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν ανά μήνα.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν ανά μήνα σε τουλάχιστον μία μέση τιμή.

CO <sub>2</sub> (ppm)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
Φεβρουάριος	29	586,24	146,703	27,242	372	936
Μάρτιος	13	775,15	187,058	51,881	455	1110
Απρίλιος	59	843,59	274,912	35,791	317	1630
Μάιος	153	496,14	200,701	16,226	262	1525
Ιούνιος	48	321,44	56,696	8,183	259	478
Total	302	556,91	260,331	14,980	259	1630



Εικόνα 43: Μέσοι όροι τιμών CO<sub>2</sub> ανά μήνα (αίθουσα ΟΛ1)

Από το τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο γράφημα είναι εμφανές ότι ο μέσος όρος των τιμών του CO<sub>2</sub> διαφέρει από μήνα σε μήνα. Τα δεδομένα από τις συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> ανά μήνα (Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος, Ιούνιος) αναλύθηκαν με τη χρήση της απλής ανάλυσης της διακύμανσης με ένα παράγοντα (one-way ANOVA) μεταξύ των ομάδων.

**Πίνακας 25:** Τιμές CO<sub>2</sub> ανά μήνα (ΟΛ1) - ANOVA

CO <sub>2</sub> ( ppm)	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8719742,592	4	2179935,648	<b>55,433</b>	,000
Within Groups	11679731,170	297	39325,694		
Total	20399473,762	301			

Η απλή ανάλυση της διακύμανσης (one-way ANOVA) έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «Μήνας»:  $F(4,297)= 55,433$   $p<,001$  στο επίπεδο συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> μέσα στη σχολική αίθουσα.

**Πίνακας 26:** Ομαδοποιημένες μέσες τιμές CO<sub>2</sub> ανά μήνα (ΟΛ1) - Tukey HSD

**Tukey HSD<sup>a,b</sup>:** Subset for alpha = 0.05

CO <sub>2</sub> ( ppm)	N	1	2	3
Ιούνιος	48	321,44		
Μάιος	153		496,14	
Φεβρουάριος	29		586,24	
Μάρτιος	13			775,15
Απρίλιος	59			843,59
Sig.		1,000	,364	,639

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 32,108.  
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**Πίνακας 27:** Διαφορές τιμών CO<sub>2</sub> ανά μήνα (ΟΛ1) - Tukey HSD

**Dependent Variable: CO<sub>2</sub> ( ppm) - Tukey HSD**

(I) Μήνες	(J) Μήνες	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Φεβρουάριος	Μάρτιος	-188,912*	66,190	<b>,037</b>	-370,58	-7,25
	Απρίλιος	-257,352*	44,973	<b>,000</b>	-380,79	-133,92
	Μάιος	90,104	40,163	,167	-20,13	200,34
	Ιούνιος	264,804*	46,641	<b>,000</b>	136,79	392,81
Μάρτιος	Φεβρουάριος	188,912*	66,190	<b>,037</b>	7,25	370,58
	Απρίλιος	-68,439	60,758	,792	-235,20	98,32
	Μάιος	279,017*	57,289	<b>,000</b>	121,78	436,25
	Ιούνιος	453,716*	62,003	<b>,000</b>	283,54	623,89
Απρίλιος	Φεβρουάριος	257,352*	44,973	<b>,000</b>	133,92	380,79
	Μάρτιος	68,439	60,758	,792	-98,32	235,20
	Μάιος	347,456*	30,390	<b>,000</b>	264,05	430,87
	Ιούνιος	522,156*	38,546	<b>,000</b>	416,36	627,95
Μάιος	Φεβρουάριος	-90,104	40,163	,167	-200,34	20,13
	Μάρτιος	-279,017*	57,289	<b>,000</b>	-436,25	-121,78
	Απρίλιος	-347,456*	30,390	<b>,000</b>	-430,87	-264,05
	Ιούνιος	174,700*	32,807	<b>,000</b>	84,66	264,74
Ιούνιος	Φεβρουάριος	-264,804*	46,641	<b>,000</b>	-392,81	-136,79
	Μάρτιος	-453,716*	62,003	<b>,000</b>	-623,89	-283,54
	Απρίλιος	-522,156*	38,546	<b>,000</b>	-627,95	-416,36
	Μάιος	-174,700*	32,807	<b>,000</b>	-264,74	-84,66

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Επιμέρους συγκρίσεις των αποτελεσμάτων με τον έλεγχο Tuckey HSD έδειξαν διαφορές μεταξύ των μηνών και την κατηγοριοποίησή τους σε 3 ομάδες διαφορών μεταξύ τους. Στην πρώτη ομάδα με το χαμηλότερο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται μόνο ο Ιούνιος, στη δεύτερη ομάδα με το μεσαίο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται ο Μάιος και ο Φεβρουάριος, στην τρίτη ομάδα με το υψηλότερο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκονται ο Μάρτιος και ο Απρίλιος. Κάθε ομάδα διαφέρει σημαντικά από την επόμενη της με το CO<sub>2</sub> να είναι σημαντικά υψηλότερο από την κάθε προηγούμενη ομάδα (επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0,05$ ).

Τα αναλυτικά αποτελέσματα των συγκρίσεων των διαφορών μεταξύ μηνών ανά ζεύγη παρουσιάζονται στον πίνακα 24, όπου δίνεται και η στατιστική σημαντικότητα ανά ζεύγος σύγκρισης (16 από τα 20 ζεύγη συγκρίσεων στατιστικά σημαντικά με  $p = 0,00 < 0,05$ ).

**Με βάση την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική**, ότι, δηλαδή, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν ανά μήνα και μάλιστα μεταξύ και των 3 ομάδων μηνών που σχηματίστηκαν.

### 3.7.ε Σχέση CO<sub>2</sub> και εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας (ΟΛ1)

Όπως αναφέραμε και στην ανάλυση για την άλλη αίθουσα, το CO<sub>2</sub> είναι αέριο και όπως όλα τα αέρια επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Είναι, λοιπόν, παράληψη να μην εξετάσουμε τη σχέση του CO<sub>2</sub> και με την εσωτερική (θερμοκρασία μέσα στην τάξη) όσο και με την εξωτερική θερμοκρασία (θερμοκρασία έξω από το κτίριο).

Για να εξετάσουμε τις σχέσεις αυτές θεωρήσαμε σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, που ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται μαζί με τις τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

#### **Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (εσωτερική θερμοκρασία):**

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εσωτερικής θερμοκρασίας.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εσωτερικής θερμοκρασίας.

#### **Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (εξωτερική θερμοκρασία):**

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής θερμοκρασίας.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής θερμοκρασίας.

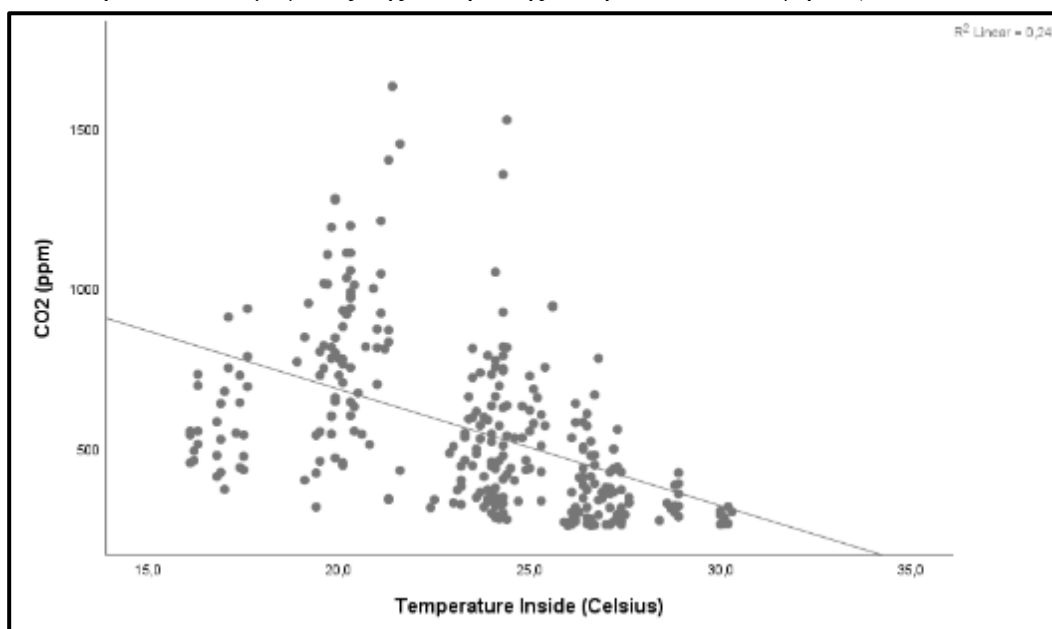
Ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, για τη σχέση του CO<sub>2</sub> και εσωτερικής θερμοκρασίας (εντός τάξης), προέκυψε  $r = -,498$ ;  $n = 302$ ;  $p < ,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μέσα στην τάξη, μειώνεται το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται μέτριο ( $-0,4 < r < -0,5$ ).

Πίνακας 28: CO2 και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (ΟΛ1)		CO2	Temperature Inside	Temperature Outside
CO2	Pearson Correlation	1	-,498**	-,592**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000
	N	302	302	302
Temperature Inside	Pearson Correlation	-,498**	1	,927**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000
	N	302	302	302
Temperature Outside	Pearson Correlation	-,592**	,927**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	
	N	302	302	302

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Ενώ και ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, προς τη σχέση του **CO<sub>2</sub> και εξωτερικής θερμοκρασίας** (έξω από το κτίριο), προέκυψε  $r=-,592$ ;  $n=302$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία έξω από το κτίριο, μειώνεται το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται μέτριο ( $-0,4<r<-0,5$ ).

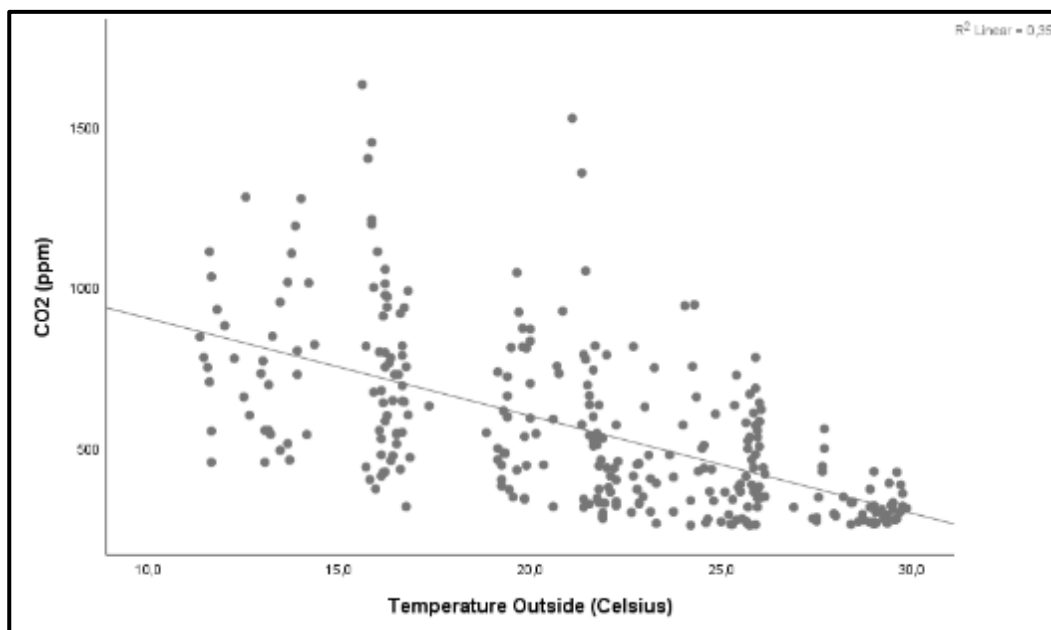
Επαναλαμβάνουμε και εδώ τη σχέση μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας, όπως υπολογίστηκε από τη στατιστική ανάλυση, που είναι  $r=,927$ ;  $n=302$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο πιο υψηλή βρίσκεται να είναι η θερμοκρασία έξω από το κτίριο τόσο πιο υψηλή βρίσκεται να είναι και μέσα στο κτίριο, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται πολύ υψηλό ( $r>0,8$ ).



Εικόνα 44: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και εσωτερικής θερμοκρασίας (εντός αίθουσας ΟΛ1)

Το διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **εσωτερικής** θερμοκρασίας δείχνει τη γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει αρνητική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,248$ . Αυτό μας επιτρέπει να

υποστηρίζουμε ότι το 24,8% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας.



Εικόνα 45: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και εξωτερικής θερμοκρασίας (ΟΛ1)

Από το διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **εξωτερικής** θερμοκρασίας φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει αρνητική κλίση, ενώ τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,350$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίζουμε ότι το 35,0% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας.

**Από την ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου Pearson προκύπτει ότι απορρίπτονται και οι δυο μηδενικές υποθέσεις και ισχύουν οι εναλλακτικές**, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση και μάλιστα αντίθετη (δηλαδή οι τιμές κινούνται αντίστροφα) τόσο του CO<sub>2</sub> και της εσωτερικής θερμοκρασίας, όσο και του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής θερμοκρασίας και στη δεύτερη αίθουσα.

### 3.7.στ Σχέση CO<sub>2</sub> και λειτουργίας καλοριφέρ (ΟΛ1)

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ολόημερου τμήματος τις απογευματινές ώρες η κεντρική θέρμανση του σχολείου δεν ήταν ποτέ σε λειτουργία με αποτέλεσμα, δυστυχώς, να μην καταστεί δυνατό να συγκεντρώσουμε δεδομένα που αφορούσαν τη μεταβλητή της κεντρικής θέρμανσης (καλοριφέρ) στην αίθουσα ΟΛ1 και να προβούμε στην αντίστοιχη ανάλυση.

### 3.7.ζ Σχέση CO<sub>2</sub> και παραθύρων (ΟΛ1)

Δεδομένου ότι στο σχολείο της έρευνάς μας δεν υπάρχει σύστημα τεχνητού εξαερισμού



διερευνήσαμε, επίσης, και την επίδραση του φυσικού αερισμού (παράθυρα) στο CO<sub>2</sub> που συγκεντρώνεται στην αίθουσα του ολοήμερου (ΟΛ1).

Η αίθουσα ΟΛ1 έχει 2 μεγάλα ισομεγέθη συρόμενα επάλληλα δίφυλλα παράθυρα, τα οποία ανοιχτά δημιουργούν δυο πολύ μεγάλα ανοίγματα αερισμού του χώρου (βλ και ενότητα 2.4.β). Παρόλο που στη συγκεκριμένη περίπτωση αίθουσας (ΟΛ1) τα ανοίγματα των φύλλων των παραθύρων είναι σημαντικά μεγαλύτερα και πάλι οι χρήστες της αίθουσας είτε ανοίγουν εντελώς το κάθε φύλλο ή το κλείνουν εντελώς, πιθανά λόγω του ότι οι καταγραφές μας έγιναν μεσημεριανές ώρες. Στην καταγραφή των θέσεων των παραθύρων καταγράφηκαν πόσα φύλλα από τα παράθυρα ήταν ανοιχτά (πιθανές τιμές: 0, 1, 2, 3, 4) για να διαπιστωθεί πως επηρεάζεται το επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στην αίθουσα ΟΛ1 σε σχέση με την πιθανή θέση (ανοιχτά ή κλειστά, καθώς και πόσα φύλλα ήταν ανοιχτά) των παραθύρων.

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν σε σχέση με τη θέση (ανοιχτά ή κλειστά) των παραθύρων.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν σε σχέση με τη θέση (ανοιχτά ή κλειστά) των παραθύρων σε τουλάχιστον μία μέση τιμή.

**Πίνακας 29:** Τιμές CO<sub>2</sub> και θέση παραθύρων (ΟΛ1)

CO <sub>2</sub> (ppm)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Mini mu m	Maxi mu m
Κλειστά	160	680,04	245,274	19,391	299	1630
Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	107	457,12	216,155	20,897	263	1525
Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	35	299,14	43,670	7,382	259	440
Total	302	556,91	260,331	14,980	259	1630

Από τον παραπάνω πίνακα είναι εμφανές ότι ο μέσος όρος των τιμών του CO<sub>2</sub> διαφέρει ανάλογα με το αν τα παράθυρα είναι ανοιχτά ή όχι, καθώς και σε σχέση με τα πόσα παράθυρα είναι ανοιχτά σε κάθε περίπτωση. Τα δεδομένα από τις συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> με κλειστά παράθυρα, με 1 ή 2 φύλλα ανοιχτά και με 3 ή 4 φύλλα ανοιχτά (ομαδοποιημένα) αναλύθηκαν με τη χρήση της απλής ανάλυσης της διακύμανσης με ένα παράγοντα (one-way ANOVA) μεταξύ των ομάδων.

**Πίνακας 30:** Τιμές CO<sub>2</sub> και παράθυρα (ΟΛ1) - ANOVA

CO <sub>2</sub> (ppm)	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5816676,280	2	2908338,140	59,631	,000
Within Groups	14582797,481	299	48771,898		
Total	20399473,762	301			

Η απλή ανάλυση της διακύμανσης (one-way ANOVA) έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα των παραθύρων:  $F(2,299)= 59,631$ ;  $p<,001$  στο επίπεδο συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στη σχολική αίθουσα και μάλιστα στο υψηλότερο επίπεδο σημαντικότητας ( $p=,000<,001$ ).

**Πίνακας 31:** Συγκρίσεις διαφορών τιμών CO<sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (ΟΛ1) - Tukey HSD  
**Dependent Variable: CO<sub>2</sub> (ppm) - Tukey HSD**

(I) Παράθυρα	(J) Παράθυρα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Κλειστά	Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	222,916*	27,580	,000	157,95	287,88
	Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	380,895*	41,211	,000	283,83	477,96
Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	Κλειστά	-222,916*	27,580	,000	-287,88	-157,95
	Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	157,979*	43,003	,001	56,69	259,27
Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	Κλειστά	-380,895*	41,211	,000	-477,96	-283,83
	Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	-157,979*	43,003	,001	-259,27	-56,69

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**Πίνακας 32:** Συγκρίσεις μέσων τιμών CO<sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (ΟΛ1) - Tukey HSD  
**Tukey HSD<sup>a,b</sup>: CO<sub>2</sub> (ppm)**

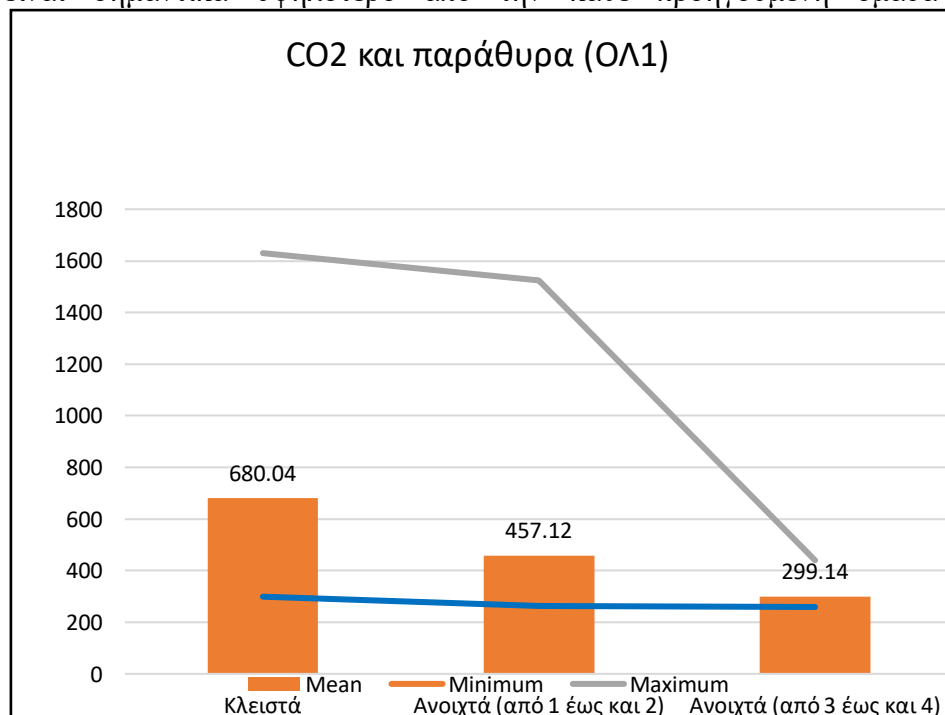
Παράθυρα	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Ανοιχτά (από 3 έως και 4)	35	299,14		
Ανοιχτά (από 1 έως και 2)	107		457,12	
Κλειστά	160			680,04
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 67,924.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Επιμέρους συγκρίσεις των αποτελεσμάτων με τον έλεγχο Tukey HSD έδειξαν ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των θέσεων των παραθύρων (φύλλα κλειστά/ φύλλα ανοιχτά 1-2/ φύλλα ανοιχτά 3-4) και κατηγοριοποίησή τους σε 3 ομάδες διαφορών μεταξύ τους. Στην πρώτη ομάδα με το χαμηλότερο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται η ομάδα με τα 3 ή 4 φύλλα παραθύρων ανοιχτά, στη δεύτερη ομάδα με το μεσαίο επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκεται η ομάδα με τα 1 ή 2 φύλλα παραθύρων ανοιχτά, στην τρίτη ομάδα με το υψηλό επίπεδο CO<sub>2</sub> βρίσκονται τα κλειστά παράθυρα. Κάθε ομάδα διαφέρει σημαντικά από την επόμενη της με το CO<sub>2</sub> να είναι σημαντικά υψηλότερο από την κάθε προηγούμενη ομάδα (επίπεδο



σημαντικότητας  $p < 0,05$ ).

