

:

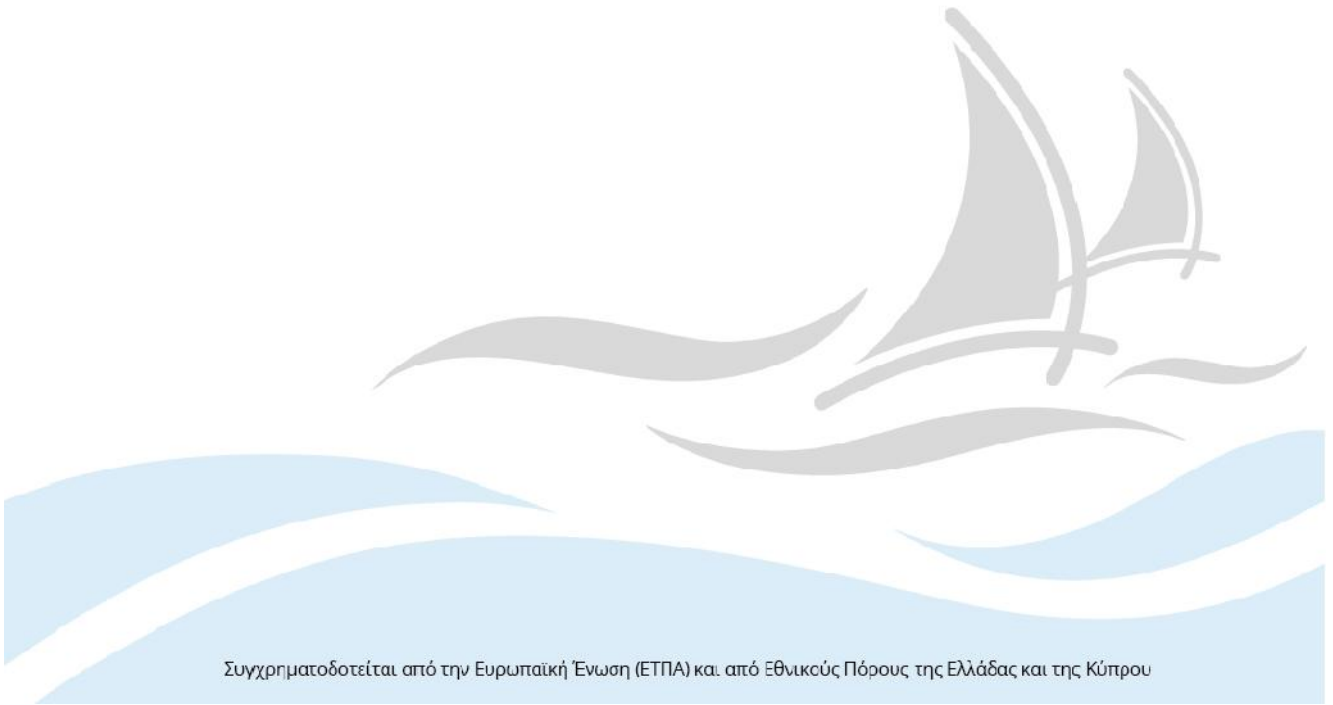
- 5 -

5.1.1-

5.1.4, 5.2.1, 5.3.1, 5.4.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.3, 5.3.4.

**ΥΠΟΤΙΤΛΟΣ: Έκθεση υλοποίησης φυσικού αντικειμένου πράξης
ΜΟΥΣΕΙΑ_II**

21/02/2021



Συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΤΠΑ) και από Εθνικούς Πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕ5: Εφαρμογή και αξιολόγηση μέτρων προστασίας	3
Εισαγωγή	3
5.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση επιπτώσεων αέριων και σωματιδιακών ρύπων σε ευπαθή υλικά και μέτρα προστασίας από την αέρια ρύπανση	3
5.1.1. Αέριοι ρύποι που συναντώνται συχνότερα σε Μουσεία.....	5
5.1.2. Οργανικοί Ρύποι.....	6
5.1.3. Ανόργανοι Ρύποι	7
5.1.4. Μικροβιακοί ρύποι.....	8
5.1.5. Πρόληψη αέριας ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους Μουσείων	12
5.1.6. Μέθοδοι αντιμετώπισης αέριας ρύπανσης.....	17
5.1.7. Βιβλιογραφία.....	25
5.2. Μετρήσεις επάρκειας συνθηκών με χρήση μοντέλων προσομοίωσης.....	29
5.2.1. Στόχος της προσομοίωσης	31
5.2.2. Ιστορικό Μουσείο Κρήτης	31
5.2.3. Λογισμικό CONTAMW	32
5.2.4. Προσομοίωση ΙΜΚ	32
5.2.5. Αρχικές υποθέσεις.....	36
5.2.6. Προσομοίωση NO ₂	39
5.2.7. Προσομοίωση CO ₂	51
5.2.8. Συμπεράσματα	57
5.3. Μετρήσεις επάρκειας συνθηκών σε πραγματικές προθήκες στο ΙΜΚ.....	59
5.4. Εγκατάσταση μέτρων προστασίας στο ΙΜΚ.....	63
5.4.1. Προθήκη που φιλοξενεί τα έργα του Δομήνικου Θεοτοκόπουλου.....	64
5.4.2. Προθήκη Α (Μικροτεχνία).....	64
5.4.3. Προθήκη Β (χειρόγραφα).	65
5.4.4. Προθήκες 4-5 (γωνιακές) με εκθέματα από ύφασμα	66
5.4.5. Προθήκες 6-17 Εντοιχισμένες	67
5.4.6 Ρυθμιστές της υγρασίας.....	67
5.4.7 Περιοδικότητα ελέγχων.....	69

ΠΕ5: Εφαρμογή και αξιολόγηση μέτρων προστασίας

Εισαγωγή

Βασικός στόχος του εργασιών του ΠΕ5 ήταν αποτίμηση των κινδύνων για τα εκθέματα των μουσείων, η ορθή αξιολόγηση των παρεμβάσεων για την προστασία των ευπαθών εκθεμάτων και τελικά η ανάπτυξη των απαιτούμενων μέτρων προστασίας. Το ΠΕ5 είναι σε άμεση συνάφεια με τα ΠΕ3 και ΠΕ6 καθώς μέσω των εντατικών μετρήσεων αποτυπώθηκε η εικόνα της ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, ενώ η ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης διασφαλίζει την μελλοντική αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων και παρέχει τη δυνατότητα της συνεχούς αξιολόγησης των μέτρων προστασίας και επιβολής διορθωτικών κινήσεων σε περίπτωση που είναι αναγκαίο. Οι παρεμβάσεις έγιναν ξεχωριστά στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης (ΙΜΚ) και στο Βυζαντινό Μουσείο Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ' (ΒΜ) ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των δύο χώρων. Η παρούσα έκθεση αναφέρεται στην ανάπτυξη μέτρων προστασίας στο ΙΜΚ και οι παρεμβάσεις στο ΒΜ περιγράφονται αναλυτικά σε ανάλογη έκθεση. Όμως η βιβλιογραφική ανασκόπηση (παραδοτέα 5.1.1, 5.2.1, 5.3.1 και 5.4.1) και οι μετρήσεις μέσω προσομοιώσεων (παραδοτέα 5.1.2 και 5.2.2) πραγματοποιήθηκαν από το Πολ. Κρήτης με συνεργασία όλων των δικαιούχων για τα παραδοτέα 5.1.1 5.1.1, 5.2.1, 5.3.1 και 5.4.1 και σε συνεργασία με το ΤΕΠΑΚ για τα παραδοτέα 5.1.2, 5.2.2 5.2.3 και περιγράφονται σε αυτή τη έκθεση πεπραγμένων.

Για όλες τις δράσεις του ΠΕ5, με εξαίρεση την επιλογή και εγκατάσταση των μέτρων προστασίας στο ΒΜ, η επίβλεψη και συντονισμός των εργασιών και σύνταξη των αναφορών έγινε από την επιστημονική ομάδα του Πολ. Κρήτης που εργάστηκε στο ΠΕ5 και απαρτιζόνταν από τους:

Λαζαρίδης Μιχάλης (Καθηγητής)

Καλογεράκης Νικόλαος (Καθηγητής)

Γλυτσός Θόδωρος (PhD, Ε.ΔΙ.Π)

Σαριδάκη Αγγελική (PhD, Ερευνήτρια)

Γκούσκος Άρης (Msc, Ερευνητής)

5.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση επιπτώσεων αέριων και σωματιδιακών ρύπων σε ευπαθή υλικά και μέτρα προστασίας από την αέρια ρύπανση.