Από την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική, ότι, δηλαδή, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> που καταγράφηκαν σε σχέση με τη θέση (ανοιχτά ή κλειστά) των παραθύρων σε τουλάχιστον μία μέση τιμή.

### 3.7.η Σχέση CO<sub>2</sub> και πόρτας αίθουσας (ΟΛ1)

Συνεχίζοντας τη διερεύνηση της επίδρασης των ανοιγμάτων αερισμού στη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες προχωρήσαμε και στη διερεύνηση της επίδρασης του ανοίγματος της πόρτας στα επίπεδα του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα ΟΛ1. Συγκρίναμε τις μέσες τιμές του CO<sub>2</sub> όταν είναι κλειστή η πόρτα, καθώς και των μέσων τιμών του CO<sub>2</sub> όταν είναι ανοιχτή η πόρτα, για να διαπιστώσουμε πόσο διαφέρουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> ανάλογα με τη θέση της πόρτας. Ισχύει και σε αυτήν την περίπτωση η επισήμανση ότι η επιθυμητή θέση της πόρτας της αίθουσας διδασκαλίας είναι η κλειστή και όταν είναι ανοιχτή σημαίνει ότι κάνει ζέστη και συνεπώς και τα παράθυρα της αίθουσας είναι επίσης ανοιχτά (βλ. και ενότητα 2.4.β). Το κριτήριο t είναι το πλέον κατάλληλο για τη σύγκριση μέσων όρων σε ομάδες δεδομένων, όπως αυτές που αναφέραμε (CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα και CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα), αφού ελέγχει το αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους μέσους όρους των υπό εξέταση ομάδων.

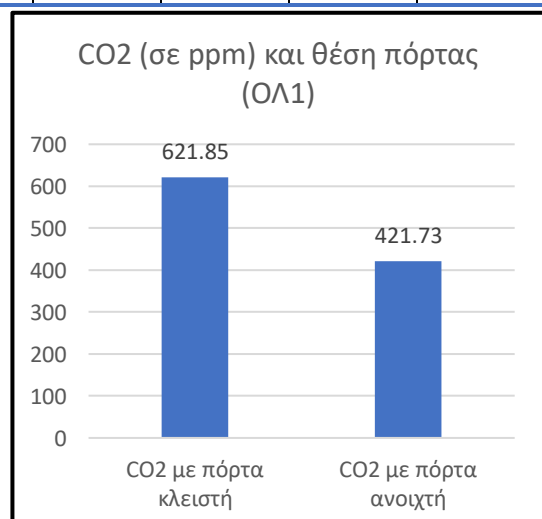
#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης:

**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα.

**H<sub>1</sub>:** υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα.

Πίνακας 33: CO <sub>2</sub> και πόρτα (ΟΛ1)	$\bar{x}$	s	t	df	p
t-test			6,694	300	,000
CO <sub>2</sub> με πόρτα κλειστή	621,85	250,027			
CO <sub>2</sub> με πόρτα ανοιχτή	421,73	228,355			

Από τη σύγκριση του επιπέδου συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα στην αίθουσα ΟΛ1, χρησιμοποιώντας το κριτήριο t για δυο ανεξάρτητα δείγματα, προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο αυτών ομάδων, με  $t(300) = 6,694$ ;  $p < ,001$ . Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των δυο ανεξάρτητων



δειγμάτων διαφέρουν σημαντικά. Συγκεκριμένα, οι μέσοι όροι του CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα έχουν σημαντική διαφορά (δες και διπλανό γράφημα). Ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> με κλειστή πόρτα ήταν  $\bar{x}=621,85$  και η τυπική απόκλιση  $s=250,027$ , ενώ ο μέσος όρος CO<sub>2</sub> με ανοιχτή πόρτα ήταν  $\bar{x}=421,73$  και η τυπική απόκλιση  $s=228,355$ .

**Από την παραπάνω στατιστική ανάλυση απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική**, ότι, δηλαδή, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με κλειστή πόρτα και του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα.

### **3.7.θ Σχέση CO<sub>2</sub> και ανεμιστήρων τοίχου (ΟΛ1)**

Όπως και για την αίθουσα E1, έτσι και στην αίθουσα του ΟΛ1, θα ήταν διαφωτιστικό να μπορούσαμε να διερευνήσουμε την επίδραση του υποβοηθούμενου εξαερισμού (μέσω ανεμιστήρων) στα επίπεδα του μέσου όρου του CO<sub>2</sub> της αίθουσας. Δυστυχώς, όμως, στην περίπτωση της αίθουσας ΟΛ1, όπως και σε όλες τις αίθουσες του ισογείου, δεν βρίσκονται τοποθετημένοι ανεμιστήρες εξαγωγής αέρα πάνω από τα παράθυρα (βλ. περιγραφή αίθουσας στην ενότητα 2.4.β, καθώς και εικόνα 4), οπότε μια τέτοια διερεύνηση δεν κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθεί, ενώ και σε αυτή την αίθουσα ο επιτοίχιος ανεμιστήρας (ανάδευσης) παρέμενε σβηστός λόγω του έντονου θορύβου που προκαλεί η λειτουργία του.

### **3.7.ι Σχέση CO<sub>2</sub>, εξωτερικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου εκτός κτιρίου (ΟΛ1)**

Συνεχίζοντας τη διερεύνηση της σχέσης των εξωτερικών καιρικών συνθηκών με τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> μέσα στις αίθουσες, εξετάσαμε την επίδραση της εξωτερικής υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου εκτός κτιρίου με το επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> και στην αίθουσα ΟΛ1. Όπως προαναφέραμε συνεξετάζουμε την υγρασία με την ταχύτητα του ανέμου μια και η δεύτερη μεταβλητή επηρεάζει καθοριστικά την πρώτη, αφού το επίπεδο της υγρασίας στην ατμόσφαιρα επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου, αφού δυνατότεροι άνεμοι διασκορπίζουν την υγρασία και δεν την αφήνουν να συσσωρευθεί σε μια περιοχή.

Αφού έχουμε συνεξέταση μεταβλητών χρησιμοποιήσαμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται, αυξάνονται ή μειώνονται και οι τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

#### **Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (εξωτερική υγρασία):**

**H<sub>0</sub>**: δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής υγρασίας.

**H<sub>1</sub>**: υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της εξωτερικής υγρασίας.

**Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (ταχύτητα ανέμου):**

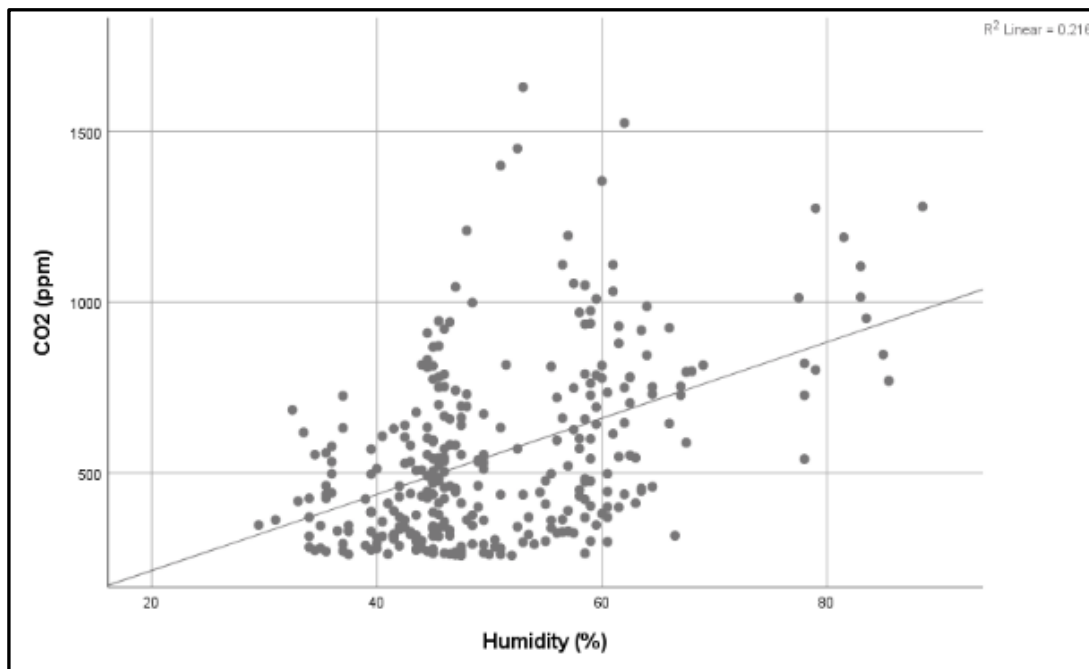
**H<sub>0</sub>:** δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ επιπέδου του CO<sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (εκτός κτιρίου).

**H<sub>1</sub>:** υπάρχει συσχέτιση μεταξύ επιπέδου του CO<sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (εκτός κτιρίου).

Πίνακας 34: CO <sub>2</sub> και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (ΟΛ1)		CO <sub>2</sub>	Humidity (%)	Wind Speed (km/h)
CO <sub>2</sub>	Pearson Correlation	1	<b>,464**</b>	<b>-,358**</b>
	Sig. (2-tailed)		,000	,000
	N	302	302	302
Humidity (%)	Pearson Correlation	<b>,464**</b>	1	<b>-,214**</b>
	Sig. (2-tailed)	,000		,000
	N	302	302	302
Wind Speed (km/h)	Pearson Correlation	<b>-,358**</b>	<b>-,214**</b>	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	
	N	302	302	302

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

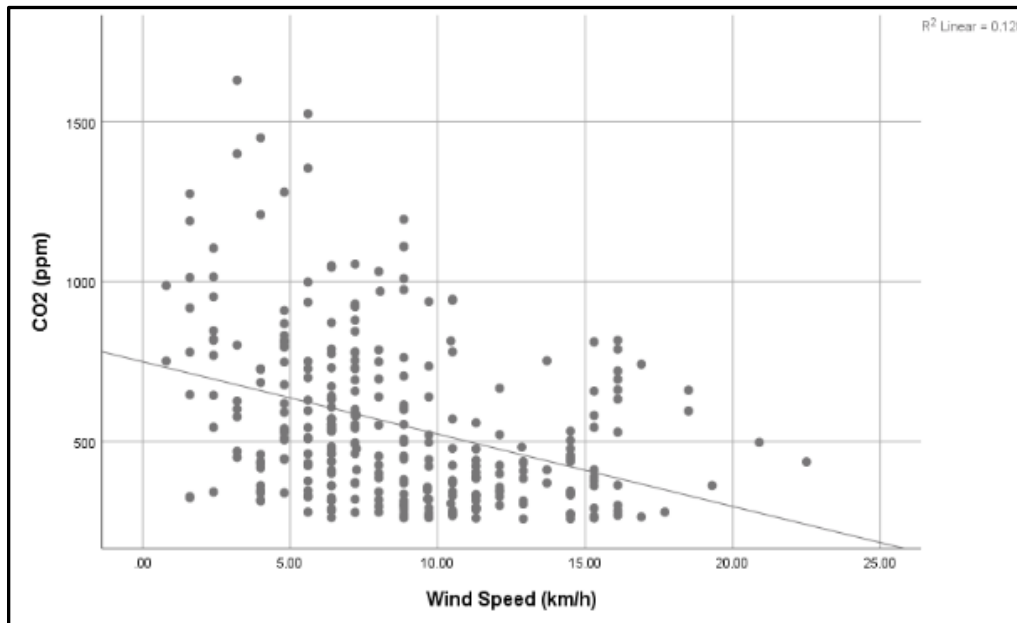
Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη **σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και υγρασίας**, προέκυψε  $r=,464$ ;  $n=302$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι θετική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο υψηλότερη είναι η εξωτερική υγρασία, τόσο αυξάνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, και μάλιστα το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται μέτριο ( $0,4<r<0,5$ ).



**Εικόνα 46:** Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και υγρασίας (αίθουσα ΟΛ1)

Από το διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **υγρασίας** φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει θετική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,216$ . Αυτό μας επιτρέπει να υποστηρίξουμε ότι το 21,6% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της υγρασίας.

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson με αμφίπλευρο έλεγχο, αναφορικά με τη σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> και **ταχύτητας του ανέμου**, προέκυψε  $r=-,358$ ;  $n=302$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο δυνατότερος είναι ο άνεμος εκτός κτιρίου, τόσο μειώνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $-0,1 < r < -0,3$ ).



Εικόνα 47: Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (αίθουσα ΟΛ1)

Από το διάγραμμα διασποράς της συσχέτισης μεταξύ των τιμών CO<sub>2</sub> και **ταχύτητας ανέμου** φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, που παρουσιάζει αρνητική κλίση, ενώ η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι  $R^2=0,128$ . Αυτό μας αποκαλύπτει ότι το 12,8% της συνολικής διακύμανσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα εξηγείται από τη διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου εκτός κτιρίου.

Για λόγους εσωτερικής λογικής επιβεβαίωσης της επεξεργασίας μας, σημειώνουμε και τη σχέση μεταξύ εξωτερικής υγρασίας και (εξωτερικής) ταχύτητας του ανέμου, όπως υπολογίστηκε από τη στατιστική ανάλυση. Προέκυψε, λοιπόν,  $r=-,214$ ;  $n=302$ ;  $p<,01$ . Η κατεύθυνση της συσχέτισης είναι αρνητική, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο πιο δυνατός είναι ο άνεμος εκτός κτιρίου τόσο χαμηλότερη βρίσκεται να είναι η υγρασία έξω από το κτίριο, αφού διασκορπίζεται από αυτόν, ενώ το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό ( $r$  έως  $\pm 0,3$ ).

**Η ανάλυση, συνεπώς, του στατιστικού κριτηρίου Pearson μας δείχνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική για την εξωτερική υγρασία, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση CO<sub>2</sub> και υγρασίας και μάλιστα θετική (όσο αυξάνονται οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνονται και της άλλης).**

**Επίσης, η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου Pearson μας δείχνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και ισχύει η εναλλακτική και για την ταχύτητα του**



**ανέμου**, ότι δηλαδή υπάρχει σχέση CO<sub>2</sub> και υγρασίας και μάλιστα αρνητική (όσο αυξάνονται οι τιμές της μιας μεταβλητής μειώνονται της άλλης).

### 3.7.1α Σχέση CO<sub>2</sub>, βροχής και ρυθμός (ένταση) βροχόπτωσης (ΟΛ1)

Ολοκληρώνοντας τη διερεύνηση των γενικότερων καιρικών συνθηκών και της σχέσης τους με τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες, εξετάζουμε την επίδραση της βροχής και της έντασης της βροχόπτωσης με το επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> και στην αίθουσα ΟΛ1. Από τα συγκεντρωμένα μας μετεωρολογικά δεδομένα, δεν είχαμε άλλη επιλογή από το να συνεξετάσουμε τη βροχή (βροχόπτωση) μαζί με την ένταση της βροχόπτωσης αφού η δεύτερη μεταβλητή επηρεάζει καθοριστικά την πρώτη.

Για να εξετάσουμε, λοιπόν, τις σχέσεις αυτές κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δυο μεταβλητές σχετίζονται, καθώς και την κατεύθυνση της μεταξύ τους σχέσης: θετική συσχέτιση (όταν οι τιμές της μιας αυξάνονται ή μειώνονται, αυξάνονται ή μειώνονται και οι τιμές της άλλης) ή αρνητική συσχέτιση (μείωση της μιας μεταβλητής επιφέρει αύξηση της άλλης και αντίθετα).

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (βροχόπτωση):

**H<sub>0</sub>**: δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της βροχής.

**H<sub>1</sub>**: υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της βροχής.

#### Διατύπωση μηδενικής και εναλλακτικής υπόθεσης (ένταση βροχόπτωσης):

**H<sub>0</sub>**: δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της έντασης της βροχόπτωσης.

**H<sub>1</sub>**: υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub> και της έντασης της βροχόπτωσης.

Πίνακας 35: CO <sub>2</sub> και βροχή και ένταση βροχόπτωσης (ΟΛ1)		CO <sub>2</sub>	Rain (mm)	Rain rate (mm/h)
CO <sub>2</sub>	Pearson Correlation	1	.101	.085
	Sig. (2-tailed)		.081	.143
	N	302	302	302
Rain (mm)	Pearson Correlation	.101	1	<b>.965**</b>
	Sig. (2-tailed)	.081		.000
	N	302	302	302
Rain rate (mm/h)	Pearson Correlation	.085	<b>.965**</b>	1
	Sig. (2-tailed)	.143	.000	
	N	302	302	302

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Τα αποτελέσματά μας για την τάξη του ολοήμερου (ΟΛ1) αναφορικά με τη σχέση CO<sub>2</sub> και βροχής και έντασης βροχόπτωσης μας έκρυσαν μια άσχημη έκπληξη αφού, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του από πάνω πίνακα, δεν έχουμε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα και έτσι δεν είναι δυνατόν να καταλήξουμε σε έγκυρα αποτελέσματα.

Συνεπώς δεν μπορούμε ούτε να απορρίψουμε, ούτε να αποδεχτούμε τις υποθέσεις μας που αναφέραμε παραπάνω.

## Μέρος Τέταρτο: Συζήτηση - Συμπεράσματα

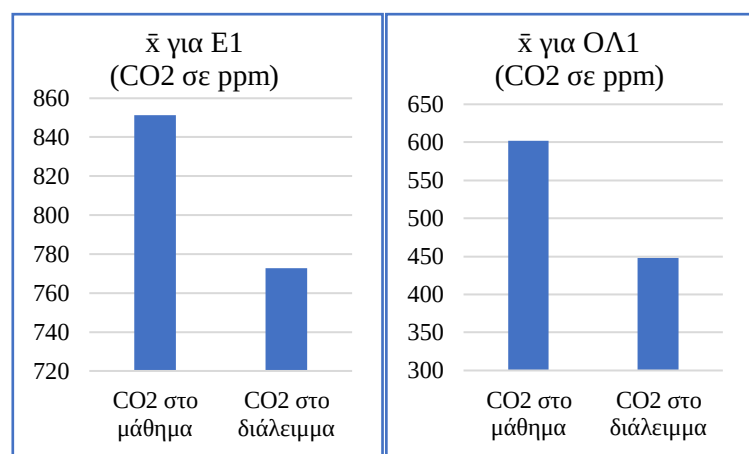
### 4.1 Συμπεράσματα από την έρευνα

Όπως έχει πολλαπλώς τεκμηριωθεί και στη σχετική βιβλιογραφία, βρέθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του CO<sub>2</sub>, που υπάρχει στην ατμόσφαιρα μέσα στην αίθουσα, και στον αριθμό των μαθητών και μαθητριών που βρίσκονται μέσα στην αίθουσα. Πρόκειται για εντελώς λογικό και αναμενόμενο αποτέλεσμα, μια και το CO<sub>2</sub> είναι αέριο που παράγουν οι άνθρωποι κατά την εκπνοή τους. Άρα, όσο περισσότεροι άνθρωποι βρίσκονται σε ένα (και μάλιστα κλειστό) χώρο, τόσο περισσότερο CO<sub>2</sub> συγκεντρώνεται στο χώρο αυτό, καθώς οι άνθρωποι οι ίδιοι εκπνέουν το αέριο αυτό.

Αυτό που προκαλεί εντύπωση στα αποτελέσματά μας είναι ότι και στις δυο τάξεις της έρευνας η συσχέτιση μεταξύ του CO<sub>2</sub> και του αριθμού των μαθητών, μια συσχέτιση που γνωρίζουμε ότι ισχύει από τη βιολογική επιστήμη, σύμφωνα με το μη παραμετρικό κριτήριο Spear man, βρέθηκε ιδιαίτερα ασθενική, αν και θετική.

Η ερμηνεία αυτού του οξύμωρου αποτελέσματος θα πρέπει, πιστεύουμε να αναζητηθεί πέρα από τη σχέση των δυο μεταβλητών που προαναφέραμε. Θεωρούμε ότι οι προφανέστερες εξηγήσεις είναι το μικρό αριθμητικά μέγεθος των τμημάτων που εξετάσαμε (μόνο 12 και 15 μαθητές και μαθήτριες) που δεν επαρκεί για να επιβαρύνει σημαντικά το μεγάλο όγκο των αιθουσών, η κακή μόνωση του κτιρίου που επιτρέπει τη διαφυγή του CO<sub>2</sub> πριν συσσωρευτεί ανησυχητικά, καθώς και η προνομακκή χωροθέτηση του σχολικού κτιρίου σε ύψωμα που του επιτρέπει αφενός καλό «εξαερισμό» και αφετέρου να μην επιβαρύνεται από CO<sub>2</sub> από άλλες πηγές γύρω του.

Επιπλέον, το παραμετρικό κριτήριο t για δυο ανεξάρτητα δείγματα επιβεβαίωσε το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στο μέσο όρο του CO<sub>2</sub> που υπάρχει στις αίθουσες στη διάρκεια του μαθήματος, σε σχέση με το μέσο όρο του CO<sub>2</sub> που υπάρχει στις αίθουσες στα



Εικόνα 48: Μέσοι όροι CO<sub>2</sub> τάξεων σε μάθημα και διάλειμμα

διαλείμματα, τόσο στην αίθουσα E1 όσο και στην αίθουσα OΛ1. Δυο παράγοντες συντελούν στη μεγάλη αυτή διαφορά των μέσων όρων: το ότι οι μαθητές δεν είναι μέσα στην αίθουσα ώστε να συνεισφέρουν «νέο» CO<sub>2</sub> στο χώρο και ότι συνήθως στα διαλείμματα τα παράθυρα

είναι συνήθως ανοιχτά, με αποτέλεσμα το συγκεντρωμένο CO<sub>2</sub> να διαφεύγει εκτός των αιθουσών. Οι μικρότερες τιμές στις απογευματινές ώρες οφείλονται πιθανότατα στο ότι τα παράθυρα μένουν περισσότερες ώρες ανοιχτά, τα διαλείμματα είναι συχνά και τείνουν να αυξάνονται χρονικά, όταν υπάρχει η δυνατότητα, και στο ότι το σχολείο είναι ουσιαστικά άδειο τις απογευματινές ώρες.

Μεικτή εικόνα μας μεταφέρει, από την άλλη, ο παραμετρικός συντελεστής συσχέτισης Pearson, αναφορικά με τη σχέση των μεταβλητών CO<sub>2</sub> και ώρας. Ενώ βρήκαμε στατιστική σημαντικότητα στη συσχέτιση CO<sub>2</sub> και ώρας για τις πρωινές ώρες (E1), δεν βρήκαμε στατιστική σημαντικότητα στη συσχέτιση CO<sub>2</sub> και ώρας για τις απογευματινές ώρες (OΛ1).

Αυτό, μάλλον, εξηγείται από την επίδραση άλλων παραγόντων στη σχέση αυτών των δυο μεταβλητών. Το απόγευμα τα παράθυρα παραμένουν περισσότερη ώρα ανοιχτά από ό,τι το πρωί, αφού, και κρύα να είναι η μέρα, προς το μεσημέρι σχεδόν πάντα η θερμοκρασία ανεβαίνει, με αποτέλεσμα να διαφεύγει αρκετό CO<sub>2</sub> από τα ανοιγμένα παράθυρα όσο περνάει η ώρα και όχι να συσσωρεύεται, αφού οι χρήστες της αίθουσας έχουν την τάση να αφήνουν περισσότερο χρόνο τα παράθυρα ανοιχτά. Επίσης, το σύνολο του κτιρίου δέχεται πολύ λιγότερο CO<sub>2</sub> τις απογευματινές ώρες (όπου λειτουργούν μόνο τα δυο τμήματα του ολοήμερου με 30-40 περίπου παιδιά) από όσο δέχεται τις πρωινές ώρες (που λειτουργούν όλα τα τμήματα του σχολείου με περίπου 150 μαθητές). Επιπλέον, επειδή οι μαθητές/τριες γευματίζουν σε άλλη αίθουσα κατά τη διάρκεια του ολοήμερου προγράμματος, η αίθουσα του ολοήμερου μένει για αρκετό χρόνο άδεια και ανοιχτή, με αποτέλεσμα να έχουμε από τη μια «παύση εισόδου» νέου CO<sub>2</sub> στο χώρο και όσο είχε συγκεντρωθεί να διαφεύγει. Μια άλλη υπόθεση εξήγησης που χρειάζεται, όμως, επιπλέον έρευνα για να διαπιστωθεί<sup>53</sup>, είναι μήπως δημιουργείται φαινόμενο «υπερχείλισης<sup>54</sup>» του CO<sub>2</sub> που συγκεντρώνεται στους διαδρόμους κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του σχολείου προς τις αίθουσες και αντίστροφα. Σε μια τέτοια περίπτωση, μπορεί να θεωρηθεί ότι το σύνολο των μαθητών ενός ορόφου συνεισφέρει ένα πολύ μικρό μέρος του CO<sub>2</sub> που συγκεντρώνεται σε κάθε τάξη του ορόφου, λίγου σχετικά αλλά αρκετού για να δώσει στατιστική σημαντικότητα στο κριτήριο Pearson για τη συσχέτιση CO<sub>2</sub> και ώρας (για τις πρωινές ώρες).

Η ανάλυση ANOVA έδειξε μια σειρά από ενδιαφέροντα αποτελέσματα: αρχικά ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του μήνα και του CO<sub>2</sub>, με τους μήνες της θερμής περιόδου να παρουσιάζουν σχετικά χαμηλότερη συγκέντρωση του αερίου, πράγμα που οφείλεται στον καλύτερο φυσικό εξαερισμό που οι χρήστες των αιθουσών του σχολείου ενεργητικά

<sup>53</sup> Θα απαιτούσε όμως μετρήσεις CO<sub>2</sub> και στους διαδρόμους για τις απαραίτητες συγκρίσεις.

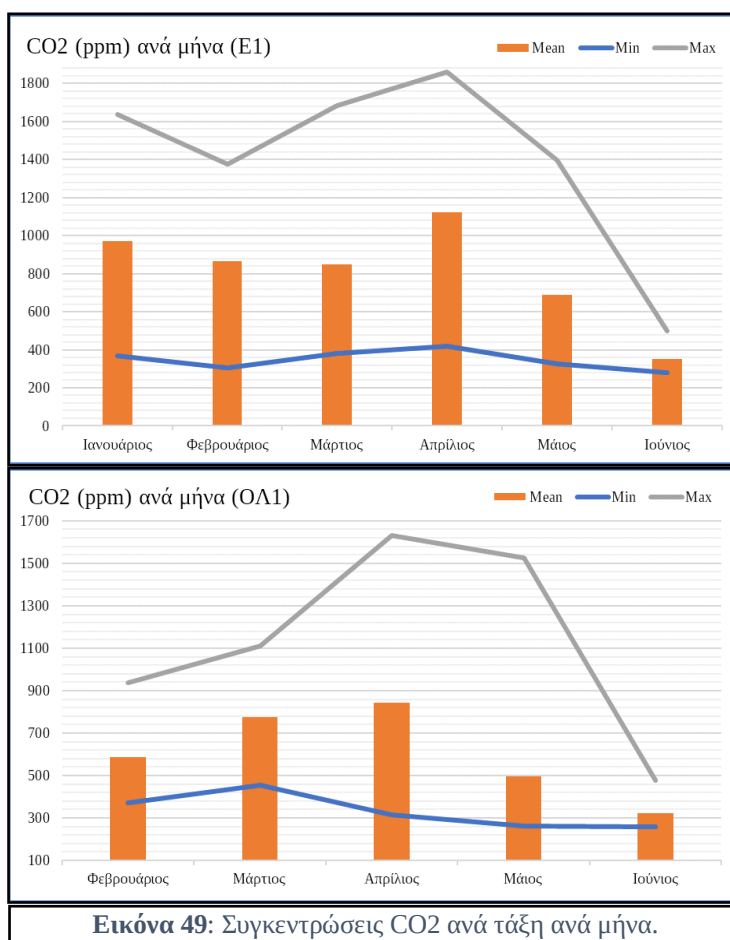
<sup>54</sup> Spill over effect.

επιδιώκουν, όταν κάνει περισσότερη ζέστη, με αποτέλεσμα το CO<sub>2</sub> να διαφεύγει προς το εξωτερικό περιβάλλον. Αντίστροφα, οι μήνες της ψυχρής περιόδου παρουσιάζουν σχετικά υψηλότερη συγκέντρωση του αερίου, δεδομένου ότι ο φυσικός εξαερισμός των χώρων μειώνεται μια και οι χρήστες του σχολικού χώρου ενεργητικά επιδιώκουν να «παγιδεύσουν» τη θερμότητα μέσα στις αίθουσες διατηρώντας πόρτες και παράθυρα κλειστά.

Πέρα από αυτή την αναμενόμενη γενική εικόνα, υπήρξαν και κάποια αναπάντεχα ευρήματα, όπως αποτυπώνονται στους μέσους όρους και τα εύρη (ελάχιστο, μέγιστο) των κατανομών στις τιμές ανά μήνα, τα οποία είναι πολύ ενδιαφέροντα και χρήζουν περαιτέρω σχολιασμού.

Οι **ελάχιστες** τιμές που παρατηρήθηκαν σε όλη αυτήν την περίοδο κυμαίνονται μεταξύ 279-420 ppm CO<sub>2</sub> για το Ε1 και 259-455 ppm CO<sub>2</sub> για το ΟΛ1. Οι τιμές αυτές μπορούν να θεωρηθούν σε γενικές γραμμές ότι αντικατοπτρίζουν τις τιμές του CO<sub>2</sub> στο χώρο εκτός του σχολείου και βρίσκονται κοντά στις τιμές που δίνουν οι διεθνείς αναφορές για τον παγκόσμιο μέσο όρο του CO<sub>2</sub> για το 2019 (περίπου 410 ppm<sup>55</sup>).

Οι **μέγιστες** τιμές, που παρατηρήθηκαν στην περίοδο Ιανουαρίου-Ιουνίου μέσα στις δυο τάξεις στο σχολείο μας, κυμαίνονται μεταξύ 500-1860 ppm CO<sub>2</sub> για το Ε1 και 478-1630 ppm CO<sub>2</sub> για το ΟΛ1, τιμές που για εσωτερικούς χώρους μεγάλης συγκέντρωσης ανθρώπων, έντονης και συνεχούς δραστηριότητας δεν μπορούν να θεωρηθούν αναμενόμενα υψηλοί. Οι λόγοι της μη εκτόξευσης των τιμών του CO<sub>2</sub> σε ανησυχητικά επίπεδα θα πρέπει να αναζητηθούν μάλλον στην ελλιπή μόνωση του κτιρίου και στον επαρκή αερισμό του, που υποβοηθείται από την



Εικόνα 49: Συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> ανά τάξη ανά μήνα.

<sup>55</sup> Πχ. βλ. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html> και <https://www.co2.earth/annual-co2>

προνομιακή χωροθέτησή του σε ύψωμα εκτεθειμένο στους ανέμους.

Από τις διακυμάνσεις των τιμών του CO<sub>2</sub> ανά μήνα προκύπτει επίσης το ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι οι τιμές και στις δυο αίθουσες ακολουθούν μια αυξητική τάση από Φεβρουάριο<sup>56</sup> μέχρι Απρίλιο και μια τάση μείωσης από Απρίλιο μέχρι Ιούνιο. Η τάση αύξησης, με κορύφωση τιμών μάλιστα τον Απρίλιο και για τα δυο τμήματα (E1 και OΛ1) μπορεί να εξηγηθεί από δυο παράγοντες: από το ότι, μέχρι τον Απρίλιο, η θερμοκρασία έχει ανέβει αλλά όχι επαρκώς, ώστε να κάνει τους χρήστες της αίθουσας να εντατικοποιήσουν τον εξαερισμό της, και από το ότι πιθανόν ο ερχομός της θερμής περιόδου αυξάνει τους μεταβολικούς ρυθμούς των ανθρώπων με αποτέλεσμα να εκπνέουν περισσότερο CO<sub>2</sub>. Η τάση μείωσης και για τα δυο τμήματα μπορεί να εξηγηθεί από την μεγιστοποίηση των ενεργητικών προσπαθειών εξαερισμού για την αντιμετώπιση της ζέστης (με παράπλευρη απώλεια το CO<sub>2</sub>) και από την αντίστροφη σχέση συσχέτισης που βρήκαμε να έχει η θερμοκρασία με το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, δηλαδή όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία τόσο πέφτει το CO<sub>2</sub>, επειδή αυξάνεται η κινητική ενέργεια του αερίου με αποτέλεσμα περισσότερα μόρια CO<sub>2</sub> να διαφεύγουν από τις σχολικές αίθουσες.

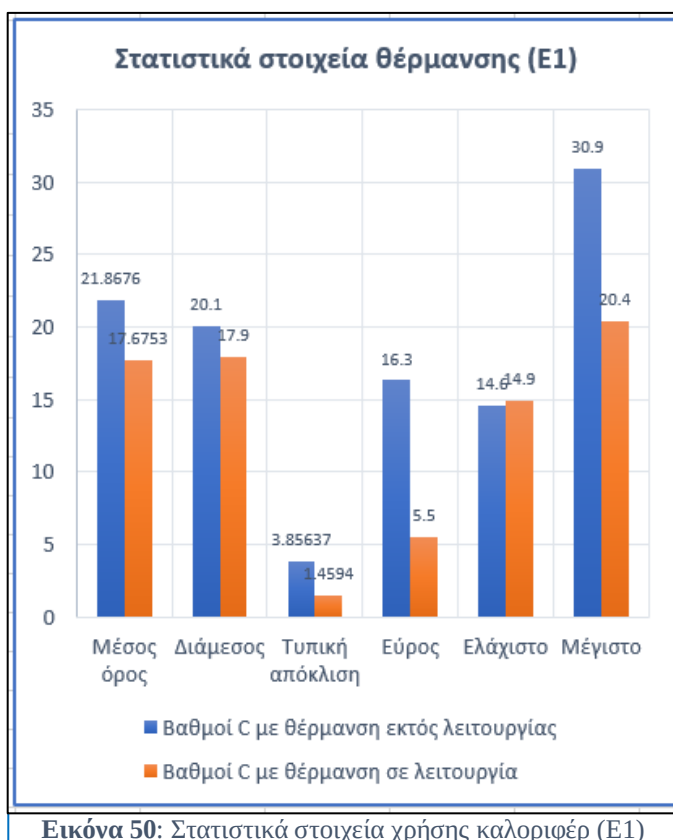
Με βάση τα ως τώρα αποτελέσματα και την παραπάνω συζήτηση, ήταν μη αναμενόμενη η μη επίδραση της χρήσης της κεντρικής θέρμανσης στις συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub>. Η ανάλυσή μας έδειξε ότι, είτε είναι σε λειτουργία τα καλοριφέρ είτε όχι, δεν φαίνεται να παίζει ρόλο στο CO<sub>2</sub> στη σχολική αίθουσα του E1 (μια και στην αίθουσα OΛ1 δεν μπόρεσαν να γίνουν μετρήσεις με καλοριφέρ σε λειτουργία, αφού τις απογευματινές ώρες δεν είναι ποτέ σε λειτουργία η κεντρική θέρμανση του σχολικού κτιρίου).

Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε αυτό το - σε πρώτη άποψη - παράδοξο αποτέλεσμα στραφήκαμε και πάλι στα δεδομένα καταγραφής, ελπίζοντας ότι θα μας παράσχουν μια πειστική εξήγηση αυτής της ανακολουθίας σε σχέση με τα προηγούμενα αποτελέσματά μας.

<b>Πίνακας 36:</b> Στατιστικά στοιχεία της μεταβλητής για τη θέρμανση (E1)		
	°C με θέρμανση εκτός λειτουργίας	°C με θέρμανση σε λειτουργία
Valid	469	89
Τιμές(N)Missing	0	0
Mean	21,8676	17,6753
Median	20,1000	17,9000
Std. Deviation	3,85637	1,45940
Range	16,30	5,50
Minimum	14,60	14,90
Maximum	30,90	20,40

<sup>56</sup> Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι δεν έγιναν μετρήσεις στο OΛ1 τον Ιανουάριο. Η αρχική μας σκέψη ήταν να κάνουμε μετρήσεις μόνο σε μια αίθουσα. Μετά συνειδητοποιήσαμε ότι, εφόσον εμπλεκόμαστε διδακτικά και σε άλλη αίθουσα με τελείως άλλα χαρακτηριστικά, θα ήταν πραγματικά κρίμα να μην εκμεταλλευτούμε τη δυνατότητα και αρχίσαμε μετρήσεις και στη δεύτερη αίθουσα.

Ο παραπάνω πίνακας των περιγραφικών στατιστικών δεδομένων της μεταβλητής της θέρμανσης (θερμοκρασία αίθουσας σε °C) για την αίθουσα E1 (και η διπλανή του οπτικοποίηση σε γράφημα) νομίζουμε ότι ξεκαθαρίζει τη σύγχυση. Την ψυχρή περίοδο του έτους, ακόμα και με τη χρήση των θερμαντικών σωμάτων της αίθουσας δεν καταφέρνει να αυξηθεί η θερμοκρασία του χώρου σημαντικά πάνω από τους 20°C (μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή 20.4°C, με μέσο όρο τους 17.67°C, τις μέρες και ώρες λειτουργίας της θέρμανσης (καλοριφέρ), ενώ, συγκριτικά, τη θερμή περίοδο (μη λειτουργίας της θέρμανσης) η θερμοκρασία κυμαίνεται κατά μέσο όρο στους 21.86°C.



Πιθανολογούμε, λοιπόν, ότι η συνήθης θερμοκρασία του χώρου το χειμώνα ( $\approx 17.5^\circ\text{C}$ ), ακόμα και αν λειτουργεί η θέρμανση, δεν επαρκεί για να προσφέρει την απαιτούμενη κινητική ενέργεια στο αέριο του  $\text{CO}_2$ , ώστε να συνεισφέρει, ως παράγοντας, στη διαφυγή του αερίου από την αίθουσα και άρα να επηρεάσει τη συγκέντρωσή του στο χώρο. Έτσι νομίζουμε ότι μπορεί να ερμηνευτεί το αποτέλεσμα που προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων μας για τα καλοριφέρ, σύμφωνα με το οποίο η λειτουργία της θέρμανσης δεν επηρεάζει το  $\text{CO}_2$  καθώς δεν φτάνει στην απαιτούμενη τιμή, παρόλο που το  $\text{CO}_2$ , ως αέριο, επηρεάζεται γενικά από τη θερμοκρασία.