Τα αντικείμενα μεγάλης πολιτιστικής αξίας που εκτίθενται/φυλλάσσονται σε μουσεία, αρχεία ή βιβλιοθήκες μπορεί να είναι από υλικά είτε ανόργανης προέλευσης (πέτρα, μέταλλο, κεραμικά κ.λπ.) είτε οργανικής προέλευσης (ξύλο, δέρμα, ύφασμα, χαρτί κ.λπ.). Από μετρήσεις έχει υπολογιστεί ότι ιδιαίτερα στα μεγάλα αστικά κέντρα το εσωτερικό περιβάλλον μπορεί να είναι 2-5 φορές και ενίοτε μέχρι 100 φορές, πιο

ρυπασμένο από τον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Σε αυτό συντελούν οι περισσότεροι από 300 οργανικοί και ανόργανοι αέριοι ρύποι που έχουν εντοπιστεί και μετρηθεί σε κλειστούς χώρους σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες και σε ορισμένες περιπτώσεις πολλαπλάσιες από αυτές του εξωτερικού περιβάλλοντος. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών η έκθεση σε αέριους ρύπους στο εσωτερικό των κτιρίων έχει αυξηθεί εξαιτίας παραγόντων, όπως:

-)] η κατασκευή κτιρίων με λιγότερο διαμπερές κέλυφος με στόχο χαμηλές απώλειες ενέργειας
-)] η χρήση συνθετικών δομικών υλικών και υλικών εξοπλισμού και επίπλωσης.
-)] η εκτεταμένη χρήση χημικών προϊόντων, εντομοκτόνων και απορρυπαντικών.

Στους παράγοντες αυτούς θα πρέπει να προστεθεί και η τάση να καθυστερεί η συντήρηση των κτιρίων και των συστημάτων που υποστηρίζουν τη διαβίωση σε αυτά, για λόγους εξοικονόμησης πόρων. Τα παραπάνω στοιχεία, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι περισσότεροι άνθρωποι περνούν μέχρι και το 90% του χρόνου τους στο εσωτερικό των κτηρίων, κατατάσσει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα μεταξύ των πιο σημαντικών σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων (Παπαμανώλης & Κοπανάκης 2010).

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι (αέριοι ρύποι, αιωρούμενα σωματίδια και αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί) συμβάλλουν σημαντικά στην υποβάθμιση των εκθεμάτων μέσω διεργασιών αλλοίωσης της σύστασης και της μορφής τους που λαμβάνουν χώρα πάνω στα υλικά. Οι μηχανισμοί που προκαλούν τις αλλοιώσεις μπορεί να οφείλονται σε φυσικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες.

Πιο συγκεκριμένα μακροχρόνια έκθεση των μουσειακών αντικειμένων σε αέριους ρύπους είναι πιθανό να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις, όπως οξειδωση της επιφάνειας, αλλαγή χρώματος ακόμα και εξασθένηση του υλικού, ειδικά για αντικείμενα που αποτελούνται από ευαίσθητα υλικά όπως ξύλο, χαρτί, δέρμα. Αέριοι ρύποι, όπως το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, το όζον μπορεί να αποτελέσουν καταλύτες σε χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στο σχηματισμό οξέων στις επιφάνειες των υλικών. Το χαρτί και το δέρμα επηρεάζονται σοβαρά λόγω της ευαισθησίας τους σε όξινα αέρια. Χαρακτηριστικά το χαρτί μαυρίζει και γίνεται εύθραυστο. Η έλλειψη υγρασίας επίσης μπορεί να κάνει το υλικό εύθραυστο ενώ η υψηλή υγρασία μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη μούχλας και μικροοργανισμών πάνω στα εκθέματα. Αυξημένη θερμοκρασία, μπορεί να αποχρωματίσει, να εξασθενίσει ή να μαυρίσει το χαρτί. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα περιβλήματα (στεγανοποιητικά, υφάσματα τοποθετημένα στις προθήκες, βερνίκια, ξύλο) εκπέμπουν πτητικές οργανικές ενώσεις οργανικές ενώσεις (VOCs) προκαλούν έντονη διάβρωση σε εκθέματα από μέταλλο, ασβεστόλιθο ή οργανικά υλικά (Chiantore et al., 2018 και 2021). Τα σωματίδια με διάμετρο περίπου 2μm ή μεγαλύτερη, τα οποία προέρχονται από το έδαφος ή ζωικά και φυτικά υπολείμματα (κύτταρα του δέρματος, γύρη) διευκολύνουν τη συμπύκνωση του νερού στην επιφάνεια των αντικειμένων και δρουν ως μεταφορείς βιολογικών μικροοργανισμών πάνω στις επιφάνειες των αντικειμένων. Οι ανόργανες ενώσεις είναι αποτέλεσμα της καύσης των υλικών και των εκπομπών από

τα αυτοκίνητα (SO_2 , NO_2 , NO) και παρουσία νερού σχηματίζουν όξινες ενώσεις που επηρεάζουν τα μουσειακά αντικείμενα. Οι οργανικές ενώσεις είναι συνήθως υπεροξειδία, οξέα, φθαλικές ενώσεις, φορμαλδεΐδη. Οι επιπτώσεις αυτών των ρύπων είναι: ρύπανση, αποχρωματισμός επιφανείας, ευθραυστότητα, διάβρωση.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στην ανάγκη της μελέτης και ποσοτικοποίησης της έκθεσης αντικειμένων σε αέριους ρύπους και αερομεταφερόμενα σωματίδια (που εκπέμπονται εσωτερικά ή διεισδύουν από το εξωτερικό περιβάλλον), στον έλεγχο των εσωτερικών μικροκλιματικών συνθηκών (θερμοκρασία και σχετική υγρασία) και τελικά στη λήψη των κατάλληλων μέτρων (ανάλογα με τις συνθήκες ρύπανσης και τα χαρακτηριστικά των εκάστοτε εσωτερικών χώρων) προστασίας και συντήρησης υλικών μεγάλης πολιτιστικής κληρονομιάς. Ειδικότερα οι συντηρητές έργων τέχνης ενδιαφέρονται να παρακολουθούν τα επίπεδα της ρύπανσης και βάση αυτών να προβλέπουν τις πιθανές επιπτώσεις στα εκθέματα των μουσείων. Χρησιμοποιούνται διαφορετικές μεθόδους αναγνώρισης των ρύπων, όπως συσκευές άμεσης ανάγνωσης με βάση τη χρωματομετρία, οι οποίες μπορούν να παρέχουν αποτελέσματα σε χρονικούς ορίζοντες από λίγα λεπτά έως κάποιες ώρες μετά την έκθεσή τους σε συγκεκριμένους ρύπους ή δείγματα έμμεσης ανάγνωσης που απαιτούν περαιτέρω ανάλυση σε εργαστήριο. Οι πληροφορίες που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση των πηγών ρύπανσης, τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης τους ρύπων και τη συσχέτιση τους με πιθανή πρόκληση ζημιών στις επιφάνειες των αντικειμένων τέχνης. Πριν αναλυθούν οι δράσεις για τη μείωση των ρύπων σε μουσεία, παρουσιάζονται περιληπτικά οι συνηθέστερα εμφανιζόμενοι ρύποι σε χώρους έκθεσης αντικειμένων τέχνης.

5.1.1. Αέριοι ρύποι που συναντώνται συχνότερα σε Μουσεία

Οι σημαντικότεροι ρύποι, που εντοπίζονται συνήθως σε μουσεία και αποτελούν κίνδυνο για την πολιτιστική κληρονομιά είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το όζον (O_3) και οι αέριες ενώσεις του θείου όπως το υδρόθειο (H_2S). Στους εσωτερικούς χώρους, τα πιο κοινά αέρια που παράγονται και αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για τα έργα τέχνης είναι το οξικό οξύ (CH_3COOH), το μυρμηκικό οξύ (HCOOH), η ακεταλδεΐδη (CH_3CHO), η φορμαλδεΐδη (HCHO) το υδρόθειο (H_2S) τα σουλφίδια και σε ορισμένες περιπτώσεις το όζον (O_3), το οποίο όμως προέρχεται κυρίως από το εξωτερικό περιβάλλον (GrzywaczC., 2006). Οι αέριοι ρύποι διακρίνονται σε οργανικούς και ανόργανους ρύπους. Αναφορά θα γίνει και στην επίδραση των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στα ευπαθή υλικά.

5.1.2. Οργανικοί Ρύποι

Φορμαλδεΐδη

Η ύπαρξη φορμαλδεΐδης υποδεικνύει σε μεγάλο βαθμό ρύπανση του εσωτερικού χώρου, και συνδέεται με αρκετά υλικά (Kelly et 1999) όπως το κόντρα πλακέ και οι μοριοσανίδες (Andersen et al., 1975). Ωστόσο, τα επίπεδα της φορμαλδεΐδης που παράγεται σε εξωτερικούς χώρους αυξάνονται, σημαντικά από τη χρήση καυσίμων με βάση αλκοόλες, όπως τεκμηριώνεται σε αρκετές μελέτες (Anderson et al. 1996, 1999; Anderson and Lanning 1999). Υπάρχουν ωστόσο και αντικείμενα όπως τα χαλιά, τα έπιπλα, οι γόμμες και οι κόλλες που επίσης εκπέμπουν φορμαλδεΐδη. Ο αργός ρυθμός απελευθέρωσης από τα υλικά αυτά μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση φορμαλδεΐδης στον αέρα του εσωτερικού χώρου, ανάλογα με την πηγή εκπομπής, τον ρυθμό εισαγωγής εξωτερικού (νωπού) αέρα από το σύστημα εξαερισμού, την υγρασία και τη θερμοκρασία. Η αέρια φορμαλδεΐδη προκαλεί ενόχληση και ευαισθησία του αναπνευστικού συστήματος. Η φορμαλδεΐδη έχει έντονη οσμή, αλλά ενδέχεται οι άνθρωποι να μην αντιληφθούν την έκθεσή τους σ' αυτήν επειδή εξοικειώνονται με την οσμή της. Η οσμή δε είναι αξιόπιστος δείκτης για την έκθεση στο αέριο αυτό. Πρέπει να διασφαλίζεται επαρκής εξαερισμός όπου είναι πιθανόν να υπάρχουν πηγές φορμαλδεΐδης, έτσι ώστε τα επίπεδα συγκέντρωσης στον αέρα να μην υπερβαίνουν τα 0,1 ppm.