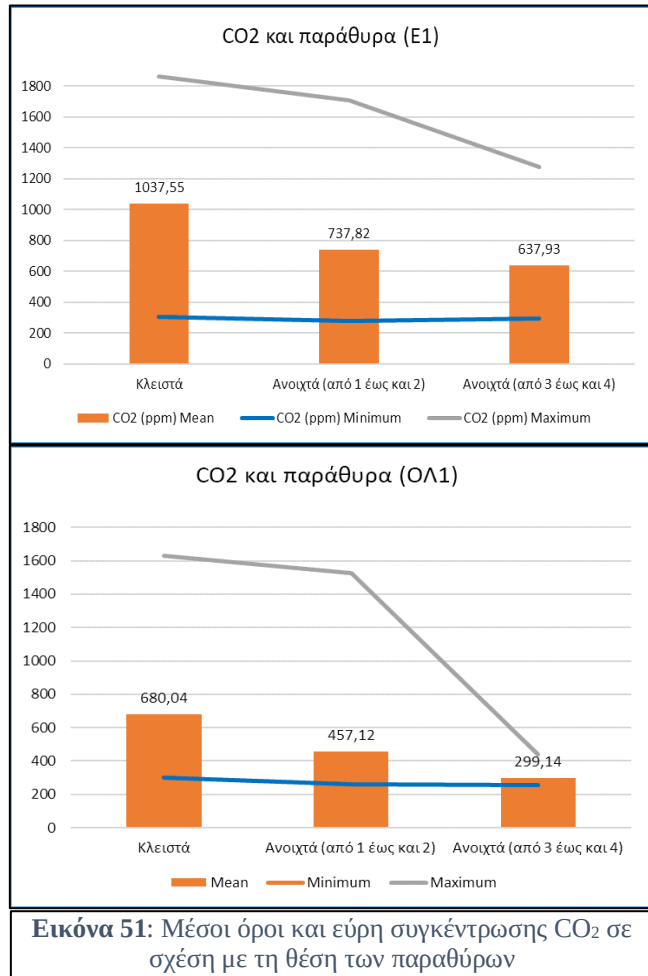
Η ανάλυση ANOVA, αναφορικά με τη σχέση των παραθύρων και του επιπέδου συγκέντρωσης του  $\text{CO}_2$  μέσα και στις δυο τάξεις (E1 και OΛ1), έδειξε ότι όταν τα παράθυρα είναι ανοιχτά ή κλειστά, καθώς και το πόσα παράθυρα είναι ανοιχτά, έχει στατιστικά σημαντική σχέση με το επίπεδο του  $\text{CO}_2$ . Πρόκειται, φυσικά, για λογικό και αναμενόμενο αποτέλεσμα, αφού η ύπαρξη διεξόδων εξαερισμού, μέσω των παραθύρων, δίνει διέξοδο διαφυγής στο αέριο του  $\text{CO}_2$  με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και να μειώνεται η συγκέντρωσή του μέσα στις αίθουσες.



Παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ των επιπέδων του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα E1 (συγκριτικά υψηλότερες συγκεντρώσεις) και των επιπέδων του CO<sub>2</sub> στην αίθουσα ΟΛ1 (συγκριτικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις), παρόλο που τα παράθυρα στην αίθουσα E1 έχουν μείνει πολύ πιο συχνά ανοιχτά (219 μετρήσεις κλειστά έναντι 339 ανοιχτά, λόγος 1:1,54) από όσο στην αίθουσα ΟΛ1 (160 μετρήσεις κλειστά έναντι 142 ανοιχτά, λόγος 1:0,88).

Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις εξής αιτίες:

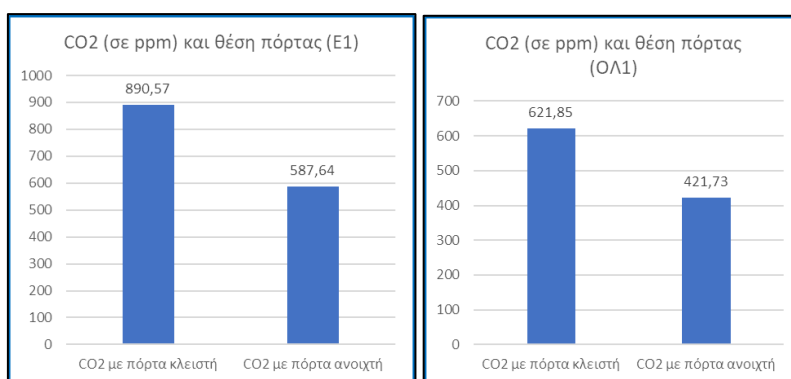
- έγιναν λιγότερες μετρήσεις στην αίθουσα ΟΛ1 από όσες στην αίθουσα E1 με αποτέλεσμα ίσως να έχει αλλοιωθεί κάπως η εικόνα των συνόλων των μετρήσεων.
- οι ώρες λειτουργίας του ολοήμερου προγράμματος του σχολείου είναι οι μισές από τις ώρες του πρωινού προγράμματος, με αποτέλεσμα να μην προλαβαίνει να συσσωρευτεί τόσο CO<sub>2</sub> όσο το πρωί.
- τις ώρες λειτουργίας του ολοήμερου το υπόλοιπο σχολείο είναι άδειο, άρα η αίθουσα δεν «επιβαρύνεται» από CO<sub>2</sub> προερχόμενο από μαθητές/τριες άλλων τάξεων.
- μία από τις τρεις ώρες λειτουργίας του ολοήμερου προγράμματος οι μαθητές/μαθήτριες του τμήματος δεν είναι στην αίθουσα ΟΛ1 αλλά στην αίθουσα της τραπεζαρίας για σίτιση, συνεπώς δεν συνεισφέρουν στο CO<sub>2</sub> της αίθουσας, με αποτέλεσμα η συνολική συσσώρευση CO<sub>2</sub> στην αίθουσα ΟΛ1 να παραμένει χαμηλότερη από του E1.
- κατά τη διάρκεια της ώρας που πραγματοποιείται η σίτιση των μαθητών στην αίθουσα της τραπεζαρίας, η αίθουσα ΟΛ1 αερίζεται αφού τα παράθυρά της παραμένουν ανοιχτά για αυτό το σκοπό, με αποτέλεσμα όχι μόνο να μην έχουμε επιπλέον συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> τη συγκεκριμένη ώρα αλλά, αντιθέτως, να έχουμε διαφυγή του.
- τα ανοίγματα αερισμού της αίθουσας ΟΛ1 είναι μεγαλύτερα από αυτά της αίθουσας E1. Συγκεκριμένα στην E1 τα φύλλα των παραθύρων που ανοίγουν έχουν εμβαδό 4X0,81



$m^2=3.24 m^2$ , ενώ στην ΟΛ1 έχουν εμβαδό  $4 \times 1,07 m^2=4.28 m^2$ . Άρα τα παράθυρα στο ΟΛ1 πετυχαίνουν καλύτερο (γρηγορότερο) ρυθμό εξαερισμού.

Οι παραπάνω επισημάνσεις μπορεί να υποστηριχθεί ότι ισχύουν για όλες τις περιπτώσεις που παρατηρούμε χαμηλότερες τιμές  $CO_2$  ή μη στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα στην αίθουσα ΟΛ1 από εκείνες της αίθουσας Ε1.

Η σύγκριση των μέσων όρων με το t κριτήριο, σχετικά με το αν επηρεάζουν το επίπεδο του  $CO_2$  οι πόρτες, όταν είναι ανοιχτές ή όταν είναι κλειστές, έδειξε -και στις δυο αίθουσες- ότι έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση στο επίπεδο της συσσώρευσης του  $CO_2$  στο εσωτερικό περιβάλλον της αίθουσας, πράγμα που είναι το αναμενόμενο αποτέλεσμα, μια και η πόρτα αποτελεί άλλη μια σημαντική διέξοδο εξαερισμού και διαφυγής του  $CO_2$  προς το εξωτερικό περιβάλλον.

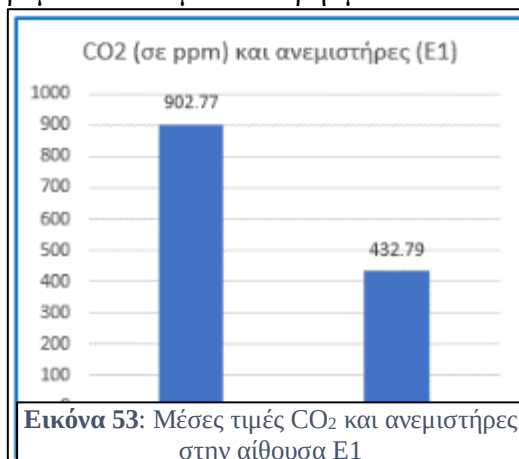


Εικόνα 52: Μέσες τιμές  $CO_2$  και πόρτες στις αίθουσες Ε1 και ΟΛ1

Άρα, όταν η πόρτα είναι ανοιχτή, με βάση το γεγονός ότι «λειτουργεί» σε συνέργεια με τα ανοιχτά παράθυρα, τόσο της εκάστοτε αίθουσας όσο και των διαδρόμων του σχολικού κτιρίου γενικότερα (μια και η πόρτα ανοίγει μόνο σε περιπτώσεις ανεβασμένης θερμοκρασίας με συνέπεια και τα παράθυρα να είναι ανοιχτά) είναι αναπόφευκτό να δημιουργήσει διαφυγές για το  $CO_2$  και να διατηρήσει τη συγκέντρωσή του σε χαμηλά επίπεδα.

Αναφορικά με τους ανεμιστήρες των αιθουσών και την επίδραση που έχει η χρήση τους στο επίπεδο συγκέντρωσης του  $CO_2$  μέσα στις τάξεις, δεν μπορέσαμε να προχωρήσουμε σε ολοκληρωμένες συγκρίσεις, όπως επιθυμούσαμε, γιατί, αφενός, οι επιτοίχιοι ανεμιστήρες (ανεμιστήρες «ανάδευσης» του αέρα στις τάξεις) παρέμεναν πεισματικά σβησμένοι κατά τις μετρήσεις μας, λόγω του έντονου θορύβου που προκαλούν, και, αφετέρου, ανεμιστήρες εξόδου αέρα πάνω από τα παράθυρα υπάρχουν μόνο στην αίθουσα Ε1 (βλ. και ενότητες 2.4.α και 2.4.β).

Πάντως, η σύγκριση των μέσων όρων με το t κριτήριο, σχετικά με το αν επηρεάζουν το επίπεδο του  $CO_2$  οι ανεμιστήρες των παραθύρων του Ε1, έδειξε ότι οι μέσοι όροι του  $CO_2$  με

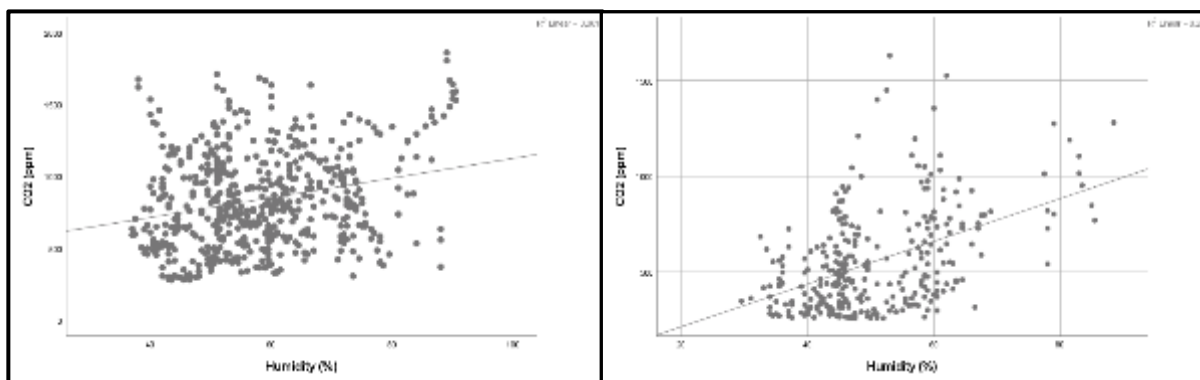


Εικόνα 53: Μέσες τιμές  $CO_2$  και ανεμιστήρες στην αίθουσα Ε1

αδρανείς ανεμιστήρες και του CO<sub>2</sub> με ανεμιστήρες σε λειτουργία έχουν σημαντική διαφορά, με αυτόν που αφορά τους σβηστούς ανεμιστήρες να είναι σημαντικά υψηλότερος από αυτόν που αφορά τους ανεμιστήρες σε λειτουργία.

Μάλιστα η διαφορά των μέσων όρων του συγκεντρωμένου CO<sub>2</sub> είναι τόσο έντονη που, όταν είναι σε λειτουργία οι ανεμιστήρες, το CO<sub>2</sub> είναι **λιγότερο από το μισό** απ' όταν δεν είναι σε λειτουργία (Μ.Ο. CO<sub>2</sub> χωρίς ανεμιστήρες = 902,77 ppm, ενώ Μ.Ο. CO<sub>2</sub> με ανεμιστήρες = 432,79 ppm). Δεδομένου ότι ο σταθμός Mauna Loa της Χαβάης έδινε 414,47 ppm για τον Αύγουστο του 2021 (βλ. και 1.2.2), πράγμα που γίνεται γενικά δεκτό ως ένδειξη για το μέσο όρο της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> σε πλανητικό επίπεδο, γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι η λειτουργία των δυο ανεμιστήρων εξόδου (σε συνδυασμό με την κομβική τοποθέτησή τους ψηλά στα παράθυρα της αίθουσας) **είναι σε θέση να απομακρύνει το σύνολο σχεδόν του συγκεντρωμένου CO<sub>2</sub> μέσα από την τάξη** και, συνεπώς, να αποσοβήσει τις αρνητικές επιπτώσεις του CO<sub>2</sub> τόσο στην υγεία όσο και στην παραγωγικότητα των χρηστών της σχολικής αίθουσας.

Η συνεξέταση του επιπέδου του CO<sub>2</sub> μέσα στην σχολική αίθουσα σε συνδυασμό με την εξωτερική υγρασία με χρήση του συντελεστή συσχέτισης Pearson έδειξε θετική συσχέτιση, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο υψηλότερη είναι η εξωτερική υγρασία, τόσο αυξάνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα, με το μέγεθος της επίδρασης να θεωρείται χαμηλό στην



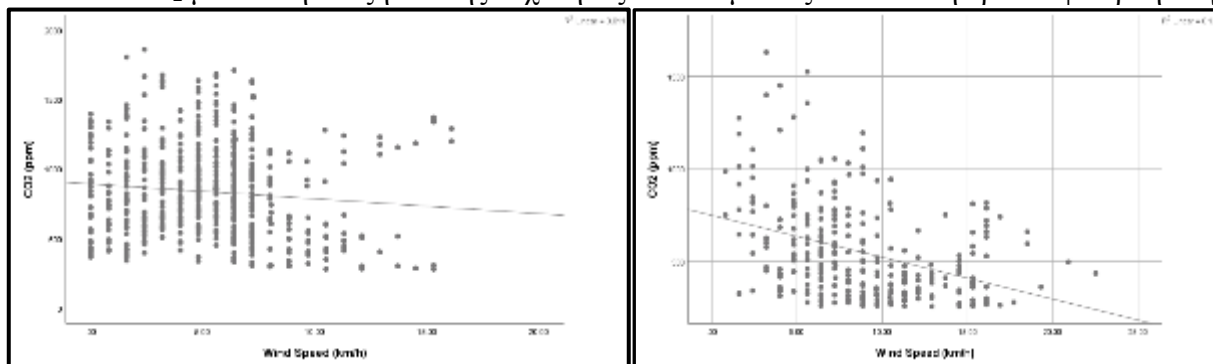
**Εικόνα 54:** Διαγράμματα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και υγρασίας (αίθουσα E1 και αίθουσα OL1)

περίπτωση του E1 (πρωινές ώρες) και μέτριο στην περίπτωση του OL1 (μεσημεριανές ώρες).

Αυτή η διαφοροποίηση θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι είναι σύνηθες το πρωί της ημέρας να υπάρχει αυξημένη υγρασία στην ατμόσφαιρα, έτσι και αλλιώς. Αν, όμως, η υγρασία παραμένει υψηλή και το μεσημέρι κάποιας μέρας τότε μάλλον μπορούμε να υποθέσουμε ότι αυτή η μέρα χαρακτηρίζεται από άπνοια και άρα δεν διασκορπίζεται ούτε η υγρασία, ούτε το CO<sub>2</sub>. Στην ουσία οι μεταβλητές υγρασία και επίπεδο CO<sub>2</sub> συσχετίζονται, όχι

αιτιολογικά μεταξύ τους<sup>57</sup>, αλλά με μια τρίτη μεταβλητή (την ταχύτητα του ανέμου) που επηρεάζει και τις δυο και θα παρουσιάσουμε ευθύς αμέσως.

Από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson αναφορικά με τη σχέση του επιπέδου CO<sub>2</sub> μέσα στην τάξη και της ταχύτητας του ανέμου έξω από αυτή προέκυψε αρνητική

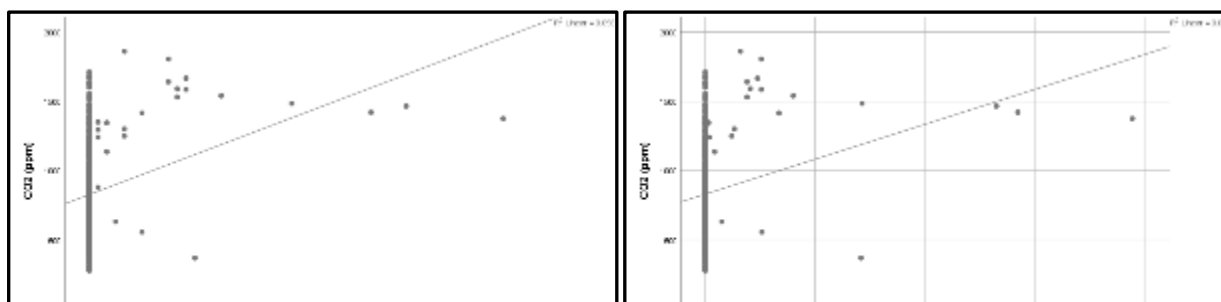


**Εικόνα 55:** Διαγράμματα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (αίθουσα E1 και αίθουσα O11)

συσχέτιση, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο δυνατότερος είναι ο άνεμος εκτός κτιρίου, τόσο μειώνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub> μέσα στο κτίριο, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται πολύ χαμηλό, τόσο στην περίπτωση του E1 όσο και στην περίπτωση του O11. Η χαμηλή επίδραση θα μπορούσε να εξηγηθεί από το ότι, όταν ο άνεμος είναι δυνατός, οι χρήστες των αιθουσών του σχολείου κλείνουν τα παράθυρα για να προστατευτούν από το δυνατό άνεμο περιορίζοντας συνεπώς την επίδρασή του στη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> μέσα στην τάξη, χωρίς πάντως να καταφέρουν να την αντιστρέψουν εντελώς.

Ολοκληρώνοντας τη διερεύνηση των γενικότερων καιρικών συνθηκών και της σχέσης τους με τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στις αίθουσες, εξετάζουμε την επίδραση της βροχής και της έντασης της βροχόπτωσης με το επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στις αίθουσες του σχολείου. Η συνεξέταση τη βροχής (βροχόπτωση) με την ένταση της βροχόπτωσης ήταν, φυσικά, μονόδρομος αφού η δεύτερη μεταβλητή επηρεάζει την πρώτη με σχέση αιτίου-αιτιατού.

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson έδειξε θετική συσχέτιση ανάμεσα στη σχέση του επιπέδου συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα και στη βροχή εξωτερικά του κτιρίου, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο περισσότερο βρέχει, τόσο αυξάνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν



**Εικόνα 56:** Διαγράμματα διασποράς σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και βροχής, καθώς και σχέσεων τιμών CO<sub>2</sub> και έντασης βροχής (αίθουσα E1)

<sup>57</sup> “Correlation is not causation”.

και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται χαμηλό. Παρόμοια εικόνα έχουμε και από την εξέταση του επιπέδου CO<sub>2</sub> εσωτερικά και της έντασης της βροχόπτωσης εξωτερικά, με θετική κατεύθυνση της συσχέτισης, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο εντονότερος είναι ο ρυθμός της βροχόπτωσης, τόσο αυξάνεται και το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, αν και το μέγεθος της επίδρασης θεωρείται επίσης χαμηλό.

Η προφανής εξήγηση των θετικών συσχετίσεων βροχόπτωσης και έντασης της βροχόπτωσης με τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> μέσα στην αίθουσα είναι ότι η βροχή οδηγεί τους χρήστες της αίθουσας στο να κλείσουν τα παράθυρα για να προστατευτούν από τη βροχή με αποτέλεσμα να «παγιδεύεται» το CO<sub>2</sub> και να αυξάνεται μέσα στην αίθουσα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα, δυστυχώς, αφορούν μόνο την αίθουσα E1, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα της αίθουσας OΛ1 και στις δυο περιπτώσεις δεν ήταν στατιστικώς σημαντικά.