Συμπτώματα έκθεσης περιλαμβάνουν ξηρό και ερεθισμένο λαιμό, αιμορραγία της μύτης, πονοκεφάλους προβλήματα με τη μνήμη και τη συγκέντρωση, ναυτία, ζαλάδα, κάψιμο και φαγούρα στα μάτια και πόνο. Όσον αφορά την αλλοίωση που προκαλεί σε έργα τέχνης αυτή εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα επίπεδα υγρασίας. Σύμφωνα με μελέτες (Bradley and Thickett (1999) έχει παρατηρηθεί π.χ. πως είναι ισχυρά διαβρωτική στο μόλυβδο σε υψηλές τιμές υγρασίας αλλά όχι όταν υγρασία κυμαίνεται σε τιμές κοντά στο 50%.

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs)

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs) εκλύονται από διαλύτες σε βαφές, επιχρίσματα, αποχρωστικά βαφών, δοχεία διαλυτών, αραιωτικά βαφών, υλικά στοκαρίσματος, χαλιά, κόλλες, φωτοτυπικά μηχανήματα, πλακίδια οροφής ή τοίχων, αποσμητικά χώρου, καθαριστικά, οργανικούς διαλύτες, μαλακτικά υφασμάτων και από τον καπνό τσιγάρου. Πιθανές πηγές έκλυσης πτητικών οργανικών ενώσεων αποτελούν τα νέα οικοδομικά υλικά, νέα έπιπλα και χαλιά, τα καθαριστικά, οι διαλύτες. Η χρήση τοπικού εξαερισμού σε χώρους αποθήκευσης χημικών ουσιών μπορεί να προκαλέσει επιμόλυνση και άλλων χώρων εργασίας σε ένα κτίριο μέσω του συστήματος κλιματισμού/εξαερισμού.

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι δυνητικά οξειδωτικές ουσίες. Το βενζόλιο και το τολουόλιο δρουν ως διαλύτες στις χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις βαφές, προκαλώντας αποχρωματισμό των έργων τέχνης (Godoi, 2008). Επιπρόσθετα, τα πτητικά οξέα και οι αλδεΐδες όπως είναι το μυρμηκικό

(φορμικό), το οξικό οξύ και η φορμαλδεΐδη θεωρούνται επικίνδυνα για διάφορα έργα πολιτιστικής κληρονομιάς (Krupińska, 2012)

5.1.3 Ανόργανοι Ρύποι

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το SO₂, αντιδρώντας με την υγρασία της ατμόσφαιρας σχηματίζει θειικό (H₂SO₄) και θειώδες οξύ (H₂SO₃) αέρια τα οποία συμπυκνώνονται σε αεροζόλ δημιουργώντας την όξινη βροχή. Με παρόμοιο τρόπο, τα όξινα αέρια σχηματίζονται συμπυκνώματα τα οποία εναποτίθενται στις επιφάνειες προκαλώντας φθορές στα υλικά. Ιδιαίτερα όταν το SO₂ απορροφάται από την αιθάλη οξειδώνεται σε θειικά οξέα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σημαντική βλάβη στα ευαίσθητα σε οξέα υλικά. Κύρια πηγή SO₂, στην ατμόσφαιρα αποτελεί η καύση ορυκτών καυσίμων, που περιέχουν θείο, συμπεριλαμβανομένου του άνθρακα, της βενζίνης και του ντίζελ. Επιπλέον, οι βιομηχανικές διεργασίες που σχετίζονται με την παραγωγή χαρτοπολτού και χαρτιού, η βιομηχανία τσιμέντου και τα διυλιστήρια πετρελαίου κυρίως όταν χρησιμοποιούνται φθηνά καύσιμα με υψηλότερα επίπεδα θείου αποτελούν εξωτερικές πηγές SO₂.

Το SO₂ μπορεί να απορροφηθεί από το χαρτί, τα υφάσματα και το δέρμα με αποτέλεσμα να γίνονται εύθραυστα. Επιπλέον το SO₂ και τα παράγωγά του μπορούν να αντιδράσουν με χρωστικές ουσίες ευαίσθητες σε οξέα με αποτέλεσμα την αλλαγή του χρώματος της χρωστικής. Αντιδρά συνήθως με χρωστικές που περιέχουν μόλυβδο ή χαλκό, με αποτέλεσμα αυτές να μαυρίζουν, σχηματίζοντας μαύρο θειούχο μόλυβδο και μαύρο οξείδιο του χαλκού. Παράδειγμα, το λευκό του μολύβδου (2PbCO₃-Pb(OH)₂), το οποίο μετατρέπεται σε μαύρο θειούχο μόλυβδο, με αποτέλεσμα το χρώμα να γίνεται σκούρο στις περιοχές της επιφάνειας όπου είχε λευκό του μολύβδου. Επιπλέον, το SO₂ είναι πιθανόν να αλλοιώσει τις βαφές, επηρεάζοντας το χρώμα στις ακουαρέλες. Σημαντική είναι και η αρνητική επίδραση στις μεταλλικές κατασκευές καθώς υλικά όπως το ασήμι, ο χαλκός, το αλουμίνιο είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στη διάβρωση από οξέα, καθώς προκαλούνται μη αναστρέψιμες βλάβες. Παλιές φωτογραφίες επίσης, επηρεάζονται από το SO₂ το οποίο «μαυρίζει» την εικόνα. Τέλος, επιδρά αρνητικά φθείροντας και υλικά όπως ο ασβεστόλιθος, το μάρμαρο και ο πηλός.



Εικόνα 5.1: α) Επιφάνεια από ασήμι αλλοιωμένη β) Χάρτινη επιφάνεια αλλοιωμένη από SO₂ από SO₂

Οξειδία του αζώτου (NO_x)

Τα οξειδία του αζώτου αναφέρονται κυρίως στο μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Το NO είναι άχρωμο και προέρχεται κυρίως από εκπομπές οχημάτων. Το NO₂ έχει κόκκινο χρώμα και είναι υπεύθυνο για το χρώμα της φωτοχημικής ομίχλης. Η οξείδωση των οξειδίων του αζώτου δημιουργεί νιτρώδες (HNO₂) και νιτρικό οξύ (HNO₃), τα οποία είναι εξαιρετικά δραστικά. Υψηλές συγκεντρώσεις NO₂ οδηγούν σε διάβρωση κατασκευών από ασήμι και ψευδάργυρο (Zn). Οι ρύποι του αζώτου, ξεθωριάζουν τις βαμμένες ίνες σε υφάσματα και ταπετσαρίες ενώ επηρεάζουν και οργανικές χρωστικές σε εικονογραφημένα χειρόγραφα. Αποδομούν τις ίνες από μαλλί και μετάξι προκαλώντας τους κιτρίνισμα και ευθραυστότητα.

Όζον (O₃)

Το O₃, προέρχεται από την τροπόσφαιρα και αποτελεί σημαντικό δευτερογενή ρύπο από τις εκπομπές των οχημάτων και των βιομηχανιών. Αποτελεί ισχυρό οξειδωτικό και ενισχύει σημαντικά την οξείδωση του σιδήρου και του ασημιού. Επιπλέον σε ικανές συγκεντρώσει διασπάει του διπλούς δεσμούς στις αλυσίδες άνθρακα προκαλώντας φθορές σε πλαστικά, κάθετα ραγίσματα σε υλικά από ξύλο, πηλό, κ.λπ., φθορές σε φωτογραφικά υλικά και βιβλία και ξεθώριασμα των χρωμάτων.

5.1.4. Μικροβιακοί ρύποι

Πρόκειται συνήθως για μονοκύτταρους οργανισμούς με προέλευση κυρίως από ανθρώπους, ζώα και φυτά οι οποίοι διαχέονται στον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος τον οποίο και ρυπαίνουν. Μπορεί να προέρχονται από το εσωτερικό ή/και το εξωτερικό περιβάλλον. Τα βιολογικής προέλευσης αερομεταφερόμενα μόρια και σωματίδια αναφέρονται συλλογικά ως βιοαεροζόλ. Τα βιοαεροζόλ μπορούν να είναι μικροοργανισμοί ή σωματίδια βιολογικής προέλευσης, τα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Ως παραδείγματα βιοαεροζόλ μπορούν να αναφερθούν οι αερομεταφερόμενοι ιοί, τα βακτήρια, οι μύκητες, η γύρη, τμήματα μικροβιακών κυττάρων ή εντόμων, προϊόντα μεταβολισμού διαφόρων οργανισμών, πτητικές οργανικές ενώσεις βιολογικής προέλευσης, όπως τοξίνες και άλλα (Κατσιβέλα, 2011). Πηγές βιολογικών ρύπων αποτελούν οι υγραντικές συσκευές και τα κλιματιστικά μηχανήματα σε ένα χώρο, οι αεραγωγοί και οι μικρές διαρροές νερού. Τα βιολογικά υγρά, η οικιακή σκόνη, τα έντομα, η γύρη των λουλουδιών, τα πούπουλα

και οι τρίχες από κατοικίδια, οι υγρές επιφάνειες, το χώμα, τα δίκτυα ύδρευσης, το στάσιμο νερό θεωρούνται επίσης πηγές βιολογικών ρύπων. Οι κυριότερες συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη των βιολογικών ρύπων είναι η υγρασία, η μούχλα, η σκόνη, ο ανεπαρκής αερισμός, ο κακός φωτισμός και κάθε συνθήκη που δημιουργεί το κατάλληλο υπόστρωμα (ακαθαρσίες, φυτικά ή ζωικά υπολείμματα, νεκροί φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί κ.ά.). Ο έλεγχος της σχετικής υγρασίας στο σπίτι μπορεί να περιορίσει τη δημιουργία ορισμένων βιολογικών ρύπων. Η συνιστώμενη σχετική υγρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 30%-40%. Η σκόνη, η οποία αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια στερεής ανόργανης και οργανικής ύλης ποικίλης σύστασης, δημιουργεί προβλήματα στα αλλεργικά άτομα, όπως η επιδείνωση της αλλεργικής ρινίτιδας και μερικών μορφών άσθματος. Κάποιες ασθένειες του αναπνευστικού προκαλούνται από την έκθεση σε τοξίνες μικροοργανισμών που βρίσκονται στα υγρά τμήματα των κλιματιστικών.



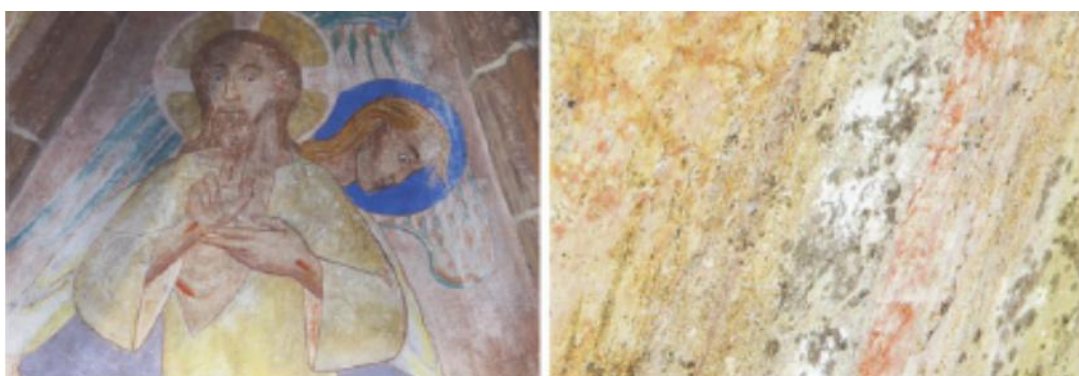
Εικόνα 5.2:α) Επιχρυσωμένη επιφάνεια αλλοιωμένο β) Αλλοίωση ιστορικού βιβλίου από μύκητα *Trichoderma sp* από μύκητες

Μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια και οι μύκητες προκαλούν αλλοιώσεις στα έργα πολιτιστικής κληρονομιάς λόγω της μικροβιακής τους δράσης. Η βιοδιάσπαση δηλαδή η αλλοίωση που παρατηρείται στα έργα τέχνης, ορίζεται ως “οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή σε ένα υλικό που προκύπτει από τις ζωτικές δραστηριότητες των μικροοργανισμών” (Allsopp, 2011). Η αλλοίωση των υλικών πολιτιστικής κληρονομιάς λόγω των μικροοργανισμών καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως τη χημική σύνθεση και τη φύση του ίδιου του υλικού, το κλίμα και την έκθεση του αντικειμένου, τον τρόπο και τη συχνότητα του καθαρισμού των επιφανειών και γενικότερα των μουσείων (Sterflinger and Piñar, 2013).



Εικόνα 5.3: Επιμόλυνση τμημάτων αγγείων από μύκητας εξαιτίας μακροχρόνιας αποθήκευσης σε χάρτινες κούτες

Οι μικροοργανισμοί συμβάλλουν σημαντικά στην υποβάθμιση που παρατηρείται σε οικοδομικά υλικά και υλικά που χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική όπως πέτρα, σκυρόδεμα, κονίαμα, βαφές, γυαλί και μέταλλα (Riřar et al., 2009). Σε πέτρινα κτήρια ή αγάλματα οι μύκητες, λόγω των ισχυρών διαβρωτικών ιδιοτήτων τους προσβάλλουν τα υλικά αυτά. Ανάλογα με τις φυσικές ιδιότητες του υλικού οι μύκητες μπορούν να εισέλθουν στο εσωτερικό του προκαλώντας ρωγμές και μαύρισμα των υλικών (μαύροι μύκητες). Παρατηρείται κυρίως σε ασβεστολιθικά και μαρμάρινα υλικά (Sterflinger, 2010).



Εικόνα 5.4: Ανάπτυξη μύκητα *Cladosporium sp.* σε τοιχογραφία (Sterflinger, 2010)

Συνοψίζοντας οι εσωτερικοί ρυπογόνοι παράγοντες και οι δυνητικές πηγές τους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1: Εσωτερικοί ρυπογόνοι παράγοντες και δυνητικές πηγές τους

Ρύπος	Πηγή
-------	------

Αμίαντος	Ορισμένα παλαιά υλικά για πυροπροστασία ή θερμομόνωση, φρεάτια εξαερισμού και αγωγοί, λέβητες
Αμμωνία (NH ₃)	Ειδικά φωτοτυπικά μηχανήματα, χημικά καθαρισμού, απορρυπαντικά
Βενζόλιο, τολουόλιο, διαλύτες με βάση το πετρέλαιο	Γόμμα για καουτσούκ, φωτοτυπικό μελάνι, διαλύτες καθαρισμού για γόμμες, ορισμένες βαφές και επιχρίσματα
Διεθανολαμίνη	Πρόσθετο νερού που χρησιμοποιείται σε λέβητες ατμού
Μεθυλική αλκοόλη	Διαλύτης για φωτοαντιγραφικές μηχανές
Τριχλωροαιθυλένιο	Ορισμένα διορθωτικά υγρά, μελάνια, κόλλες, καθαριστικά χημικά
Ατμοί βενζίνης	Εξατμίσεις αυτοκινήτων
Ιοί, βακτήρια, μύκητες	Συστήματα εξαερισμού και ύγρανσης, πύργοι ψύξης, αγωγοί εξαερισμού, δοχεία συλλογής νερού (από συμπύκνωση), χαλιά και έπιπλα (με βλάβη που προκλήθηκε από νερό), υγρασία στα παράθυρα, συνάδελφοι εργαζόμενοι που έχουν μολυνθεί
Φυτοφάρμακα και βιοκτόνα	Ψεκασμοί φυτών, εντόμων και καταπολέμηση τρωκτικών
Φορμαδεΰδη	Εκπομπές από έπιπλα, ρητίνες στις μοριοσανίδες, ξύλα από πολυστρώσεις (laminated)
Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)	Δομικά υλικά, κόντρα πλακέ, ρητίνες, κόλλες, στεγανοποιητικές ενώσεις, νέα έπιπλα, χαλιά, βαφές με βάση το πετρέλαιο
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Εξωτερικές πηγές, όπως καύση ορυκτών καυσίμων
Όζον (O ₃)	Ηλεκτροστατικοί καθαριστές αέρα, φωτοτυπικές μηχανές, γεννήτριες όζοντος, εξωτερικό περιβάλλον
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	Το Διοξείδιο του Άνθρακα εκλύεται κατά την εκπνοή καθώς και κατά την καύση από καυστήρες, τζάκια, λέβητες και οχήματα

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Το Μονοξείδιο του Άνθρακα είναι προϊόν ατελούς καύσης και εκλύεται από εξατμίσεις οχημάτων, τα τζάκια, τις θερμάστρες υγραερίου και πετρελαίου) καθώς και από αναμμένα καπνικά προϊόντα
-----------------------------	---

5.1.5. Πρόληψη αέριας ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους Μουσείων

Η εξάλειψη της εσωτερικής ρύπανσης δεν είναι εφικτή καθώς σε όλους τους εσωτερικούς χώρους, ανεξάρτητα από το σχεδιασμό, την κατασκευή, τον εξοπλισμό, τη συντήρηση, την καθαριότητα και τη χρήση τους, παρουσιάζονται πάντα έστω και μικρές ποσότητες ρύπων. Ωστόσο, παρόλο που η ολοκληρωτική εξάλειψη της εσωτερικής ρύπανσης είναι σχεδόν απίθανη, ο περιορισμός της και η μείωση των ρύπων σε επίπεδα μη επιβλαβή για τον άνθρωπο και των αντικειμένων είναι εφικτός.