## 4.2 Γενικά συμπεράσματα

Η έρευνά μας πραγματοποιήθηκε σε δυο αίθουσες του 27<sup>ου</sup> Δημοτικού σχολείου Περιστερίου κατά τη διάρκεια του πρώτου εξαμήνου του 2019. Κάθε αίθουσα βρισκόταν σε διαφορετικό όροφο, είχε διαφορετικά χαρακτηριστικά και φιλοξενούσε διαφορετικές τάξεις που έκαναν μαθήματα σε αυτές. Στη μία επρόκειτο για το τμήμα Ε1 της Ε τάξης με 12<sup>58</sup> μαθητές και μαθήτριες, ηλικίας 10-11 χρονών. Στην άλλη ήταν το τμήμα ΟΛ1 του ολοήμερου προγράμματος του σχολείου με 16<sup>59</sup> μαθητές και μαθήτριες, ηλικίας 7-11 χρονών.

Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να επισημάνουμε ότι, δεδομένων των τόσο διαφορετικών παραμέτρων και συνθηκών που ίσχυαν στις δυο τάξεις και στις δυο αίθουσες που έγιναν οι καταγραφές μας, τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι επιστημονικά σωστό να συγκριθούν σε κανένα επίπεδο. Το μόνο που μπορεί να κάνουν είναι να επιβεβαιώνουν ή να ακυρώνουν τα ευρήματά μας, ενισχύοντας ή αντικρούοντας η μια περίπτωση τα αποτελέσματα της άλλης. Δηλαδή, αν και δεν μπορούν να γίνουν συγκρίσεις, μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα, όταν τα αποτελέσματα της μιας περίπτωσης συμφωνούν με τα αποτελέσματα της άλλης. Αν και είναι παρακινδυνευμένο διάβημα σε επίπεδο ερμηνείας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, αφού έχουμε παρόμοια αποτελέσματα στις συσχετίσεις μας, παρόλο που ισχύουν τόσο διαφορετικές συνθήκες στις δυο αυτές τάξεις, τότε μάλλον αυτές οι συσχετίσεις επιβεβαιώνονται η μια από την άλλη, αφού φαίνονται να ισχύουν σε τόσο διαφορετικά περιβάλλοντα και υπό τόσο διαφορετικές συνθήκες.

Το 27<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο Περιστερίου, από τη χωροθέτηση και τις ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτό, φαίνεται να μην επιβαρύνεται στην καθημερινή του λειτουργία από υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> που προέρχονται είτε από τους χρήστες του κτιρίου, είτε από άλλες «πηγές» CO<sub>2</sub> γύρω του.

Η επιβάρυνση των αιθουσών από το CO<sub>2</sub> φαίνεται να επηρεάζεται από τον αριθμό των μαθητών που είναι μέσα στην τάξη, από το αν είναι ώρα μαθήματος ή ώρα διαλείμματος που μεταφράζεται σε έλλειψη παιδιών στην τάξη και μεγάλη πιθανότητα να είναι ανοιχτά τα παράθυρα. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν το πιο αναμενόμενο στην έρευνά μας, μια και το CO<sub>2</sub> το παράγει ο ανθρώπινος οργανισμός και το εκβάλλει σε κάθε περιβάλλον που βρίσκεται με την εκπνοή. Αυτό που προκαλεί εντύπωση στο συγκεκριμένο εύρημα δεν είναι το ότι ο αριθμός των ατόμων σε ένα χώρο αυξάνει το CO<sub>2</sub> στο χώρο αυτό, αλλά το ότι βρέθηκε αδύναμη σχέση

---

<sup>58</sup> Ο αριθμός αυτός μπορεί να αυξανόταν μέχρι τους 15 μαθητές, σε περίπτωση που φιλοξενούσαμε μαθητές από άλλες τάξεις, ή να μειωνόταν μέχρι και τους 4 σε περίπτωση ημέρας σχολικής εορτής.

<sup>59</sup> Ο αριθμός αυτός μπορεί να κορυφωνόταν μέχρι τους 27 μαθητές σε περίπτωση συνδιδασκαλίας των ΟΛ1 και ΟΛ2 τμημάτων του ολοήμερου ή και να μειωνόταν μέχρι και τους 4 σε περίπτωση ημέρας σχολικής εορτής.



στις δυο μεταβλητές, πράγμα που μάλλον πρέπει να αποδοθεί στο μικρό -αριθμητικά- μέγεθος των τάξεων.

Επίσης, το επίπεδο του CO<sub>2</sub> φαίνεται να επηρεάζεται αντίστροφα από τον μήνα με τους θερμότερους μήνες να έχουν χαμηλότερη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>, πράγμα αναμενόμενο αφού τους ζεστούς μήνες εντατικοποιείται ο αερισμός των αιθουσών με αποτέλεσμα το CO<sub>2</sub> να διαφεύγει προς το εξωτερικό περιβάλλον. Από την άλλη η λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης του κτιρίου του σχολείου δεν επαρκεί για να επηρεάσει το CO<sub>2</sub> λόγω του επιπέδου θερμοκρασίας, που συνήθως επιτυγχάνουν τα καλοριφέρ, το οποίο δεν ξεπερνά τους 20°C.

Αναμενόμενο αποτέλεσμα, επίσης, ήταν η σημαντική επίδραση που ασκούν στη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> το αν τα ανοίγματα της αίθουσας (πόρτα και παράθυρα και πόσα από τα παράθυρα) είναι ανοιχτά ή όχι, με τις υψηλότερες τιμές του αερίου να παρατηρούνται όταν τα ανοίγματα εξαερισμού είναι κλειστά, δηλαδή την ψυχρή περίοδο του έτους.

Αντίστοιχα αναμενόμενα ήταν τα αποτελέσματα που έδειξαν ότι οι ανεμιστήρες εξόδου αέρα από το πάνω μέρος των παραθύρων μειώνουν την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> μέσα στην τάξη. Μάλιστα, αποτέλεσε ευχάριστη έκπληξη για εμάς το πόσο αποτελεσματικοί είναι στην απομάκρυνση του CO<sub>2</sub>. Από την άλλη παραμένει η υποψία μας ότι οι ανεμιστήρες «ανάδευσης» μπορεί να διευκολύνουν την ανακούφιση των χρηστών της αίθουσας από τη θερμική επιβάρυνση, αλλά δεν συνεισφέρουν στην απομάκρυνση των ατμοσφαιρικών ρύπων που συγκεντρώνονται μέσα στις αίθουσες και δη του CO<sub>2</sub>. Δυστυχώς, δεν μπορέσαμε να επιβεβαιώσουμε την υποψία μας αυτή για αυτόν τον τύπο των ανεμιστήρων, δεδομένου ότι δεν καταφέραμε να συγκεντρώσουμε αρκετά δεδομένα από τη χρήση τους, μια και συστηματικά παραμένουν ανενεργοί, λόγω του ενοχλητικού θορύβου που προκαλούν. Για τον έλεγχο αυτής της υπόθεσης θα πρέπει να επαναληφθεί η πειραματική συνθήκη, για να εξαχθούν ουσιαστικά συμπεράσματα.

Αναφορικά με τον έλεγχο των εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών, τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι εκείνες οι παράμετροι που οδηγούν τους χρήστες της κάθε σχολικής αίθουσας να προστατευτούν από τις αντίξοες μετεωρολογικές συνθήκες (όπως η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η βροχή) με τον μόνο διαθέσιμο τρόπο, δηλαδή κλείνοντας τα ανοίγματα του χώρου (πόρτες και παράθυρα), οδηγεί αναπόδραστα σε επιβάρυνση του χώρου με επιπλέον CO<sub>2</sub>.

Τα αποτελέσματά μας συνάδουν με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αντίστοιχες ερευνητικές μελέτες της παγκόσμιας βιβλιογραφίας για χώρους σχολείων αλλά και εργασίας (Siskos et al. 2001 p. 192; Fanger 2006; Griffiths & Eftekhari 2008; Al-Rashidi et al. 2012; Haverinen-Shaughnessy et al. 2015; Fisk et al. 2019; Jacobson et al. 2019).

Στη μείωση της επιβάρυνσης της εσωτερικής ατμόσφαιρας από τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στα σχολεία μπορεί να συμβάλλει η μείωση του αριθμού των μαθητών ανά τάξη, η βελτίωση του ρυθμού εξαερισμού με ανεμιστήρες τοίχου ή παραθύρων, η εγκατάσταση συστημάτων εξαερισμού, η πρόνοια για τον εξαερισμό στα σχολεία από τους ίδιους τους χρήστες των αιθουσών των σχολείων, καθώς και η αύξηση του χρόνου των διαλειμμάτων ανάμεσα στα μαθήματα, ώστε να προλαβαίνουν οι συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> να απομακρύνονται μέσω του εξαερισμού, τόσο φυσικού, όσο και τεχνητού (Siskos et al. 2001; Al-Rashidi et al. 2012).

Πολύ ενθαρρυντικό για εμάς, πάντως, ήταν το θετικό αποτέλεσμα, που προέκυψε από την έρευνα μας, ότι με μια εύκολη και σχετικά φθηνή λύση, που είναι η εγκατάσταση ανεμιστήρων εξόδου αέρα στο πάνω μέρος των παραθύρων, αντιμετωπίζεται ουσιαστικά το πρόβλημα της συσσώρευσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα της σχολικής τάξης. Και, δεδομένου ότι το CO<sub>2</sub> θεωρείται γενικός δείκτης της ύπαρξης ανθρωπογενών ρύπων στην ατμόσφαιρα, οι ανεμιστήρες αυτοί μπορεί να παρέχουν μια γενικότερη βελτίωση της ποιότητας του αέρα των σχολικών τάξεων.

### 4.3 Επίλογος

Δεδομένης της σημαντικότητας της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, όπως έχει προκύψει από πολυάριθμες έρευνες διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα, τόσο για την εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών υγιεινής στα εκπαιδευτικά κτίρια, όσο και για την καλύτερη επίδοση των μαθητών και μαθητριών μας, αλλά και για τη εύρυθμη λειτουργία της κάθε τάξης ειδικότερα,

- λαμβάνοντας υπόψη ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχουν εξαντλητικά δεδομένα για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στα ελληνικά σχολεία, μια και κάθε σχολείο επηρεάζεται από διαφορετικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες και ρυπογόνες πηγές και συνθήκες,
- λαμβάνοντας υπόψη την εκτεταμένη ποικιλομορφία των ελληνικών σχολικών κτιρίων και των εξαιρετικά διαφορετικών αναγκών που έχουν για να εξασφαλίσουν καλή ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα, και ιδιαίτερα στα μεγάλα αστικά κέντρα,
- λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη πρόνοιας αλλά και πολιτικής του ελληνικού κράτους γενικά, αλλά και του αρμόδιου Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων ειδικότερα, σε σχέση με τον καθορισμό προδιαγραφών και αντιμετώπισης των προβλημάτων που αφορούν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στα σχολεία της χώρας,
- λαμβάνοντας υπόψη την αστάθεια του κλίματος, λόγω της κλιματικής κρίσης, και της αύξησης των παγκοσμίων επιπέδων της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα αλλά και των άλλων ανθρωπογενών ρύπων που επηρεάζουν την υγεία και την ευημερία μας,

θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η περαιτέρω μελέτη των προβλημάτων και των αναγκών του συνόλου των ελληνικών σχολείων, αναφορικά με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στο καθένα ξεχωριστά, προκειμένου να διατυπωθούν προτάσεις προσαρμοσμένες στις ανάγκες κάθε σχολείου που θα βελτιώνουν τις συνθήκες λειτουργίας του και την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε αυτά, μια δράση που θα οδηγούσε στη βελτίωση της υγιεινής μέσα στα σχολεία αλλά και της επίδοσης των μαθητών και μαθητριών της χώρας.

## Αναφορές<sup>60</sup>

- Al-Rashidi, K., Loveday, D., & Al- Mutawa, N. (2012). ‘Impact of ventilation modes on carbon dioxide concentration levels in Kuwait classrooms’, *Energy and Buildings*, 47: 540–9. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.12.030
- ASHRAE. (2016). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (2016)-Ventilation for acceptable indoor air quality*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- Bierwirth, P. (2021). ‘Carbon dioxide toxicity and climate change: a serious unapprehended risk for human health’,. DOI: 10.13140/RG.2.2.16787.48168
- Britannica (Ed.). (2021). ‘Carbon Dioxide’. *Encyclopedia Britannica*.
- Britannica Kids (Ed.). (2021). ‘Carbon Dioxide’. *Encyclopedia Britannica for Kids*.
- EPA. (2012). *How does indoor air quality impact student health and academic performance? (Quick Guide)*, p. 2. Environmental Protection Agency (US). Retrieved from <[https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/student\\_performance\\_findings.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/student_performance_findings.pdf)>
- European Commission & European Environment Agency (Eds). (2013). *Environment and human health: joint EEA-JRC report*. EEA report. Luxembourg: Publ. Off. of the Europ. Union.
- Fanger, P. O. (1988). ‘Olf and decipol: New units for perceived air quality’, *Building Services Engineering Research and Technology*, 9/4: 155–7. DOI: 10.1177/014362448800900402
- . (2006). ‘What is IAQ?’, *Indoor Air*, 16/5: 328–34. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2006.00437.x
- Fisk, W., Wargocki, P., & Zhang, X. (2019). ‘Do Indoor CO<sub>2</sub> Levels Directly Affect Perceived Air Quality, Health, or Work Performance?’, *ASHRAE Journal*, 61/9: 70–7.
- Fowler, D. (2013). *Research findings in support of the EU air quality review*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Franchi, M., Carrer, P., Kotzias, D., Raemackers, E., Seppänen, O., van Bronswijk, J., & Viegi, G. (2004). *Towards Healthy Air in Dwellings in Europe. The THADE Report*.
- Griffiths, M., & Eftekhari, M. (2008). ‘Control of CO<sub>2</sub> in a naturally ventilated classroom’, *Energy and Buildings*, 40/4: 556–60. DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.04.013
- Haverinen-Shaughnessy, U., Shaughnessy, R. J., Cole, E. C., Toyinbo, O., & Moschandreas, D. J. (2015). ‘An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance’, *Building and Environment*, 93: 35–40. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.03.006
- Jacobson, T., Kler, J., Hernke, M., Braun, R., Meyer, W., & Funk, W. E. (2019). ‘Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide’, *Nature Sustainability*, 2/8: 691–701. DOI: 10.1038/s41893-019-0323-1
- Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A., Koletsis, I., Kopania, T., Lykoudis, S., Mazarakis, N., et al. (2017). ‘The automatic weather stations NOANN network of the National

---

<sup>60</sup> Oxford University Press Citation/Bibliography Style.

- Observatory of Athens: operation and database', *Geoscience Data Journal*, 4/1: 4–16.  
DOI: 10.1002/gdj3.44
- MacRae, S. (1998). *Περιγραφή και Ερμηνεία Δεδομένων*. Ψυχολογία, 3η. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- . (1999). *Επαγωγή από Στατιστικά Δεδομένα*. Ψυχολογία, 3η. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- OECD. (2018). *Education at a glance 2018, OECD Indicators.*, p. 462. Paris: OECD Publishing. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1787/eag-2018-en>.
- Persily, A. K. (2020). 'Quit Blaming ASHRAE Standard 62.1 for 1000 ppm CO<sub>2</sub>'.
- Rushing, S. A. (2011). 'Carbon dioxide applications – A key to ethanol project developments'. *Biofuels Digest*. Retrieved September 29, 2021, from <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2011/11/23/carbon-dioxide-applications-%E2%80%93-a-key-to-ethanol-project-developments/>
- Siskos, P. A., Bouba, K. E., & Stroubou, A. P. (2001). 'Determination of Selected Pollutants and Measurement of Physical Parameters for the Evaluation of Indoor Air Quality in School Buildings in Athens, Greece', *Indoor and Built Environment*, 10/3–4: 185–92.  
DOI: 10.1177/1420326X0101000311
- WHO. (2018). 'Household air pollution and health'. Retrieved July 27, 2019, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- WHO, E. (2000). *The right to healthy indoor air*. Bilthoven: World Health Organisation. Retrieved July 27, 2019, from <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/the-right-to-healthy-indoor-air>
- Wikipedia. (2021a). 'Carbon dioxide'. *Wikipedia*.
- . (2021b). 'Hypercapnia'. *Wikipedia*.
- . (2021c). 'Carbon dioxide sensor'. *Wikipedia*.
- . (2021d). 'Nondispersive infrared sensor'. *Wikipedia*.
- Yingying, Ch. (2019). *In-cabin carbon dioxide and health effects* (Technical Report). Retrieved February 5, 2022, from <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.22676.86405>
- Αβραμιώτης, Σ., Αγγελόπουλος, Β., Καπελώνης, Γ., Σινιγάλιας, Π., Σπαντίδης, Δ., Τρικαλίτη, Α., & Φίλος, Γ. (2019). *Χημεία - Β' Γυμνασίου*. Αθήνα: ΙΤΥΕ Διόφαντος.
- Δήμος Περιστερίου. (2015). *Επιχειρησιακό Πρόγραμμα 2015-2019.*, p. 347. Περιστερί. Retrieved August 28, 2019, from [http://www.peristeri.gr/files/053/Hλεκτρονικι\\_diakivernisi/epixeirisiako\\_programma/epixeirisiako\\_programma\\_2015-2019.pdf](http://www.peristeri.gr/files/053/Hλεκτρονικι_diakivernisi/epixeirisiako_programma/epixeirisiako_programma_2015-2019.pdf)
- ΕΛΣΤΑΤ. (2019). *Ελλάς με αριθμούς, Απρίλιος-Ιούνιος 2019* (Στατιστικά στοιχεία), p. 164. Αθήνα: Ελληνική Στατιστική Αρχή. Retrieved August 8, 2019, from <http://www.statistics.gr/greece-in-figures>
- . (2020). *Ελλάς με αριθμούς, Απρίλιος-Ιούνιος 2020* (Στατιστικά στοιχεία), p. 164. Αθήνα: Ελληνική Στατιστική Αρχή. Retrieved July 18, 2020, from <http://www.statistics.gr/greece-in-figures>
- Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας & Κοινωνικών Ασφαλίσεων. (2014). *Κώδικας Πρακτικής για Ποιότητα Αέρα Εσωτερικού Χώρου. Κ.Δ.Π.*, Vol. 519/2014.
- Παναγιωτακόπουλος, Χ., & Σαρρής, Μ. (2015). *Η εκπόνηση μια επιστημονικής εργασίας με τη χρήση των Τ.Π.Ε*. Περιστερί: Ίων.

- Παντελής, Σ. (1994). *Στατιστική II - Εφαρμοσμένη στις επιστήμες της Αγωγής*. Πάτρα: Εκδ. Πανεπιστημίου Πατρών.
- . (2003). *Μεθοδολογία Έρευνας στις Επιστήμες της Αγωγής*. Πάτρα: Εκδ. Πανεπιστημίου Πατρών.
- Παπαγεωργίου, Έ. (2017). *Βιοστατιστική και Εφαρμογές*, 2η. Αθήνα: New Tech Pub.
- Παρασκευόπουλος, Ι. (1993). *Μεθοδολογία Επιστημονικής Έρευνας*. Αθήνα.



## Γενικές Πηγές

Δόριζα, Παρασκευή. 2015. 'Ρύπανση εσωτερικού περιβάλλοντος από υπομετρικά σωματίδια με ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού σε κτίρια'. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Φυσικής. Τομέας Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας. <http://hdl.handle.net/10442/hedi/35297>.

Allen, Joseph G., Piers MacNaughton, Usha Satish, Suresh Santanam, Jose Vallarino, και John D. Spengler. 2016. 'Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments'. *Environmental Health Perspectives* 124 (6): 805–12. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>.

Alves, Céilia, Márcio Duarte, Marina Ferreira, Artur Alves, Adelaide Almeida, και Ângela Cunha. 2016. 'Air Quality in a School with Dampness and Mould Problems'. *Air Quality, Atmosphere & Health* 9 (2): 107–15. <https://doi.org/10.1007/s11869-015-0319-6>.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1985. *ASHRAE Handbook*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers: Atlanta, Ga.

Annesi-Maesano, Isabella, Nour Baiz, Soutrik Banerjee, Peter Rudnai, Solenne Rive, και the SINPHONIE Group. 2013. 'Indoor Air Quality and Sources in Schools and Related Health Effects'. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* 16 (8): 491–550. <https://doi.org/10.1080/10937404.2013.853609>.

Argunhan, Zeki, και Ali Serkan Avci. 2018. 'Statistical Evaluation of Indoor Air Quality Parameters in Classrooms of a University'. *Advances in Meteorology* 2018: 1–10. <https://doi.org/10.1155/2018/4391579>.