A) Ρύθμιση υγρασίας / θερμοκρασίας

Οι κυριότερες περιβαλλοντικές παράμετροι επίδρασης στο περιβάλλον ενός χώρου όπου φυλάσσονται μουσειακές συλλογές, είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, ο αερισμός, και η ακτινοβολία οι οποίες μπορούν να αλλοιώσουν τη δομή και το περιεχόμενο του κτιρίου. Ο μηχανισμός φθοράς αποτελεί συνάρτηση της σχέσης μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων του κτηρίου και αυτών του περιεχομένου του και των περιβαλλοντικών παραμέτρων (Kelley, 1996).

Στο μηχανισμό αυτόν τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (θερμικά, χημικά μηχανικά) και του περιεχομένου του είναι μοναδικά για κάθε υλικό ή για σύνθεση υλικών καθώς σχετίζονται άμεσα με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Ο μηχανισμός φθοράς αυτός μπορεί να διακριθεί σε 3 φάσεις: αρχική, επιταχυνόμενη και επιβραδυνόμενη. Η αρχική είναι αυτή που προκαλείται στο κτίριο ή στο αντικείμενο αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του και εξαρτάται από την ποιότητα της κατασκευής και την «επιθετικότητα» του περιβάλλοντος. Η επιταχυνόμενη ξεκινάει από το σημείο εμφάνισης αστοχίας ορισμένων υλικών ή του συνόλου των υλικών. Η τρίτη φάση ξεκινάει από ένα σημείο σταθεροποίησης και διαρκεί μεγαλύτερο διάστημα ενώ οδηγεί στην ολική καταστροφή ή αδυναμία ανάκτησης του υλικού ή του συστήματος. Κάθε κτίριο χαρακτηρίζεται εσωτερικά από θερμικές ζώνες οι οποίες δημιουργούνται από:

- θερμικά στοιχεία του χώρου (θερμικά φορτία, προσανατολισμός, φυσικός φωτισμός, ανοίγματα).
- στοιχεία χρήσης του χώρου (αριθμός ατόμων, ροή ατόμων).
- εγκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού θέρμανσης-ψύξης.

Έως πρόσφατα το βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας και υγρασίας για το χειμώνα λαμβάνονταν 20-24 °C και 35-40% (RH) και αντίστοιχα για το καλοκαίρι 24-28 °C και 50-55% σχετική υγρασία. Για λόγους όμως εξοικονόμησης ενέργειας, είναι επιθυμητό η θερμοκρασία να μειώνεται το χειμώνα στους 20 °C και να αυξάνεται στους 27 °C το καλοκαίρι. Η θερμοκρασία του χώρου επηρεάζεται από τον αριθμό των ανθρώπων που επισκέπτονται ή εργάζονται στο χώρο και από το είδος της εργασίας που εκτελούν σε αυτόν. Δεν υπάρχει μία και μοναδική θερμοκρασία (όπως και υγρασία) όπου ο άνθρωπος νιώθει άνετα αλλά ένα ευρύ φάσμα επιπέδων θερμοκρασίας (& υγρασίας).

Τα προτεινόμενα επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας των μουσείων ποικίλουν. Πάντως φαίνεται πως μεταβολές της σχετικής υγρασίας είναι επικίνδυνες για ορισμένη ομάδα αντικειμένων μόνο κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο και ανάλογα με το είδος του υλικού. Μεταβολές της τάξεως του $\pm 15\%$ σχετικής υγρασίας από μία μέση περιοχή τιμών, επηρεάζει με πολύ αργό ρυθμό τα περισσότερα αντικείμενα. Φθορά εμφανίζεται σε περιοχή τιμών σχετικής υγρασίας $<25\%$ και $>75\%$. Βασικός στόχος των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού των κτηρίων είναι η ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας και της υγρασίας σε όρια συνθηκών θερμικής άνεσης και η εξασφάλιση επαρκούς για τις ανάγκες των ενοίκων αερισμού των εσωτερικών χώρων τους.

B) Αερισμός

Οι προδιαγραφές που αφορούν τον εξαερισμό, σχετίζονται με τους εγκεκριμένους Κώδικες για τις κατασκευές κτιρίων. Ο Κώδικες οι οποίοι λαμβάνονται συνήθως υπόψη είναι στο Πρότυπο 62 του Οργανισμού American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ή το Πρότυπο B2 του Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE).

Αρχικές ενδείξεις ελλιπούς εξαερισμού στους εσωτερικούς χώρους κτηρίων αποτελούν η αυξημένη (ή μειωμένη) θερμοκρασία του, η έλλειψη εξωτερικού νωπού αέρα, η συσσώρευση σκόνης η υπερβολική υγραποίηση σε παράθυρα ή τοίχους. Συχνά, απλές ρυθμίσεις του συστήματος κλιματισμού και εξαερισμού σε ένα κτήριο είναι αρκετές για άμβλυση προβλημάτων που αφορούν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) χρησιμοποιείται ως δείκτης για τον προσδιορισμό των άλλων ρύπων στο εσωτερικό των κτηρίων. Η συγκέντρωση του CO₂, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του αέρα και την υγρασία, αποτελούν σημαντικούς ενδεικτικούς παράγοντες της ποιότητας του αέρα του κτιρίου. Η συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα εσωτερικού χώρου συνιστάται συνήθως να μην ξεπερνά τα επίπεδα συγκέντρωσής του στον εξωτερικό αέρα κατά 700 ppm. Συνήθως η συγκέντρωση του CO₂ στον εξωτερικό αέρα κυμαίνεται μεταξύ 300-500 ppm. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά συμπτώματα σε εργαζόμενους ή επισκέπτες κλειστών χώρων.

Πίνακας 2: Εσωτερικοί ρυπογόνοι παράγοντες και δυνητικές πηγές τους

Συγκέντρωση CO ₂	Συμπτώματα
0-600 ppm (0–1.080 mg/m ³)	Κανένα
600–1000 ppm (1080–1800 mg/m ³)	Περιστασιακές αναφορές πονοκεφάλων, υπνηλίας, συμφόρησης, κ.λπ.
Μεγαλύτερη από 1000 ppm (1800 mg/m ³)	Αύξηση των προαναφερθέντων συμπτωμάτων

Προκειμένου να θεωρηθεί ο εξαερισμός ως μέθοδος περιορισμού της εσωτερικής ρύπανσης, ο εξωτερικός αέρας πρέπει να είναι καθαρότερος από τον εσωτερικό, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στις περιοχές των μεγάλων αστικών κέντρων ή στους συγκοινωνιακούς κόμβους. Ο εξαερισμός των κλειστών χώρων μπορεί να επιτευχθεί με φυσικό τρόπο, δηλαδή με τη διείσδυση του φρέσκου εξωτερικού μέσα από ανοιχτά παράθυρα και πόρτες, λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών και διαφορών πίεσης που αναπτύσσονται μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής ατμόσφαιρας. Ένας άλλος τρόπος είναι αυτός του μηχανικού εξαερισμού, ο οποίος επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μηχανικών μέσων, όπως ανεμιστήρες. Οι ανάγκες των χώρων σε αερισμό προκύπτουν ως συνάρτηση του αριθμού των ατόμων που βρίσκονται στο εσωτερικό τους και των δραστηριοτήτων που αυτοί εκτελούν.

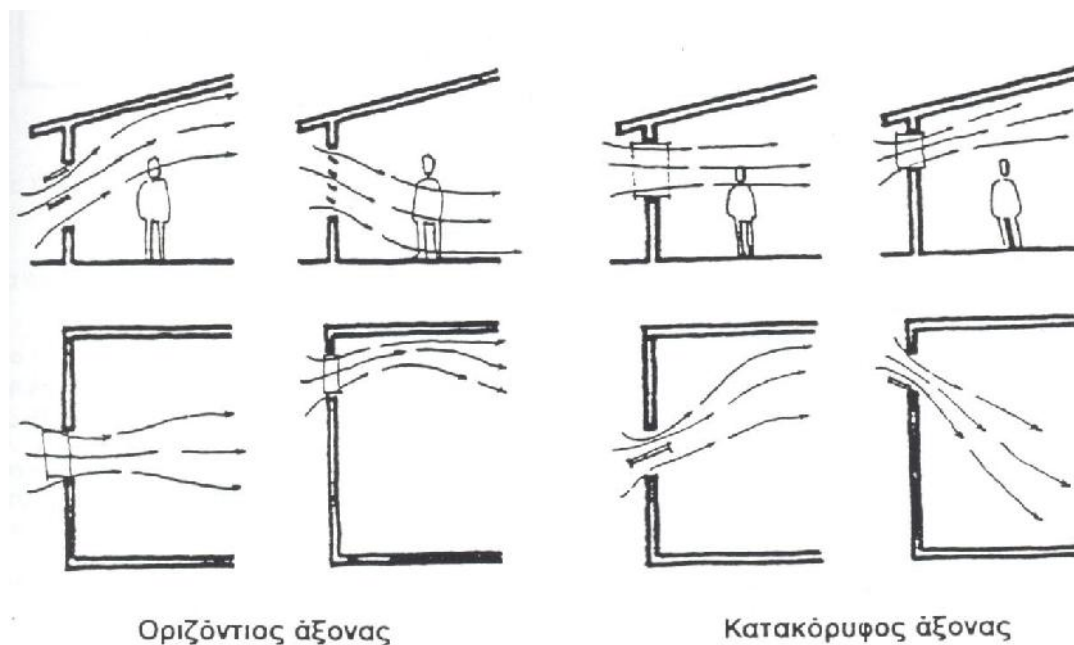
Πίνακας 3: Απαιτήσεις αερισμού ως συνάρτηση της πυκνότητας των ατόμων σε ένα χώρο

Χώρος ανά άτομο m ³	Παροχή αέρα ανά άτομο l/s	Αλλαγές του αέρα ανά ώρα
3	17	20
6	11	6,5
9	8	3,2
12	6	1,8

Έχει υπολογιστεί ότι για να καλυφθούν οι ανάγκες αναπνοής ενός ατόμου σε ανάπαυση χρειάζονται περίπου 12 m³ καθαρού αέρα την ώρα ενώ αυξάνουν εφόσον το άτομο εκτελεί κάποια εργασία.