Babayiğit, Mustafa Alparslan, Bilal Bakir, Ömer Faruk Tekbaş, Recai Oğur, Abdullah Kiliç, και Serdar Ulus. 2014. 'Indoor Air Quality in Primary Schools in Keçiören, Ankara'. *TURKISH JOURNAL OF MEDICAL SCIENCES* 44: 137–44. <https://doi.org/10.3906/sag-1212-22>.

Bakó-Biró, Zs., D.J. Clements-Croome, N. Kochhar, H.B. Awbi, και M.J. Williams. 2012. 'Ventilation Rates in Schools and Pupils' Performance'. *Building and Environment* 48 (Φεβρουάριος): 215–23. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.018>.

Bakó-Biró, Zs, N Kochhar, D J Clements-Croome, H B Awbi, και M Williams. 2007. 'Ventilation Rates in Schools and Learning Performance', 9.

Batterman, S., F.-C. Su, A. Wald, F. Watkins, C. Godwin, και G. Thun. 2017. 'Ventilation Rates in Recently Constructed U.S. School Classrooms'. *Indoor Air* 27 (5): 880–90. <https://doi.org/10.1111/ina.12384>.

Becker, Rachel, Itamar Goldberger, και Monica Paciuk. 2007. 'Improving Energy Performance of School Buildings While Ensuring Indoor Air Quality Ventilation'. *Building and Environment* 42 (9): 3261–76. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.016>.

Belkayalı, Nur, Çiğdem Sakıcı, Elif Ayan, Esra Şenöz, και Hilal Karakaş. χ.χ. ‘Possibilities of Improving Indoor Air Quality in Classrooms through Plants’, 7.

Bennett, Julie, Perry Davy, Bill Trompetter, Yu Wang, Nevil Pierse, Mikael Boulic, Robyn Phipps, και Philippa Howden-Chapman. 2019. ‘Sources of Indoor Air Pollution at a New Zealand Urban Primary School; a Case Study’. *Atmospheric Pollution Research* 10 (2): 435–44. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.09.006>.

Berglund, B., B. Brunekreef, H. Knoppe, T. Lindvall, M. Maroni, L. Molhave, και P. Skov. 1992. ‘Effects of Indoor Air Pollution on Human Health’. *Indoor Air* 2 (1): 2–25. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1992.02-21.x>.

Bierwirth, P N. χ.χ. ‘Are Increasing Atmospheric Carbon Dioxide Levels Lowering Our Intelligence?’, 8.

Blondeau, P., V. Iordache, O. Poupard, D. Genin, και F. Allard. 2005. ‘Relationship between Outdoor and Indoor Air Quality in Eight French Schools’. *Indoor Air* 15 (1): 2–12. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00263.x>.

Canha, N., C. Mandin, O. Ramalho, G. Wyart, J. Ribéron, C. Dassonville, O. Hänninen, S. M. Almeida, και M. Derbez. 2016. ‘Assessment of Ventilation and Indoor Air Pollutants in Nursery and Elementary Schools in France’. *Indoor Air* 26 (3): 350–65. <https://doi.org/10.1111/ina.12222>.

Canha, Nuno, Maria Martinho, Marina Almeida Silva, Susana Marta Almeida, Priscilla Pegas, Célia Alves, Casimiro Pio, κ.ά. 2012. ‘Indoor Air Quality in Primary Schools’. *International Journal of Environment and Pollution* 50 (1/2/3/4): 396. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2012.051210>.

Carreiro-Martins, Pedro, Ana Luisa Papoila, Iolanda Caires, Susana Azevedo, Maria Manuela Cano, Daniel Virella, Paula Leiria-Pinto, κ.ά. 2016. ‘Effect of Indoor Air Quality of Day Care Centers in Children with Different Predisposition for Asthma’. *Pediatric Allergy and Immunology* 27 (3): 299–306. <https://doi.org/10.1111/pai.12521>.

Catalina, Tiberiu, και Vlad Iordache. 2012. ‘IEQ Assessment on Schools in the Design Stage’. *Building and Environment* 49 (Μάρτιος): 129–40. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.014>.

Chithra, V.S., και S.M. Shiva Nagendra. 2012. ‘Indoor Air Quality Investigations in a Naturally Ventilated School Building Located Close to an Urban Roadway in Chennai, India’. *Building and Environment* 54 (Αύγουστος): 159–67. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.016>.

Choo, Chua Poh, Juliana Jalaludin, Titi Rahmawati Hamedon, και Nor Mariah Adam. 2015. ‘Indoor Air Quality Assessment and Lung Functions among Children in Preschool at Selangor, Malaysia’, 9.

Clements-Croome, D.J., H.B. Awbi, Zs Bakó-Biró, N. Kochhar, και M. Williams. 2008. ‘Ventilation Rates in Schools’. *Building and Environment* 43 (3): 362–67. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.018>.

Coley, David A., και Alexander Beisteiner. 2002. 'Carbon Dioxide Levels and Ventilation Rates in Schools'. *International Journal of Ventilation* 1 (1): 45–52. <https://doi.org/10.1080/14733315.2002.11683621>.

Coley, David A., Rupert Greeves, και Brian K. Saxby. 2007. 'The Effect of Low Ventilation Rates on the Cognitive Function of a Primary School Class'. *International Journal of Ventilation* 6 (2): 107–12. <https://doi.org/10.1080/14733315.2007.11683770>.

Cornaro, Cristina, Alessandro Paravicini, και Annamaria Cimini. 2013. 'Monitoring Indoor Carbon Dioxide Concentration and Effectiveness of Natural Trickle Ventilation in a Middle School in Rome'. *Indoor and Built Environment* 22 (2): 445–55. <https://doi.org/10.1177/1420326X11430099>.

Corsi, RL, VM Torres, M Sanders, και KA Kinney. 2002. 'Carbon Dioxide Levels and Dynamics in Elementary Schools: Results of the TESIAs Study'. *Indoor Air*, 6.

Daisey, J. M., W. J. Angell, και M. G. Apte. 2003. 'Indoor Air Quality, Ventilation and Health Symptoms in Schools: An Analysis of Existing Information'. *Indoor Air* 13 (1): 53–64. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x>.

Deleut, Nijaz. χ.χ. 'Air Quality Issue in the EU'. Ημερομηνία πρόσβασης 6 Μάιος 2019. [https://www.academia.edu/11717731/AIR\\_QUALITY\\_ISSUE\\_IN\\_THE\\_EU](https://www.academia.edu/11717731/AIR_QUALITY_ISSUE_IN_THE_EU).

Dias Pereira, Luísa, Daniela Raimondo, Stefano Paolo Corgnati, και Manuel Gameiro da Silva. 2014. 'Assessment of Indoor Air Quality and Thermal Comfort in Portuguese Secondary Classrooms: Methodology and Results'. *Building and Environment* 81 (Νοέμβριος): 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.008>.

Dorizas, Paraskevi Vivian, Margarita-Niki Assimakopoulos, Constantinos Helmis, και Mattheos Santamouris. 2015. 'An Integrated Evaluation Study of the Ventilation Rate, the Exposure and the Indoor Air Quality in Naturally Ventilated Classrooms in the Mediterranean Region during Spring'. *Science of The Total Environment* 502 (Ιανουάριος): 557–70. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.060>.

Dorizas, Paraskevi Vivian, Margarita-Niki Assimakopoulos, και Mattheos Santamouris. 2015. 'A Holistic Approach for the Assessment of the Indoor Environmental Quality, Student Productivity, and Energy Consumption in Primary Schools'. *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (5). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4503-9>.

Duarte, Rogério, Maria da Glória Gomes, και António Moret Rodrigues. 2017. 'Classroom Ventilation with Manual Opening of Windows: Findings from a Two-Year-Long Experimental Study of a Portuguese Secondary School'. *Building and Environment* 124 (Νοέμβριος): 118–29. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.041>.

Eichholtz, Piet, Juan Palacios, Nils Kok, και Maartje Willeboordse. χ.χ. 'Indoor Environmental Quality and Human Performance: Evidence from a Large-Scale Field Study', 26.

Elbayoumi, Maher, Nor Azam Ramli, Noor Faizah Fitri Md Yusof, και Wesam Al Madhoun. 2015. 'Seasonal Variation in Schools' Indoor Air Environments and Health Symptoms among

Students in an Eastern Mediterranean Climate’. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 21 (1): 184–204. <https://doi.org/10.1080/10807039.2014.894444>.

Erdmann, CA, KC Steiner, και MG Apte. 2002. ‘Indoor Carbon Dioxide Concentrations and Sick Building Syndrome - Symptoms in the Base Study REvisited: Analyses of the 100 Building Dataset’. *Indoor Air*, 6.

Everett Jones, Sherry, Alisa M. Smith, Lani S. Wheeler, και Tim McManus. 2010. ‘School Policies and Practices That Improve Indoor Air Quality\*’. *Journal of School Health* 80 (6): 280–86. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2010.00502.x>.

Fabbri, Kristian. 2015. *Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children*. Springer.

Fadeyi, Moshood Olawale, Khawla Alkhaja, Maryam Bin Sulayem, και Bassam Abu-Hijleh. 2014. ‘Evaluation of Indoor Environmental Quality Conditions in Elementary Schools’ Classrooms in the United Arab Emirates’. *Frontiers of Architectural Research* 3 (2): 166–77. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.03.001>.

Finell, E., U. Haverinen-Shaughnessy, A. Tolvanen, S. Laaksonen, S. Karvonen, R. Sund, V. Saaristo, κ.ά. 2017. ‘The Associations of Indoor Environment and Psychosocial Factors on the Subjective Evaluation of Indoor Air Quality among Lower Secondary School Students: A Multilevel Analysis’. *Indoor Air* 27 (2): 329–37. <https://doi.org/10.1111/ina.12303>.

Fromme, H., J. Diemer, S. Dietrich, J. Cyrus, J. Heinrich, W. Lang, M. Kiranoglu, και D. Twardella. 2008. ‘Chemical and Morphological Properties of Particulate Matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) in School Classrooms and Outdoor Air’. *Atmospheric Environment* 42 (27): 6597–6605. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.047>.

Fromme, H., T. Lahrz, A. Hainsch, A. Oddoy, M. Piloty, και H. Ruden. 2005. ‘Elemental Carbon and Respirable Particulate Matter in the Indoor Air of Apartments and Nursery Schools and Ambient Air in Berlin (Germany)’. *Indoor Air* 15 (5): 335–41. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00377.x>.

Gaihre, Santosh, Sean Semple, Janice Miller, Shona Fielding, και Steve Turner. 2014. ‘Classroom Carbon Dioxide Concentration, School Attendance, and Educational Attainment’. *Journal of School Health* 84 (9): 569–74. <https://doi.org/10.1111/josh.12183>.

Geelen, L. M. J., M. A. J. Huijbregts, A. M. J. Ragas, R. W. Bretveld, H. W. A. Jans, W. J. van Doorn, S. J. C. J. Evertz, και A. van der Zijden. 2008. ‘Comparing the Effectiveness of Interventions to Improve Ventilation Behavior in Primary Schools’. *Indoor Air* 18 (5): 416–24. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2008.00542.x>.

Ghita, Stefan Alexandru, και Tiberiu Catalina. 2015. ‘Energy Efficiency versus Indoor Environmental Quality in Different Romanian Countryside Schools’. *Energy and Buildings* 92 (Απρίλιος): 140–54. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.049>.

Godwin, C., και S. Batterman. 2007. ‘Indoor Air Quality in Michigan Schools’. *Indoor Air* 17 (2): 109–21. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00459.x>.

Graudenz, G. S., M. R. D. O. Latorre, A. Tribess, C. H. Oliveira, και J. Kalil. 2006. 'Persistent Allergic Rhinitis and Indoor Air Quality Perception - an Experimental Approach'. *Indoor Air* 16 (4): 313–19. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00428.x>.

Grunwald, Juan E. 1993. 'Effects of Oxygen and Carbon Dioxide on Human Retinal Circulation'. *Investigative Ophthalmology* 34 (10): 5.

Haverinen-Shaughnessy, Ulla, και Richard J. Shaughnessy. 2015. 'Effects of Classroom Ventilation Rate and Temperature on Students' Test Scores'. Επιμέλεια Jeffrey Shaman. *PLOS ONE* 10 (8): e0136165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136165>.

Heebøll, Anna, Pawel Wargocki, και Jørn Toftum. 2018. 'Window and Door Opening Behavior, Carbon Dioxide Concentration, Temperature, and Energy Use during the Heating Season in Classrooms with Different Ventilation Retrofits—ASHRAE RP1624'. *Science and Technology for the Built Environment* 24 (6): 626–37. <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1432938>.

Hellwig, Runa Tabea, Florian Antretter, Andreas Holm, και Klaus Sedlbauer. χ.χ. 'The Use of Windows as Controls for Indoor Environmental Conditions in Schools', 16.

Heracleous, Chryso, και Aimilios Michael. 2018. 'Assessment of Overheating Risk and the Impact of Natural Ventilation in Educational Buildings of Southern Europe under Current and Future Climatic Conditions'. *Energy* 165 (Δεκέμβριος): 1228–39. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.051>.

Hou, Yuefei, Junjie Liu, και Jiayu Li. 2015. 'Investigation of Indoor Air Quality in Primary School Classrooms'. *Procedia Engineering* 121: 830–37. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.037>.

Houri, Daisuke, Yousuke Kanazawa, Ikuharu Morioka, και Kenji Matsumoto. χ.χ. 'Indoor Air Quality of Tottori University Lecture Rooms and Measures for Decreasing Carbon Dioxide Concentrations', 8.

Iddon, Christopher R, και Nick Hudleston. χ.χ. 'Poor Indoor Air Quality Measured in UK Classrooms, Increasing the Risk of Reduced Pupil Academic Performance and Health', 8.

Johnson, David L., Robert A. Lynch, Evan L. Floyd, Jun Wang, και Jacob N. Bartels. 2018. 'Indoor Air Quality in Classrooms: Environmental Measures and Effective Ventilation Rate Modeling in Urban Elementary Schools'. *Building and Environment* 136 (Μάιος): 185–97. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.040>.

Jovanović, Marina, Biljana Vučićević, Valentina Turanjanin, Marija Živković, και Vuk Spasojević. 2014. 'Investigation of Indoor and Outdoor Air Quality of the Classrooms at a School in Serbia'. *Energy* 77 (Δεκέμβριος): 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.080>.

Kalema, T., και M. Viot. 2014. 'Methods to Reduce the CO<sub>2</sub> Concentration of Educational Buildings Utilizing Internal Ventilation by Transferred Air'. *Indoor Air* 24 (1): 71–80. <https://doi.org/10.1111/ina.12059>.



Kapalo, Peter, Florin Domnita, Ciprian Bacotiu, και Martin Podolak. 2018. 'The Influence of Occupants' Body Mass on Carbon Dioxide Mass Flow Rate inside a University Classroom – Case Study'. *International Journal of Environmental Health Research* 28 (4): 432–47. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1483010>.

Kapalo, Peter, Ludmila Mečiarová, Silvia Vilčeková, Eva Krídlová Burdová, Florin Domnita, Ciprian Bacotiu, και Kinga-Eva Péterfi. 2019. 'Investigation of CO<sub>2</sub> Production Depending on Physical Activity of Students'. *International Journal of Environmental Health Research* 29 (1): 31–44. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1506570>.

Karapetsis, Alexandros, και Eleftheria Alexandri. γ.γ. 'Indoor Environmental Quality and Its Impacts on Health – Case Study: School Buildings', 7.

Kielb, C., S. Lin, N. Muscatiello, W. Hord, J. Rogers-Harrington, και J. Healy. 2015. 'Building-Related Health Symptoms and Classroom Indoor Air Quality: A Survey of School Teachers in New York State'. *Indoor Air* 25 (4): 371–80. <https://doi.org/10.1111/ina.12154>.

Kim, Sunyoung, και Eric Paulos. 2010. 'InAir: Sharing Indoor Air Quality Measurements and Visualizations'. Στο *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '10*, 1861. Atlanta, Georgia, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753605>.

Koornneef, Joris, Toon Van, Arjan Van, και Andrea Ramirez. 2011. 'Carbon Dioxide Capture and Air Quality'. Στο *Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality*, επιμέλεια Nicolas Mazzeo. InTech. <https://doi.org/10.5772/18075>.

Kuchen, Ernesto, M. Norbert Fisch, Marlon Leão, και Érika Borges Leão. 2009. 'Indoor Air Quality Defined by Measurements and Questionnaires in Office Buildings'. *Bauphysik* 31 (5): 313–18. <https://doi.org/10.1002/bapi.200910041>.

Kumar, Ashok, Pavankumar Pakala, και Rishi Kumar. 1998. 'Development of a World Wide Web Site for Indoor Air Quality'. *Environmental Progress* 17 (4): W11–15. <https://doi.org/10.1002/ep.670170409>.

Larsen, Annelise, και Anne Abildgaard. 1995. 'Paints Favourable to Indoor Air Quality: Proposed Selection Criteria and Evaluation'. *Indoor Air* 5 (1): 50–55. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1995.t01-3-00008.x>.

Lee, M.C., K.W. Mui, L.T. Wong, W.Y. Chan, E.W.M. Lee, και C.T. Cheung. 2012. 'Student Learning Performance and Indoor Environmental Quality (IEQ) in Air-Conditioned University Teaching Rooms'. *Building and Environment* 49 (Μάρτιος): 238–44. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.001>.

Lee, S.C, και M Chang. 2000. 'Indoor and Outdoor Air Quality Investigation at Schools in Hong Kong'. *Chemosphere* 41 (1–2): 109–13. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00396-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00396-3).

Lin, Shao, Christine L. Kielb, Amanda L. Reddy, Bonnie R. Chapman, και Syni-An Hwang. 2012. 'Comparison of Indoor Air Quality Management Strategies Between the School and



District Levels in New York State'. *Journal of School Health* 82 (3): 139–46. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2011.00677.x>.

Lowe, Robert J, Gesche M Huebner, και Tadj Oreszczyn. 2018. 'Possible Future Impacts of Elevated Levels of Atmospheric CO<sub>2</sub> on Human Cognitive Performance and on the Design and Operation of Ventilation Systems in Buildings'. *Building Services Engineering Research and Technology* 39 (6): 698–711. <https://doi.org/10.1177/0143624418790129>.

Luther, Mark B., Peter Horan, και Olubukola Tokede. 2018. 'Investigating CO<sub>2</sub> Concentration and Occupancy in School Classrooms at Different Stages in Their Life Cycle'. *Architectural Science Review* 61 (1–2): 83–95. <https://doi.org/10.1080/00038628.2017.1416576>.

MacNeill, M., N. Dobbin, M. St-Jean, L. Wallace, L. Marro, T. Shin, H. You, R. Kulka, R. W. Allen, και A. J. Wheeler. 2016. 'Can Changing the Timing of Outdoor Air Intake Reduce Indoor Concentrations of Traffic-related Pollutants in Schools?' *Indoor Air* 26 (5): 687–701. <https://doi.org/10.1111/ina.12252>.

Madureira, Joana, Inês Paciência, João Rufo, Elisabete Ramos, Henrique Barros, João Paulo Teixeira, και Eduardo de Oliveira Fernandes. 2015. 'Indoor Air Quality in Schools and Its Relationship with Children's Respiratory Symptoms'. *Atmospheric Environment* 118 (Οκτώβριος): 145–56. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.07.028>.

Mahyuddin, Norhayati, και Hazim Awbi. 2010. 'The Spatial Distribution of Carbon Dioxide in an Environmental Test Chamber'. *Building and Environment* 45 (9): 1993–2001. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.02.001>.

———. 2012. 'A Review of CO<sub>2</sub> Measurement Procedures in Ventilation Research'. *International Journal of Ventilation* 10 (4): 353–70. <https://doi.org/10.1080/14733315.2012.11683961>.

Mahyuddin, Norhayati, Hazim Awbi, και Mohammed Alshitawi. χ.χ. 'Investigating Carbon Dioxide in High Occupancy Buildings with Particular Application to Classrooms', 8.

Mainka, Anna, Ewa Brągoszewska, Barbara Kozielska, Józef S. Pastuszka, και Elwira Zajusz-Zubek. 2015. 'Indoor Air Quality in Urban Nursery Schools in Gliwice, Poland: Analysis of the Case Study'. *Atmospheric Pollution Research* 6 (6): 1098–1104. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.06.007>.