Τα συστήματα αερισμού των κτιρίων διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: (α) φυσικού αερισμού, (β) μηχανικού αερισμού και (γ) μικτά.

Στην πρώτη κατηγορία η εναλλαγή του αέρα γίνεται μέσα από ανοίγματα στο κέλυφος του κτιρίου τα οποία προκαλούν διαφορά πίεσης εκατέρωθεν των ανοιγμάτων στο κέλυφος. Η κίνηση του αέρα οφείλεται είτε στον άνεμο είτε στη διαφορά εσωτερικής-εξωτερικής θερμοκρασίας. Στα συστήματα μηχανικού αερισμού, η εναλλαγή γίνεται μέσω αεραγωγών όπου ο αέρας ωθείται σε κυκλοφορία με μηχανικά μέσα.



Εικόνα 5.5: Ρύθμιση της κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η διαδρομή που ακολουθούν οι ρύποι στο εσωτερικό του κτιρίου προσδιορίζεται από την κυκλοφορία του αέρα. Οι ρύποι που παράγονται στο κτίριο θα πρέπει να απάγονται όσο γίνεται πιο κοντά στην πηγή τους και όσο γίνεται πιο γρήγορα. Αυτό προϋποθέτει κατάλληλο σχεδιασμό των συστημάτων που προκαλούν κυκλοφορία του αέρα (είτε φυσικών είναι μηχανικών) στο εσωτερικό του κτιρίου, σχεδιασμό που θα περιλαμβάνει και τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου του αέρα στο κέλυφος. Ακόμα και σε κτίρια υποστηριζόμενα από μηχανικό σύστημα αερισμού είναι αναγκαίο να υπάρχει δυνατότητα φυσικού αερισμού όσων το δυνατόν περισσότερων χώρων του. Δηλαδή να λειτουργεί ένα μικτό σύστημα αερισμού. Στην περίπτωση των παραθύρων σημασία έχει και ο τύπος τους (ανακλινόμενο, περιστρεφόμενο, συρόμενο κ.λπ.) εφόσον κάθε ένας από αυτούς συνεπάγεται διαφορετικό τρόπο κυκλοφορίας του αέρα.

Για συστήματα αυτής της κατηγορίας που η λειτουργία τους προϋποθέτει την κυκλοφορία αέρα, ορισμένες πτυχές του σχεδιασμού και της λειτουργίας τους έχουν επίδραση στη διαμόρφωση της ποιότητας εσωτερικού αέρα στα κτίρια όπου είναι εγκατεστημένα:

-) Ο κίνδυνος συμπύκνωσης υδρατμών στις σωληνώσεις ή σε άλλα σημεία των αντίστοιχων

εγκαταστάσεων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία αποικίας υδρόφιλων μικροοργανισμών που παράγουν βιοαεροζόλ.

)] Ο "επεξεργασμένος" από τα συστήματα αυτά αέρας θα πρέπει να αναμιγνύεται όσο το δυνατόν πληρέστερα με τον υπάρχοντα, "παλιό", αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου. Η συγκεκριμένη παρατήρηση, πέρα από τη γενικότερη αξία της για την απόδοση των συστημάτων, έχει αυξημένη σημασία στην περίπτωση των συστημάτων αερισμού. Ο "καθαρός" αέρας θα πρέπει να φτάνει σε όλες τις περιοχές του κτηρίου και να αναμιγνύεται καλά με τον παλιό και κατά τεκμήριο "βρώμικο" αέρα ώστε επιτυγχάνεται αραίωση των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων που αυτός περιέχει.

- Εφόσον η λειτουργία αυτών των συστημάτων προβλέπει εισαγωγή καθαρού αέρα από το περιβάλλον θα πρέπει να μελετηθεί η θέση του στομίου ή των στομιών εισόδου του αέρα ώστε αυτός να είναι πράγματι "καθαρός" (Αρνητικά παραδείγματα αποτελούν επιλογές στομιών εισόδου αέρα κοντά σε θέσεις συλλογής σκουπιδιών, θέσεις παρκινγκ, καμινάδες, στόμια εξαερισμού κλπ). Παρόμοια μελέτη θα πρέπει να γίνει και για τα στόμια εξαερισμού, ώστε ο "βρώμικος" αέρας που απάγεται να μην επηρεάζει το άμεσο περιβάλλον του κτηρίου.

- Τα συστήματα αυτά επιδέχονται την τοποθέτηση φίλτρων που μπορούν αν μειώσουν τις συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων στο εσωτερικό αέρα. Θεωρητικά, φίλτρα μπορούν να υπάρξουν για κάθε αέριο ρύπο. Το πρόβλημα είναι πολλά από αυτά έχουν υψηλό κόστος. Ακόμη, χρειάζονται έλεγχο, συντήρηση και περιοδική αντικατάσταση (γεγονός που αυξάνει το κόστος) που, αν δεν εφαρμόζονται όπως πρέπει, μπορεί να προκληθούν αντίθετα αποτελέσματα (Παπαμανώλης & Κοπανάκης 2010).

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι, ιδιαίτερα για την Ελλάδα, αλλά και για άλλες περιοχές με εύκρατο κλίμα, δεν είναι απαραίτητο τα συστήματα που θα αναλάβουν την εξασφάλιση ικανοποιητικού εσωτερικού περιβάλλοντος να είναι οπωσδήποτε ηλεκτρομηχανολογικά. Αντίθετα, υπάρχουν μεγάλα περιθώρια, τόσο σε επίπεδο σχεδιασμού όσο και σε επίπεδο υλοποίησης, να ανταποκριθούν με επάρκεια στις σχετικές απαιτήσεις φυσικά συστήματα (π.χ. φυσικός αερισμός, φυσικός δροσισμός κ.λπ.), γεγονός που, εκτός από τα άλλα πλεονεκτήματα, περιορίζει και τους κινδύνους που μπορεί να υπάρξουν για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα στα κτήρια.

5.1.6. Μέθοδοι αντιμετώπισης αέριας ρύπανσης

A) Μείωση ρύπων στο μάκρο -περιβάλλον

A1) Σύστημα HVAC

Τα συστήματα HVAC χρησιμοποιούν ποικιλία μεθόδων για τη θέρμανση, ψύξη, ύγρανση και ξήρανση του αέρα. Σε γενικές γραμμές τα συστήματα αυτά «αντενεργούν» παρεμβάλλοντας επεξεργασμένο αέρα με αντίθετες τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας ώστε να εξισορροπήσουν τις κλιματολογικές συνθήκες σε ένα στεγαζόμενο-κλειστό χώρο και να επιτύχουν το ζητούμενο αποτέλεσμα. Έτσι, για παράδειγμα προσθέτουν κρύο αέρα όταν η αίθουσα είναι υπερβολικά ζεστή ή υγρό αέρα όταν ο αέρας εντός της αίθουσας είναι ιδιαίτερα ξηρός. Όμως στην πλειονότητά τους τα συστήματα HVAC δεν είναι σχεδιασμένα για να αφαιρούν την υγρασία σε θερμοκρασίες κάτω του επιπέδου των 20°C. Επιπλέον, η χρήση τους δημιουργεί πρόσθετες δυσκολίες που σχετίζονται με τους τρόπους διασποράς της πρόσθετης θερμότητας που τα HVAC αναπτύσσουν στο περιβάλλον εκτός του κτιρίου.

A2) Μηχανικά Φίλτρα

Στα μηχανικά φίλτρα, η λειτουργία φιλτραρίσματος στηρίζεται σε μηχανισμούς όπως η διάχυση, η ανάσχεση και η αδράνεια. Τα σωματίδια εναποτίθενται στο φίλτρο και μετατρέπονται σε συλλέκτες άλλων σωματιδίων. Καθώς παρεμποδίζεται η ροή του αέρα παρατηρείται πτώση της πίεσης, ενώ παράλληλα αυξάνεται η απόδοση του φίλτρου. Τα φίλτρα που συνδυάζονται με τα συστήματα αερισμού μπορεί να είναι τριών ειδών:

-) prefilters,
-) φίλτρα HEPA ή
-) φίλτρα ULPA.