Mainka, Anna, και Elwira Zajusz-Zubek. 2015. 'Indoor Air Quality in Urban and Rural Preschools in Upper Silesia, Poland: Particulate Matter and Carbon Dioxide'. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (7): 7697–7711. <https://doi.org/10.3390/ijerph120707697>.

Mandal, T. K., και A. K. Gorai. 2014. 'Air Quality Indices: A Literature Review'. *Journal of Environmental Science & Engineering* 56 (3): 357–62.

Marć, Mariusz, Marek Tobiszewski, Bożena Zabiegała, Miguel de la Guardia, και Jacek Namieśnik. 2015. 'Current Air Quality Analytics and Monitoring: A Review'. *Analytica Chimica Acta* 853 (Ιανουάριος): 116–26. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.018>.

Martins, Jo. M., Fei Guo, και David A. Swanson. 2018. *Global Population in Transition*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77362-9>.

Maula, H., V. Hongisto, V. Naatula, A. Haapakangas, και H. Koskela. 2017. ‘The Effect of Low Ventilation Rate with Elevated Bioeffluent Concentration on Work Performance, Perceived Indoor Air Quality, and Health Symptoms’. *Indoor Air* 27 (6): 1141–53. <https://doi.org/10.1111/ina.12387>.

Mayer, Helmut, László Makra, Fritz Kalberlah, Dieter Ahrens, και Ulrich Reuter. 2004. ‘Air Stress and Air Quality Indices’. *Meteorologische Zeitschrift* 13 (5): 395–403. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2004/0013-0395>.

McElroy, Michael B., και Richard C. J. Somerville. 2002. ‘The Atmospheric Environment: Effects of Human Activity’. *American Journal of Physics* 70 (11): 1166–67. <https://doi.org/10.1119/1.1509543>.

Mejía, Jaime F., Samantha Low Choy, Kerrie Mengersen, και Lidia Morawska. 2011. ‘Methodology for Assessing Exposure and Impacts of Air Pollutants in School Children: Data Collection, Analysis and Health Effects – A Literature Review’. *Atmospheric Environment* 45 (4): 813–23. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.009>.

Mendell, Mark J, και Garvin A Heath. χ.χ. ‘Do Indoor Environments in Schools Influence Student Performance’, 48.

Mendes, Ana, Stefano Bonassi, Livia Aguiar, Cristiana Pereira, Paula Neves, Susana Silva, Diana Mendes, Luís Guimarães, Rossana Moroni, και João Paulo Teixeira. 2015. ‘Indoor Air Quality and Thermal Comfort in Elderly Care Centers’. *Urban Climate* 14 (Δεκέμβριος): 486–501. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.07.005>.

Mihai, Toderasc, και Vlad Iordache. 2016. ‘Determining the Indoor Environment Quality for an Educational Building’. *Energy Procedia* 85 (Ιανουάριος): 566–74. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.246>.

Miller, J., S. Semple, και S. Turner. 2010. ‘High Carbon Dioxide Concentrations in the Classroom: The Need for Research on the Effects of Children’s Exposure to Poor Indoor Air Quality at School’. *Occupational and Environmental Medicine* 67 (11): 799–799. <https://doi.org/10.1136/oem.2010.057471>.

Milton, Donald K., P. Mark Glencross, και Michael D. Walters. 2000. ‘Risk of Sick Leave Associated with Outdoor Air Supply Rate, Humidification, and Occupant Complaints’. *Indoor Air* 10 (4): 212–21. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004212.x>.

Miranda, A. I., A. Monteiro, V. Martins, A. Carvalho, M. Schaap, P. Builtjes, και C. Borrego. 2008. ‘Forest Fires Impact on Air Quality over Portugal’. Στο *Air Pollution Modeling and Its Application XIX*, επιμέλεια Carlos Borrego και Ana Isabel Miranda, 190–98. Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8453-9\\_21](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8453-9_21).

Myatt, Theodore A, John Staudenmayer, Kate Adams, Michael Walters, Stephen N Rudnick, και Donald K Milton. 2002. ‘A Study of Indoor Carbon Dioxide Levels and Sick Leave among Office Workers’. *Environmental Health* 1 (1). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-1-3>.

Neuberger, John S., Darrel D. Newkirk, John Cotter, Annie Thorpe, Cindy Wood, και John C. Irwin. 1991. 'Diminished Air Quality and Health Problems in a Kansas City, Kansas, Elementary School'. *Journal of School Health* 61 (10): 439–42. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.1991.tb05994.x>.

Norbäck, D., G. Wieslander, X. Zhang, και Z. Zhao. 2011. 'Respiratory Symptoms, Perceived Air Quality and Physiological Signs in Elementary School Pupils in Relation to Displacement and Mixing Ventilation System: An Intervention Study: School Ventilation Intervention Study'. *Indoor Air* 21 (5): 427–37. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00717.x>.

Norback, Dan. 1995. 'Subjective Indoor Air Quality in Schools - The Influence of High Room Temperature, Carpeting, Fleecy Wall Materials and Volatile Organic Compounds (VOC)'. *Indoor Air* 5 (4): 237–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1995.00003.x>.

Oeder, S., S. Dietrich, I. Weichenmeier, W. Schober, G. Pusch, R. A. Jörres, R. Schierl, κ.ά. 2012. 'Toxicity and Elemental Composition of Particulate Matter from Outdoor and Indoor Air of Elementary Schools in Munich, Germany: Toxicity of School PM10'. *Indoor Air* 22 (2): 148–58. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00743.x>.

Pipal, A. S., A. Kumar, R. Jan, και A. Taneja. 2012. 'Role of Plants in Removing Indoor Air Pollutants'. Στο *Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives*, επιμέλεια L. D. Khemani, M. M. Srivastava, και Shalini Srivastava, 319–21. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23394-4\\_67](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23394-4_67).

Posudin, Yuriy. 2014. *Methods of Measuring Environmental Parameters: Posudin/Methods*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118914236>.

Prill, Rich. χ.χ. 'Why Measure Carbon Dioxide Inside Buildings?', 5.

Quevauviller, Ph, επιμ. 1995. *Quality Assurance in Environmental Monitoring. Sampling and Sample Preatreatment [Sic]*. Weinheim ; New York: VCH.

Raffy, G., F. Mercier, O. Blanchard, M. Derbez, C. Dassonville, N. Bonvallot, P. Glorennec, και B. Le Bot. 2017. 'Semi-Volatile Organic Compounds in the Air and Dust of 30 French Schools: A Pilot Study'. *Indoor Air* 27 (1): 114–27. <https://doi.org/10.1111/ina.12288>.

Ramalho, Olivier, Guillaume Wyart, Corinne Mandin, Patrice Blondeau, Pierre-André Cabanes, Nathalie Leclerc, Jean-Ulrich Mullot, Guillaume Boulanger, και Matteo Redaelli. 2015. 'Association of Carbon Dioxide with Indoor Air Pollutants and Exceedance of Health Guideline Values'. *Building and Environment* 93 (Νοέμβριος): 115–24. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.018>.

Rivas, I., M. Viana, T. Moreno, M. Pandolfi, F. Amato, C. Reche, L. Bouso, κ.ά. 2014. 'Child Exposure to Indoor and Outdoor Air Pollutants in Schools in Barcelona, Spain'. *Environment International* 69 (Αύγουστος): 200–212. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.009>.

Robertson, D S. 2006. 'Health Effects of Increase in Concentration of Carbon Dioxide in the Atmosphere'. *CURRENT SCIENCE* 90 (12): 3.

Rufo, João C, Joana Madureira, Inês Paciência, Cristiana Pereira, Klara Slezakova, Maria C Pereira, Mariana Pinto, André Moreira, και Eduardo O Fernandes. χ.χ. ‘INDOOR AIR QUALITY IN PRIMARY SCHOOLS: PRELIMINARY RESULTS OF THE ARIA PROJECT’, 8.

Safar, A. N., M. F. Yassin, και M. F. Hamoda. 2018. ‘Indoor and Outdoor Air Concentrations of Volatile Organic Compounds in Schools within Different Urban Areas’. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Ιούλιος. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1869-6>.

Sakr, W., C. J. Weschler, και P. O. Fanger. 2006. ‘The Impact of Sorption on Perceived Indoor Air Quality’. *Indoor Air* 16 (2): 98–110. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00406.x>.

Salleh, Naziah Muhamad, Syahrul Nizam Kamaruzzaman, Raha Sulaiman, και Naziatul Syima Mahbob. χ.χ. ‘Indoor Air Quality at School: Ventilation Rates and It Impacts Towards Children-A Review’, 5.

Santamouris, M, A Synnefa, M Assimakopoulos, I Livada, K Pavlou, N Gaitani, C Pavlou, D Kolokotsa, και V Assimakopoulos. χ.χ. ‘Experimental Investigation of the Air Flow in Naturally Ventilated Classrooms’, 6.

Santamouris, M., A. Synnefa, M. Assimakopoulos, I. Livada, K. Pavlou, M. Papaglastra, N. Gaitani, D. Kolokotsa, και V. Assimakopoulos. 2008. ‘Experimental Investigation of the Air Flow and Indoor Carbon Dioxide Concentration in Classrooms with Intermittent Natural Ventilation’. *Energy and Buildings* 40 (10): 1833–43. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.04.002>.

Sarbu, Ioan, και Cristian Pacurar. 2015. ‘Experimental and Numerical Research to Assess Indoor Environment Quality and Schoolwork Performance in University Classrooms’. *Building and Environment* 93 (Νοέμβριος): 141–54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.022>.

Satish, Usha, Mark J. Mendell, Krishnamurthy Shekhar, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Siegfried Streufert, και William J. Fisk. 2012. ‘Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance’. *Environmental Health Perspectives* 120 (12): 1671–77. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>.

Schibuola, Luigi, Massimiliano Scarpa, και Chiara Tambani. 2016. ‘Natural Ventilation Level Assessment in a School Building by CO<sub>2</sub> Concentration Measures’. *Energy Procedia* 101 (Νοέμβριος): 257–64. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.033>.

‘School Policies and Practices That Improve Indoor Air Quality June 2010 Issue of Journal of School Health’. 2010. *Journal of School Health* 80 (6): 321–23. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2010.00507.x>.

Shaughnessy, R, U Haverinen-Shaughnessy, A Nevalainen, και D Moschandreas. 2005. ‘Carbon Dioxide Concentrations in Classrooms and Association with Student Performance: A Preliminary Study’. *Indoor Air*, 4.

Shendell, D. G., R. Prill, W. J. Fisk, M. G. Apte, D. Blake, και D. Faulkner. 2004. 'Associations between Classroom CO<sub>2</sub> Concentrations and Student Attendance in Washington and Idaho'. *Indoor Air* 14 (5): 333–41. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00251.x>.

Shrimandilkar, Prajakta P. 2013. 'Indoor Air Quality Monitoring For Human Health', 7.

Shriram, S., K. Ramamurthy, και S. Ramakrishnan. 2019. 'Effect of Occupant-Induced Indoor CO<sub>2</sub> Concentration and Bioeffluents on Human Physiology Using a Spirometric Test'. *Building and Environment* 149 (Φεβρουάριος): 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.015>.

Singh, Pratima, και Renu Arora. 2018. 'Indoor Air Quality in Schools: A Review Based Study' 6 (3): 6.

Sinha, Kumares C., και Samuel Labi. 2007. *Transportation Decision Making*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470168073>.

Smedje, Greta, Dan Norback, και Christer Edling. 1997. 'Subjective Indoor Air Quality in Schools in Relation to Exposure'. *Indoor Air* 7 (2): 143–50. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1997.00009.x>.

Snow, Stephen, Amy S. Boyson, Karlien H.W. Paas, Hannah Gough, Marco-Felipe King, Janet Barlow, Catherine J. Noakes, και m.c. schraefel. 2019. 'Exploring the Physiological, Neurophysiological and Cognitive Performance Effects of Elevated Carbon Dioxide Concentrations Indoors'. *Building and Environment* 156 (Ιούλιος): 243–52. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.010>.

Spengler, John D, και Ken Sexton. γ.χ. 'Indoor Air Pollution: A Public Health Perspective'. *Science* 221: 9.

Stabile, Luca, Marco Dell'Isola, Aldo Russi, Angelamaria Massimo, και Giorgio Buonanno. 2017. 'The Effect of Natural Ventilation Strategy on Indoor Air Quality in Schools'. *Science of The Total Environment* 595 (Οκτώβριος): 894–902. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.048>.

Stafford, Tess M. 2015. 'Indoor Air Quality and Academic Performance'. *Journal of Environmental Economics and Management* 70 (Μάρτιος): 34–50. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2014.11.002>.

Stranger, M., S. S. Potgieter-Vermaak, και R. Van Grieken. 2008. 'Characterization of Indoor Air Quality in Primary Schools in Antwerp, Belgium'. *Indoor Air* 18 (6): 454–63. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2008.00545.x>.

Strøm-Tejsten, P., D. Zukowska, P. Wargocki, και D. P. Wyon. 2016. 'The Effects of Bedroom Air Quality on Sleep and Next-day Performance'. *Indoor Air* 26 (5): 679–86. <https://doi.org/10.1111/ina.12254>.

Telejko, Marek, και Ewa Zender-Świercz. 2016. 'Attempt to Improve Indoor Air Quality in Kindergartens'. *Procedia Engineering* 161: 1704–9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.649>.



Toftum, Jørn, Birthe U. Kjeldsen, Pawel Wargocki, Henriette R. Menå, Eva M.N. Hansen, και Geo Clausen. 2015. ‘Association between Classroom Ventilation Mode and Learning Outcome in Danish Schools’. *Building and Environment* 92 (Οκτώβριος): 494–503. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.017>.

Turanjanin, Valentina, Biljana Vučićević, Marina Jovanović, Nikola Mirkov, και Ivan Lazović. 2014. ‘Indoor CO<sub>2</sub> Measurements in Serbian Schools and Ventilation Rate Calculation’. *Energy* 77 (Δεκέμβριος): 290–96. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.028>.

Turunen, Mari, Oluyemi Toyinbo, Tuula Putus, Aino Nevalainen, Richard Shaughnessy, και Ulla Haverinen-Shaughnessy. 2014. ‘Indoor Environmental Quality in School Buildings, and the Health and Wellbeing of Students’. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 217 (7): 733–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.03.002>.

Twardella, D., W. Matzen, T. Lahrz, R. Burghardt, H. Spiegel, L. Hendrowarsito, A. C. Frenzel, και H. Fromme. 2012. ‘Effect of Classroom Air Quality on Students’ Concentration: Results of a Cluster-Randomized Cross-over Experimental Study: Effect of Classroom Air Quality on Students’ Concentration’. *Indoor Air* 22 (5): 378–87. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2012.00774.x>.

Ung-Lanki, S., J. Lampi, και J. Pekkanen. 2017. ‘Analyzing Symptom Data in Indoor Air Questionnaires for Primary Schools’. *Indoor Air* 27 (5): 900–908. <https://doi.org/10.1111/ina.12378>.

Velichkova, K., M. Vatzkitcheva, P. Savov, και N. Kolev. 2019. ‘Behavior of the Parameters Characterizing the Air Quality in an Enclosed Classroom Ventilated Either by a Fan or Naturally’. Στο , 130017. Sofia, Bulgaria. <https://doi.org/10.1063/1.5091302>.

Verrièle, M., C. Schoemaeker, B. Hanoune, N. Leclerc, S. Germain, V. Gaudion, και N. Locoge. 2016. ‘The MERMAID Study: Indoor and Outdoor Average Pollutant Concentrations in 10 Low-energy School Buildings in France’. *Indoor Air* 26 (5): 702–13. <https://doi.org/10.1111/ina.12258>.

Vilčeková, Silvia, Peter Kapalo, Ľudmila Mečiarová, Eva Krídlová Burdová, και Veronika Imreczeová. 2017. ‘Investigation of Indoor Environment Quality in Classroom - Case Study’. *Procedia Engineering* 190: 496–503. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.369>.

Vilcekova, Silvia, Ludmila Meciarova, Eva Kridlova Burdova, Jana Katunska, Danica Kosicanova, και Saeed Doroudiani. 2017. ‘Indoor Environmental Quality of Classrooms and Occupants’ Comfort in a Special Education School in Slovak Republic’. *Building and Environment* 120 (Αύγουστος): 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.001>.

Wargocki, P., και N. A. F. Da Silva. 2015. ‘Use of Visual CO<sub>2</sub> Feedback as a Retrofit Solution for Improving Classroom Air Quality’. *Indoor Air* 25 (1): 105–14. <https://doi.org/10.1111/ina.12119>.

Wargocki, Pawel, και David Wyon. 2007. ‘The Effects of Moderately Raised Classroom Temperatures and Classroom Ventilation Rate on the Performance of Schoolwork by Children



(RP-1257)'. *HVAC&R Research* 13 (2): 193–220.  
<https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390951>.

Wargocki, Pawel, και David P. Wyon. 2013. 'Providing Better Thermal and Air Quality Conditions in School Classrooms Would Be Cost-Effective'. *Building and Environment* 59 (Ιανουάριος): 581–89. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>.

Wei, W., J. Boumier, G. Wyart, O. Ramalho, και C. Mandin. 2016. 'Cleaning Practices and Cleaning Products in Nurseries and Schools: To What Extent Can They Impact Indoor Air Quality?' *Indoor Air* 26 (4): 517–25. <https://doi.org/10.1111/ina.12236>.

Wheeler, Andrea, και Ulrike Passe. χ.χ. 'GREEN SCHOOL, HEALTHY SCHOOL? THE ROLE OF CHILDREN IN POST- OCCUPANCY EVALUATION TO DETERMINE INDOOR AIR QUALITY IN CLASSROOMS (DO NOT CITE WITHOUT PERMISSION OF AUTHORS)', 4.

Wyon, D. P. 2004. 'The Effects of Indoor Air Quality on Performance and Productivity'. *Indoor Air* 14 (s7): 92–101. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00278.x>.

Yang, Jinho, Insick Nam, Hyunjun Yun, Jinman Kim, Hyeon-Ju Oh, Dohee Lee, Si-Moon Jeon, Seung-Ho Yoo, και Jong-Ryeul Sohn. 2015. 'Characteristics of Indoor Air Quality at Urban Elementary Schools in Seoul, Korea: Assessment of Effect of Surrounding Environments'. *Atmospheric Pollution Research* 6 (6): 1113–22. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.06.009>.

Ye, Wei, Jun Gao, Xu Zhang, και Chuck Wah Yu. 2017. 'Studies of Relationship between Ventilation, Pollution Exposure and Environmental Health of Buildings'. *Indoor and Built Environment* 26 (2): 147–51. <https://doi.org/10.1177/1420326X16687602>.

Zbašnik-Senegačnik, Martina. 2018. 'The Impacts of Interior Space on Children in Schools and Kindergartens'. *Igra Ustvarjalnosti - Creativity Game* 2018 (06): 082–089. <https://doi.org/10.15292/IU-CG.2018.082-089>.

Zhang, Q., και Y. Zhu. 2012. 'Characterizing Ultrafine Particles and Other Air Pollutants at Five Schools in South Texas: Ultrafine Particles at Schools'. *Indoor Air* 22 (1): 33–42. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00738.x>.

Zhang, X., P. Wargocki, Z. Lian, και C. Thyregod. 2017. 'Effects of Exposure to Carbon Dioxide and Bioeffluents on Perceived Air Quality, Self-Assessed Acute Health Symptoms, and Cognitive Performance'. *Indoor Air* 27 (1): 47–64. <https://doi.org/10.1111/ina.12284>.

Zhang, Xiao Dong, Cheng Duan Wang, Jun Jie Jin, και Yun Zhong Li. 2012. 'Experimental Analysis of CO2 Concentration'. *Applied Mechanics and Materials* 260–261 (Δεκέμβριος): 993–97. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.260-261.993>.

Zhen Peng, Wu Deng, και Rosangela Tenorio. 2017. 'Investigation of Indoor Air Quality and the Identification of Influential Factors at Primary Schools in the North of China'. *Sustainability* 9 (7): 1180. <https://doi.org/10.3390/su9071180>.