Τα **prefilters** έχουν συνήθως απόδοση που κυμαίνεται από 70-90% για σωματίδια μικρότερα από 1 μm από τον αέρα.

Τα **φίλτρα HEPA** (High Efficiency Particulate Air) είναι φίλτρα υψηλής απόδοσης (99.97%) για σωματίδια >0.3 μm. Τα φίλτρα αυτά είναι φίλτρα στεγνού τύπου και μεγάλης επιφάνειας και συναντώνται σε μέρη με υψηλές συγκεντρώσεις. Μεγάλη επίδραση στην απόδοση των φίλτρων έχουν τόσο τα πρότυπα ποιότητας που εφαρμόζει ο κατασκευαστής, η εγκατάσταση, η λειτουργία και η συντήρηση των συσκευών, οι πραγματικές συνθήκες ροής του αέρα και η υγρασία, όσο και η πιθανή διαρροή ρυπασμένου αέρα από κενά ή χαραμάδες ανάμεσα στα φίλτρα και το πλαίσιο αυτών.

Τα **φίλτρα ULPA** (Ultra-Low Penetration Air) έχουν απόδοση 99.999% για απομάκρυνση σωματιδίων με διάμετρο 0.12 μm ή μεγαλύτερη. Η απόδοση των φίλτρων εξαρτάται μεταξύ άλλων και από τον τύπο ή τη μορφή του φίλτρου. Τα μηχανικά φίλτρα μπορεί να είναι επίπεδα φίλτρα, φίλτρα σε πλάκες, φίλτρα με πτυχές, φίλτρα σε μορφή σάκου, φίλτρα σε σχήμα κουτιού ή φίλτρα σε μορφή κινητής κουρτίνας. Το κάθε φίλτρο έχει διαφορετική πτώση πίεσης, που είναι η παράμετρος που καθορίζει ουσιαστικά την απόδοση του φίλτρου. Τα επίπεδα φίλτρα είναι φίλτρα αέρα όπου η επιφάνεια φιλτραρίσματος βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το μέσο φιλτραρίσματος με αποτέλεσμα, η ταχύτητα του αέρα που προσπίπτει στο φίλτρο (face velocity) και η ταχύτητα του αέρα που προσπίπτει στο μέσο φιλτραρίσματος (media velocity) να είναι ίδιες. Τα επίπεδα φίλτρα και τα φίλτρα σε πλάκες συνήθως εμπεριέχουν ένα πορώδες μέσο χαμηλής περιεκτικότητας (low packing density fibrous medium) το οποίο είτε είναι στεγνό, είτε είναι επικαλυμμένο με ένα υγρό μέσο όπως λάδι για μεγαλύτερη προσκόλληση με τα σωματίδια. Τα φίλτρα με πτυχές διαθέτουν μεγαλύτερη επιφάνεια φιλτραρίσματος. Αυτό συνεπάγεται πως η ταχύτητα του αέρα που προσπίπτει στο μέσο φιλτραρίσματος γίνεται πολύ μικρότερη από τη ταχύτητα του αέρα που προσπίπτει στο φίλτρο και άρα τα φίλτρα αυτά έχουν μεγαλύτερη απόδοση. Το πάχος των φίλτρων αυτών κυμαίνεται στα 5-10 cm και το φάρδος τους στα 20–30 cm. Τα φίλτρα σε μορφή σάκου είναι φίλτρα που διογκώνονται καθώς εισέρχεται ο προς καθαρισμό αέρας. Τα φίλτρα αυτά αποτελούν το πιο διαδεδομένο είδος φίλτρου υψηλής απόδοσης. Το φίλτρο σε μορφή σάκου διογκώνεται μέχρι και τα 60 cm και έχει γενικά χαμηλότερη πτώση πίεσης απ' ό,τι τα φίλτρα με πτυχές ή τα φίλτρα σε μορφή κουτιού.

Κινητή κουρτίνα ή ανανεώσιμο φίλτρο, είναι μια διάταξη όπου από τη μια πλευρά ξετυλίγεται σταδιακά το καθαρό φίλτρο το οποίο και εκτίθεται στο ρεύμα αέρα, ενώ από την άλλη πλευρά ξανατυλίγεται με τον ίδιο ρυθμό το βρώμικο πλέον φίλτρο. Η διάταξη λειτουργεί με διαλείμματα προς διατήρηση της πτώσης πίεσης σε συγκεκριμένα λειτουργικά επίπεδα.

Πορώδη φίλτρα

Τα πιο διαδεδομένα φίλτρα, όσον αφορά τον καθαρισμό εσωτερικού αέρα, είναι τα πορώδη φίλτρα. Τα πορώδη φίλτρα αποτελούνται από ίνες, οι οποίες είναι πολύ μεγαλύτερες (>0,1 μm) από ό,τι είναι το συνολικό πάχος του φίλτρου και οι οποίες είναι τοποθετημένες σε τυχαίες διατάξεις μεταξύ τους σε επιφάνειες κάθετες προς τη ροή του αέρα. Οι συνηθέστεροι τύποι ινών είναι οι ίνες κυτταρίνης, οι ίνες γυαλιού και οι συνθετικές ίνες. Τα πορώδη φίλτρα είναι συμπαγή φίλτρα, με πυκνότητα (το ποσοστό του συνολικού όγκου το οποίο έχει στερεά μορφή) που κυμαίνεται μεταξύ 1% και 30%.

A3) Ιονιστές Αέρα

Ο ιονιστής αποτελεί συσκευή που παράγει αρνητικά ή θετικά φορτισμένα ιόντα και τα διαχέει στον αέρα. Με τον ιονισμό του αέρα επιτυγχάνεται απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων και σκόνης από τον αέρα του δωματίου, μέσω εναπόθεσης σε οριζόντιες κυρίως επιφάνειες που βρίσκονται γύρω από τον ιονιστή

(συχνά τοίχους, έπιπλα κλπ). Μέσω αυτής της μεθόδου είναι πιθανό να μειώνεται και η συγκέντρωση αερόβιων μικροοργανισμών καθώς αυτοί συχνά μεταφέρονται μέσω της σκόνης και των σωματιδίων. Τα σωματίδια που εναποτίθενται συσσωρεύονται, σχηματίζουν μεταξύ τους ενώσεις και διαμορφώνουν μεγαλύτερα σωματίδια, αυξάνοντας έτσι το ρυθμό εναπόθεσης νέων σωματιδίων. Όπως και στις διατάξεις καθίζησης μέσω ηλεκτροστατικών δυνάμεων, έτσι και στους ιονιστές, απαιτείται μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και παράγονται υψηλά μέχρι και επικίνδυνα επίπεδα όζοντος.

B) Μείωση ρύπων στο μικρο -περιβάλλον

Οι συνθήκες αποθήκευσης και έκθεσης του μουσειακού και αρχαιακού υλικού είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη διατήρησή του σε καλή κατάσταση. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής, τη φύση και την ηλικία των εκθεμάτων αλλά και των κλιματολογικών συνθηκών εντός της αίθουσας ή του κτιρίου, η ανάγκη για εξασφάλιση συγκεκριμένων και απόλυτα ελεγχόμενων μικροκλιματικών συνθηκών εντός των προθηκών μπορεί να είναι επιτακτική για ορισμένα μουσειακά αντικείμενα.

Οι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στην κατάσταση των εκθεμάτων είναι:

- οι απότομες μεταβολές και οι μεγάλες διαφορές στα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας,
- η χημική ρύπανση
- ο ακατάλληλος φωτισμός

Ο έλεγχος των κλιματολογικών συνθηκών σε ένα μουσείο είναι είτε δύσκολος είτε ιδιαίτερα ακριβός ή ακόμα και τεχνικά αδύνατος. Είναι πολύ σημαντικό οι αίθουσες/χώροι που θα φιλοξενήσουν τα εκθέματα να σχεδιάζονται εξ αρχής με γνώμονα τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και με καλές προοπτικές για παθητικό δροσισμό με στόχο τη δημιουργία της απαραίτητης θερμικής άνεσης. Από την άλλη μεριά όμως, στις περισσότερες υφιστάμενες κτιριακές κατασκευές που φιλοξενούν μουσεία στην Ελλάδα, οι παράμετροι αυτές δεν έχουν ποτέ προβλεφθεί. Έτσι, η απλούστερη λύση που αντισταθμίζει τις δύσκολα ελεγχόμενες διακυμάνσεις της υγρασίας και της θερμοκρασίας περιορίζεται αναγκαστικά στον ακριβή έλεγχο και ρύθμιση της υγρασίας του αέρα που περιβάλλει τα εκθέματα-δηλαδή ο μικροκλιματικός έλεγχος σε προθήκες.

Για την προστασία και τη διατήρηση των εκθεμάτων σε καλή κατάσταση οι δύο εύκολα εφαρμόσιμες λύσεις αφορούν στην εγκατάσταση:

- παθητικού ρυθμιστή ή
- ενεργητικού ρυθμιστή των μικροκλιματικών συνθηκών που αναπτύσσονται εντός μιας προθήκης.