## Σχετικοί Ιστότοποι

- [American National Standards Institute](#)
- [American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers \(ASHRAE\)](#)
- [ASHRAE Hellenic Chapter](#)
- [Environmental Protection Agency \(US\): Creating Healthy Indoor Air Quality in Schools](#)
- [Eurobarometer Survey: public opinion on Air Quality](#)
- [European Commission's Policies on Air](#)
- [Kane \(εταιρεία παραγωγής μετρητή CO<sub>2</sub>\)](#)
- [National Oceanic & Atmospheric Administration \(US\)/ Earth System Research Laboratory/ Global Monitoring Division: CO<sub>2</sub> trends \(Global\)](#)
- [ppm \(μονάδα μέτρησης\)](#)
- [World Health Organisation: Household air pollution and health](#)
  
- [Ανεμιστήρες ανάδευσης αέρα επιτόχιοι \(ιστοσελίδα κατασκευαστή\)](#)
- [Ανεμιστήρες εξαγωγής αέρα τοίχου \(ιστοσελίδα κατασκευαστή\)](#)
- [Απόδοση σωμάτων θέρμανσης \(καλοριφέρ\)](#)
- [Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού](#)
- [Διαδραστική Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων](#)
- [Ελληνική Στατιστική Αρχή](#)
- [Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία](#)
- [Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών](#)
- [Η χημική ένωση του μήνα: CO<sub>2</sub>](#)
- [Μετεωρολογικός σταθμός Περιστερίου Αττικής](#)

## Πρότυπα (Standards) Ποιότητας Εσωτερικού Αέρα

Όνομα	Τίτλος	Έκδοση	Αναθεώρηση	Κατάσταση
<b>ANSI/ASHRAE 62.1 -2016</b>	Ventilation for acceptable indoor air quality	2016	2019	Απόσυρση
<b>ANSI/ASHRAE 62.1-2019</b> <a href="#">Link</a>	Ventilation for acceptable indoor air quality	2019	-	Ενεργό
<b>EN 15251:2007</b> <a href="#">Link</a>	Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics	2007	2019	Απόσυρση
<b>EN 16798-1:2019</b> <a href="#">Link</a> <a href="#">Link</a>	Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6	2019	2019	Ενεργό
<b>ISO 16814:2008</b> <a href="#">Link</a>	Building environment design — Indoor air quality — Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy	2008	2019	Ενεργό

# Κατάλογος Εικόνων

**Σημείωση:** μη αναφορά πηγής σε φωτογραφία ή εικόνα σημαίνει ότι προέρχεται από το προσωπικό αρχείο του γράφοντος.

[Εικόνα Εξώφυλλου:](#) Aliaksei Brouka ([nexusby](#)) από [www.123rf.com](#) υπό [Standard License](#)

<b>Εικόνα 1:</b> Βασικές φυσικές σταθερές του CO <sub>2</sub> . Πηγή: <a href="http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/pdf/8547/826/21-0212-01_Chimeia_B-Gymnasiou_Vivlio-Mathiti">http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/pdf/8547/826/21-0212-01_Chimeia_B-Gymnasiou_Vivlio-Mathiti</a> .....	5
<b>Εικόνα 2:</b> Συνοψίζοντας για το CO <sub>2</sub> . Πηγή: <a href="http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2206/Chimeia_B-Gymnasiou_html-empl/index3_3.html">http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2206/Chimeia_B-Gymnasiou_html-empl/index3_3.html</a> .....	8
<b>Εικόνα 3:</b> Παγκόσμια επίπεδα CO <sub>2</sub> . Πηγή: <a href="https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html#global">https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html#global</a> .....	11
<b>Εικόνα 4:</b> Επίπεδα CO <sub>2</sub> στο Mauna Loa. Πηγή: <a href="https://gml.noaa.gov/ccgg/trends">https://gml.noaa.gov/ccgg/trends</a> .....	11
<b>Εικόνα 5:</b> Συμπτώματα τοξικότητας CO <sub>2</sub> Πηγή: Wikipedia: Carbon dioxide (accessed 10/1/2022).....	14
<b>Εικόνα 6:</b> Η προνομακία χωροθέτηση του 27 <sup>ου</sup> ΔΣ Περιστερίου (στο κόκκινο πλαίσιο): σχετικά προστατευμένο από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες της περιοχής και σε ύψωμα. Όψη από ανατολικά. Φωτογραφία παλιότερη του 2010. Πηγή: Bing Maps/Bird's Eye View (discontinued service) - προσωπικό αρχείο.....	30
<b>Εικόνα 7:</b> Η προνομακία χωροθέτηση του 27 <sup>ου</sup> ΔΣ Περιστερίου (στο κόκκινο πλαίσιο): σχετικά προστατευμένο από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες της περιοχής και σε ύψωμα. Όψη από βορειοανατολικά. Φωτορεαλιστική τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση. Πηγή: Google Maps.....	31
<b>Εικόνα 9:</b> Η θέση της αίθουσας του Ε1 στο δεύτερο όροφο και η θέση της αίθουσας ΟΛ1 στο ισόγειο. Με τους κύκλους σημειώνονται οι θέσεις (έξοδοι αεραγωγών) των ανεμιστήρων τοίχου στο Ε1. Παρακαλούμε να προσεχτεί το διαφορετικό προφίλ των παραθύρων του ισογείου σε σχέση με αυτό των ορόφων, που υπαγορεύεται από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά δόμησης (επιπλέον κολόνες στους ορόφους σε σχέση με το ισόγειο). Ανεμιστήρες τοίχου δεν υπάρχουν στο ισόγειο. ....	32
<b>Εικόνα 8:</b> Η προνομακία χωροθέτηση του 27 <sup>ου</sup> ΔΣ Περιστερίου (στο κόκκινο πλαίσιο): σχετικά προστατευμένο από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες της περιοχής και σε ύψωμα. Όψη από βόρεια. Φωτογραφία παλιότερη του 2010. Πηγή: Bing Maps/Bird's Eye View (discontinued service) - προσωπικό αρχείο.....	32
<b>Εικόνα 10:</b> Κάτοψη Β' ορόφου με σημειωμένες τις αλλαγές στο κτίριο. ). Πηγή: Αρχείο 27 <sup>ου</sup> Δ.Σ. ....	33
<b>Εικόνα 13:</b> Λεπτομέρεια σχεδίου κάτοψης Β' ορόφου. Σημειώνεται η θέση της αίθουσας του Ε1 (με κόκκινο) και οι διαστάσεις της αίθουσας κατά το σχέδιο (με μπλε). Πηγή: Αρχείο 27 <sup>ου</sup> Δ.Σ.....	34
<b>Εικόνα 11:</b> Τομή κτιρίου σχολείου (νότια όψη). Στο γραμμοσκιασμένο τμήμα η αίθουσα 10 (Ε1). Πηγή: Αρχείο 27 <sup>ου</sup> Δ.Σ.....	34
<b>Εικόνα 12:</b> Απόψεις της αίθουσας του Ε1 (μετά το τέλος των μαθημάτων της σχολικής χρονιάς). ....	35
<b>Εικόνα 14:</b> Αριστερά: οι ανοιγόμενες επιφάνειες των παραθύρων (σημειωμένες με κίτρινο). Οι ανεμιστήρες τοίχου εξαγωγής αέρα (με κόκκινο) και με μπλε τα 3 σώματα θέρμανσης (καλοριφέρ). Δεξιά: Η πόρτα της αίθουσας ανοιχτή (με κίτρινο). Έχει σημειωθεί και το παράθυρο του διαδρόμου με το οποίο δημιουργείται ρεύμα (με πράσινο). Ο ανεμιστήρας «ανάδευσης» του υπάρχοντος αέρα (με κόκκινο).....	35
<b>Εικόνα 15:</b> Ένας από τους δυο όμοιους ανεμιστήρες εξαγωγής αέρα του τοίχου.....	36
<b>Εικόνα 16:</b> Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων τοίχου (εξαγωγής αέρα), όπως τα δίνει ο κατασκευαστής. Πηγή: S&P.....	37
<b>Εικόνα 17:</b> Ο ανεμιστήρας "ανάδευσης". Θέση τοποθέτησης, χαρακτηριστικά.....	37
<b>Εικόνα 18:</b> Συνήθεις ροές αερισμού στην αίθουσα του Ε1 με <b>ανοιχτή πόρτα</b> (αριστερά) και με <b>κλειστή πόρτα</b> (δεξιά). Σχέδιο φυσικού αερισμού (παράθυρα-πόρτα) με κόκκινο και τεχνητού αερισμού (ανεμιστήρες) με μπλε. ....	38
<b>Εικόνα 19:</b> Τομή κτιρίου σχολείου (βόρεια όψη). Να σημειωθεί ότι επήλθαν αλλαγές στο αρχικό σχέδιο, που παραθέτουμε εδώ, μετά την επέκταση του κτιρίου. Στο γραμμοσκιασμένο τμήμα (κατά προσέγγιση) η αίθουσα του ολοήμερου (ΟΛ1). Πηγή: Αρχείο 27 <sup>ου</sup> Δ.Σ.....	39
<b>Εικόνα 20:</b> Λεπτομέρεια κάτοψης ισογείου. Με πορτοκαλί σημειώνεται η αίθουσα του ολοήμερου (ΟΛ1). Με κόκκινο οι διαστάσεις στο σχέδιο, με μπλε ο μόνιμος τοίχος που αντικατέστησε τις πόρτες διαχωρισμού των αιθουσών. Πηγή: Αρχείο 27 <sup>ου</sup> Δ.Σ. ....	39
<b>Εικόνα 21:</b> Απόψεις της αίθουσας του ΟΛ1 (κατά τη διάρκεια των μαθημάτων της σχολικής χρονιάς). ....	40

<b>Εικόνα 22:</b> Αριστερά: οι ανοιγόμενες επιφάνειες των παραθύρων (σημειωμένες με κίτρινο). Δεξιά: Η πόρτα της αίθουσας ανοιχτή (με κίτρινο). Ο ανεμιστήρας «ανάδευσης» του υπάρχοντος αέρα (με κόκκινο). ....	40
<b>Εικόνα 23:</b> Ο ανεμιστήρας "ανάδευσης" στο ΟΛ1. Θέση τοποθέτησης, χαρακτηριστικά. ....	41
<b>Εικόνα 24:</b> Συνήθεις ροές αερισμού στην αίθουσα του ΟΛ1 με ανοιχτή πόρτα (αριστερά) και με κλειστή πόρτα (δεξιά). Σχέδιο φυσικού αερισμού (παράθυρα-πόρτα) με κόκκινο και τεχνητού αερισμού (ανεμιστήρες) με μπλε. Στο μοβ σημειώνεται και η θέση του εξοπλισμού καταγραφής (μετρητής CO <sub>2</sub> ).....	42
<b>Εικόνα 25:</b> Φωτογραφική και σχεδιαστική απεικόνιση του μετρητή CO <sub>2</sub> . Πηγή: Kane.....	43
<b>Εικόνα 26:</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή, όπως δίνονται από τον κατασκευαστή. Πηγή: Kane.....	44
<b>Εικόνα 27:</b> τρόπος λειτουργίας αισθητήρα NDIR για τη μέτρηση του CO <sub>2</sub> .....	45
<b>Εικόνα 28:</b> Η θέση του αισθητήρα στην αίθουσα του Ε1 (με μοβ) και ενδεικτικά οι αποστάσεις του από τις θέσεις μαθητών και εκπαιδευτικού (κίτρινο). ....	47
<b>Εικόνα 29:</b> Η θέση του αισθητήρα στην αίθουσα του ΟΛ1 (με μοβ) και ενδεικτικά οι αποστάσεις του από τις θέσεις μαθητών και εκπαιδευτικού (κίτρινο).....	47
<b>Εικόνα 30:</b> Η απόσταση του σχολικού κτιρίου από το μετεωρολογικό σταθμό Περιστερίου σε ευθεία γραμμή. 48	
<b>Εικόνα 31:</b> Η υψομετρική εικόνα (ύψος εδάφους από την επιφάνεια της θάλασσας) της απόστασης των 1.8km από το σχολείο (κόκκινο βέλος στα αριστερά) μέχρι το κτίριο (ΚΥΒΕ) που βρίσκεται ο μετεωρολογικός σταθμός Περιστερίου (κόκκινο βέλος στα δεξιά). Πηγή Google Earth. ....	48
<b>Εικόνα 32:</b> Το κτίριο του Δήμου Περιστερίου (ΚΥΒΕ) πάνω στην ταράτσα του οποίου βρίσκεται ο μετεωρολογικός σταθμός. Στη μεγάλη φωτογραφία ο σταθμός δεν είναι ορατός. Στις μικρότερες φωτογραφίες (λήψεις από το πίσω και το πλαϊνό μέρος του κτιρίου) ο σταθμός σημειώνεται με κύκλο. ....	49
<b>Εικόνα 33:</b> Περιγραφή της χωροθέτησης του μετεωρολογικού σταθμού Περιστερίου. Πηγή: meteo.gr .....	49
<b>Εικόνα 34:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και ώρας (αίθουσα Ε1) .....	58
<b>Εικόνα 35</b> Μέσοι όροι τιμών CO <sub>2</sub> ανά μήνα (αίθουσα Ε1).....	59
<b>Εικόνα 36</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και εσωτερικής θερμοκρασίας (εντός αίθουσας Ε1).....	62
<b>Εικόνα 37:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και εξωτερικής θερμοκρασίας (εκτός σχολείου).....	63
<b>Εικόνα 38:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και υγρασίας (αίθουσα Ε1).....	71
<b>Εικόνα 39:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (αίθουσα Ε1).....	71
<b>Εικόνα 40:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και βροχής (αίθουσα Ε1) .....	73
<b>Εικόνα 41:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και έντασης βροχής (αίθουσα Ε1).....	74
<b>Εικόνα 42:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και ώρας (αίθουσα ΟΛ1).....	77
<b>Εικόνα 43:</b> Μέσοι όροι τιμών CO <sub>2</sub> ανά μήνα (αίθουσα ΟΛ1) .....	78
<b>Εικόνα 44:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και εσωτερικής θερμοκρασίας (εντός αίθουσας ΟΛ1). 81	
<b>Εικόνα 45:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και εξωτερικής θερμοκρασίας (ΟΛ1) .....	82
<b>Εικόνα 46:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και υγρασίας (αίθουσα ΟΛ1) .....	87
<b>Εικόνα 47:</b> Διάγραμμα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (αίθουσα ΟΛ1).....	88
<b>Εικόνα 48:</b> Μέσοι όροι CO <sub>2</sub> τάξεων σε μάθημα και διάλειμμα .....	90
<b>Εικόνα 49:</b> Συγκεντρώσεις CO <sub>2</sub> ανά τάξη ανά μήνα. ....	92
<b>Εικόνα 50:</b> Στατιστικά στοιχεία χρήσης καλοριφέρ (Ε1) .....	94
<b>Εικόνα 51:</b> Μέσοι όροι και εύρη συγκέντρωσης CO <sub>2</sub> σε σχέση με τη θέση των παραθύρων.....	95
<b>Εικόνα 52:</b> Μέσες τιμές CO <sub>2</sub> και πόρτες στις αίθουσες Ε1 και ΟΛ1 .....	96
<b>Εικόνα 53:</b> Μέσες τιμές CO <sub>2</sub> και ανεμιστήρες στην αίθουσα Ε1.....	96
<b>Εικόνα 54:</b> Διαγράμματα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και υγρασίας (αίθουσα Ε1 και αίθουσα ΟΛ1).....	97
<b>Εικόνα 55:</b> Διαγράμματα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και ταχύτητας ανέμου (αίθουσα Ε1 και αίθουσα ΟΛ1) .....	98
<b>Εικόνα 56:</b> Διαγράμματα διασποράς σχέσεων τιμών CO <sub>2</sub> και βροχής, .....	98

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Σύνοψη των επιπτώσεων στην υγεία από την αναπνοή CO <sub>2</sub> σε συγκεντρώσεις κάτω από 1% (10.000 ppm) Πηγή: (Yingying 2019).....	14
<b>Πίνακας 2:</b> Προτεινόμενα όρια για ασφαλή επίπεδα CO <sub>2</sub> σε εσωτερικούς χώρους από διάφορες διεθνείς Υπηρεσίες - Πηγή: (Yingying 2019).....	25
<b>Πίνακας 3:</b> Χρονικές θέσεις καταγραφής μέσα στη σχολική ημέρα σε h: min. Σενάρια καταγραφής A και B. Με κόκκινο το σενάριο A που επιλέχθηκε τελικά. Με γκριζα σκίαση σημειώνονται τα διαλείμματα. ....	52
<b>Πίνακας 4:</b> CO <sub>2</sub> αριθμός μαθητών (E1).....	55
<b>Πίνακας 5:</b> CO <sub>2</sub> σε μάθημα και διάλειμμα (E1).....	56
<b>Πίνακας 6:</b> CO <sub>2</sub> και ώρα (E1) .....	57
<b>Πίνακας 7:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> ανά μήνα (E1) .....	58
<b>Πίνακας 8:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> ανά μήνα (E1) - ANOVA.....	59
<b>Πίνακας 9:</b> Ομαδοποιημένες μέσες τιμές CO <sub>2</sub> ανά μήνα (E1) - Tukey HSD.....	59
<b>Πίνακας 10:</b> Διαφορές τιμών CO <sub>2</sub> - συγκρίσεις ανά μήνα (E1) - Tukey HSD.....	60
<b>Πίνακας 11:</b> CO <sub>2</sub> και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (E1).....	61
<b>Πίνακας 12:</b> CO <sub>2</sub> και κεντρική θέρμανση (E1).....	64
<b>Πίνακας 13:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> και θέση παραθύρων (E1) .....	65
<b>Πίνακας 14:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> και παράθυρα (E1) - ANOVA .....	65
<b>Πίνακας 15:</b> Συγκρίσεις διαφορών τιμών CO <sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (E1) - Tukey HSD .....	65
<b>Πίνακας 16:</b> Συγκρίσεις μέσω τιμών CO <sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (E1) - Tukey HSD .....	66
<b>Πίνακας 17:</b> CO <sub>2</sub> και πόρτα (E1).....	67
<b>Πίνακας 18:</b> CO <sub>2</sub> και ανεμιστήρες παραθύρων (E1).....	69
<b>Πίνακας 19:</b> CO <sub>2</sub> και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (E1).....	70
<b>Πίνακας 20:</b> CO <sub>2</sub> και βροχή και ένταση βροχόπτωσης (E1) .....	73
<b>Πίνακας 21:</b> CO <sub>2</sub> και αριθμός μαθητών (OΛ1) .....	75
<b>Πίνακας 22:</b> CO <sub>2</sub> σε μάθημα και διάλειμμα (OΛ1) .....	76
<b>Πίνακας 23:</b> CO <sub>2</sub> και ώρα (OΛ1).....	77
<b>Πίνακας 24:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> ανά μήνα (OΛ1).....	78
<b>Πίνακας 25:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> ανά μήνα (OΛ1) - ANOVA.....	79
<b>Πίνακας 26:</b> Ομαδοποιημένες μέσες τιμές CO <sub>2</sub> ανά μήνα (OΛ1) - Tukey HSD.....	79
<b>Πίνακας 27:</b> Διαφορές τιμών CO <sub>2</sub> ανά μήνα (OΛ1) - Tukey HSD .....	79
<b>Πίνακας 28:</b> CO <sub>2</sub> και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (OΛ1).....	81
<b>Πίνακας 29:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> και θέση παραθύρων (OΛ1).....	83
<b>Πίνακας 30:</b> Τιμές CO <sub>2</sub> και παράθυρα (OΛ1) - ANOVA.....	83
<b>Πίνακας 31:</b> Συγκρίσεις διαφορών τιμών CO <sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (OΛ1) - Tukey HSD.....	84
<b>Πίνακας 32:</b> Συγκρίσεις μέσω τιμών CO <sub>2</sub> και θέσεων παραθύρων (OΛ1) - Tukey HSD .....	84
<b>Πίνακας 33:</b> CO <sub>2</sub> και πόρτα (OΛ1).....	85
<b>Πίνακας 34:</b> CO <sub>2</sub> και εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία (OΛ1).....	87
<b>Πίνακας 35:</b> CO <sub>2</sub> και βροχή και ένταση βροχόπτωσης (OΛ1) .....	89
<b>Πίνακας 36:</b> Στατιστικά στοιχεία της μεταβλητής για τη θέρμανση (E1).....	93



## Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε

Για την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων και την παρουσίαση της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα λογισμικά:

- Adobe Acrobat Reader DC
- Bing Maps (bird's eye view: υπηρεσία που έχει ανασταλεί, δεδομένα από αποθηκευμένα προσωπικά αρχεία)
- Google Chrome
- Google Earth
- Google Maps
- IB M SPSS Statistics 25
- Microsoft Edge
- Microsoft Excel
- Microsoft Paint
- Microsoft PowerPoint
- Microsoft Word
- Mozilla Firefox
- Windows 10 Home
- Zotero