Η ενεργητική συσκευή ελέγχου μικροκλίματος (σύστημα μικροκλιματικού ελέγχου), δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες σχετικής υγρασίας (RH) και θερμοκρασίας εντός της προθήκης, τις οποίες και διατηρεί

σταθερές μεταβάλλοντας κατά περίπτωση τις αντίστοιχες τιμές της υγρασίας/θερμοκρασίας. Το σύστημα μικροκλίματος διαθέτει ειδικούς ηλεκτρονικούς αισθητήρες και κατάλληλα φίλτρα κατακράτησης των σωματιδίων σκόνης καθώς και των συνηθέστερων στερεών και αερίων ρύπων όπως των ενώσεων θείου, αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καθαρισμός του εισερχόμενου στην προθήκη αέρα. Τόσο η σχετική υγρασία (RH) όσο και η θερμοκρασία ρυθμίζονται κατάλληλα με αποκλίσεις που δεν ξεπερνούν το $\pm 1\%$ στο εσωτερικό της προθήκης. Οι επιθυμητές τιμές για RH καθορίζονται με ακρίβεια από τους συντηρητές, ενώ το σύστημα επιλέγει αυτόματα και κατά περίπτωση εναλλαγή από ύγρανση σε αφύγρανση και το αντίστροφο.

Η ποσότητα του αέρα η οποία τροφοδοτείται από το σύστημα μικροκλιματικού ελέγχου μέσα στις προθήκες είναι τέτοια ώστε τόσο η ίδια η συσκευή όσο και το σύστημα σωληνώσεων μετάδοσης/μεταφοράς του αέρα, να μπορούν να επιτύχουν τουλάχιστον 4 εναλλαγές αέρα την ημέρα. Αυτό το ποσό είναι υπεραρκετό ώστε να διατηρείται η σχετική υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Από την άλλη, τα συστήματα μικροκλιματικού ελέγχου χρησιμοποιούν ένα μηχανισμό που απλά εκτοπίζει τον εγκλωβισμένο εντός της προθήκης αέρα και αντικαθιστά με άλλον επεξεργασμένο αέρα στα επιθυμητά επίπεδα υγρασίας/θερμοκρασίας. Με αυτόν τον τρόπο, τα επίπεδα υγρασίας/θερμοκρασίας κατανέμονται ομοιόμορφα στο σύνολο της αέριας μάζας που πλαισιώνει τα εκθέματα.

Συστήματα με μικρές διαστάσεις και αθόρυβη λειτουργία μπορούν να τοποθετηθούν εντός του βάρους στο κάτω τμήμα της προθήκης ή εξωτερικά παράπλευρα με την προθήκη. Μεγαλύτερα συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν σε απόσταση που ξεπερνά τα 100 μέτρα από το χώρο όπου βρίσκονται οι προθήκες.

Τα συστήματα αυτά :

- Απομακρύνουν τα μολυσματικά στοιχεία που έχουν παγιδευτεί ή παγιδεύονται εντός των προθηκών με χρήση ειδικών φίλτρων κατακράτησης μολυσματικών στοιχείων.
- Παρέχουν εύκολη ανάγνωση των πληροφοριακών ενδείξεων καθώς και ακριβή καταγραφή των μετρήσεων.
- Είναι εξοπλισμένα με πολλαπλούς μηχανισμούς παροχής ασφάλειας σε περίπτωση εμφάνισης βλάβης
- Παρέχουν διαρκή και σταθερή ποσότητα αέρα ώστε να εμποδίζεται το φαινόμενο της διαστρωμάτωσης
- Διαθέτουν σύστημα προγραμματισμού και υπενθύμισης για την τέλεση των εργασιών συντήρησης τις νυκτερινές ώρες.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα για απομακρυσμένη διαχείριση με χρήση εξειδικευμένου λογισμικό

B2) Είδη προσροφητικών υλικών για προθήκες

Χρήση ενεργού άνθρακα

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται όταν ανθρακούχα υλικά διαφόρων προελεύσεων (ορυκτός άνθρακας, καουτσούκ, κλπ) που υπόκεινται σε ελεγχόμενη διαδικασία οξείδωσης. Με τον τρόπο αυτό τα παραγόμενα κενά παρέχουν ενεργοποιημένους άνθρακες με τεράστια εσωτερική επιφάνεια (περίπου 500-1500 m²/g). Οι καθαροί ενεργοί άνθρακες είναι ικανοί να απορροφούν μεγάλο εύρος αέριων στην επιφάνεια αυτή, όπως όζον, πτητικές οργανικές ενώσεις και παρασιτοκτόνα. Επίσης, είναι δυνατόν να προσροφηθεί χλώριο, NO₂ και SO₂, σε μικρότερο ωστόσο βαθμό. Επιπλέον, ο ενεργός άνθρακας μπορεί να απορροφήσει σημαντικές ποσότητες υδρατμών, ιδιαίτερα σε υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας (π.χ. 3% κατά βάρος σε 50% σχετική υγρασία, 7% κατά βάρος σε 60% σχετική υγρασία, και 25% κατά βάρος σε 70% σχετική υγρασία). Γενικά είναι κατάλληλος για τον καθαρισμό του ατμοσφαιρικού αέρα ή άλλων αερίων από οργανικά στοιχεία σε μέση-χαμηλή περιεκτικότητα. Ο ενεργός άνθρακας απορρίπτεται, ενώ δεν μπορεί να ελεγχτεί ο βαθμός κορεσμού του. Σχετικά με τη χρήση ανά κυβικό, αυτό δεν είναι σπάντα μέγεθος, καθώς για να λειτουργήσει αποτελεσματικά χρειάζεται διέλευση αέρα. Ακόμη και 50 gr μπορούν να φιλτράρουν όγκο ενός κυβικού αν χρησιμοποιηθούν με τη λογική του φίλτρου. Συνήθως χρειάζονται περίπου 100 gr/m³ για την κατακράτηση VOCs όταν δεν λειτουργεί με τη μορφή φίλτρου.

Activated Charcoal Cloth (ACC)

Αποτελεί έναν από τους πιο «έξυπνους» και αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης των προβλημάτων προστασίας αντικειμένων από διάφορους ρύπους. Το ACC αποτελείται 100% από ενεργό άνθρακα που παράγεται σε εύκαμπτη υφασμάτινη μορφή. Έχει μεγάλη εσωτερική επιφάνεια για προσρόφηση (1050-1400 m²/g) και αποτελείται εξ' ολοκλήρου από μικροπόρους. Η μεγάλη εξωτερική του επιφάνεια εγγυάται τη βέλτιστη απόδοση για την απομάκρυνση ρύπων από προθήκες, με ή χωρίς εξαερισμό. Το υλικό αυτό ενδείκνυται και στις μεταφορές μουσειακών αντικειμένων



Εικόνα 5.6: Υφασμα ACC

Στην περίπτωση που το μαύρο χρώμα του υφάσματος δεν είναι αποδεκτό για συγκεκριμένα μουσειακά είδη υπάρχει η δυνατότητα κάλυψής του με λεπτό ύφασμα διακόσμησης. Το ACC ενδέχεται ωστόσο να έχει ελαφρώς διαβρωτική επίδραση σε μερικές μεταλλικές επιφάνειες εφόσον βρίσκεται σε άμεση επαφή με αυτές. Προκειμένου να αποφεύγεται η διάβρωση ένα ουδέτερο ύφασμα πρέπει να παρεμβάλλεται μεταξύ του ACC και του αντικειμένου. Το ACC επιδέχεται επεξεργασίας όπως οποιοδήποτε άλλο ύφασμα.

Κοκκώδης ενεργός άνθρακας

Ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας χρησιμοποιούνται κυρίως στα συστήματα φίλτρανσης. Απαιτεί ορισμένη κυκλοφορία αέρα για να είναι πλήρως αποτελεσματικός. Σε εφαρμογές , χωρίς κυκλοφορία αέρα, όπως οι προθήκες , προτιμάται το ύφασμα ACC.

Καθαρός ενεργός άνθρακας από κέλυφος καρύδας.

Ο καθαρός ενεργός άνθρακας είναι σημαντικά ταχύτερος στην προσρόφηση από τον εμποτισμένο ενεργό, καθώς η φυσική προσρόφηση είναι πιο γρήγορη από τη διαδικασία χημικής προσρόφησης που χρησιμοποιείται από τους εμποτισμένους τύπους. Ωστόσο, οι ρύποι προσροφώνται «αδύναμα» από τους καθαρούς ενεργούς άνθρακες. Εάν ο καθαρός ενεργός άνθρακας είναι κοντά στο σημείο κορεσμού του, οι ρύποι μπορούν να απελευθερωθούν όταν η υγρασία ή η θερμοκρασία αυξηθεί. Το γεγονός αυτό θεωρείται σημαντικό μειονέκτημα τους σε μακροχρόνιες εφαρμογές. Ο ενεργός άνθρακας από κέλυφος καρύδας χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές λόγω των εξαιρετικά μικρών πόρων του. Το κέλυφος καρύδας ανήκει στις καλύτερες πρώτες ύλες για την παραγωγή ενεργού άνθρακα. Οι πόροι έχουν μέγεθος 2,4-4,8 nm, φαινόμενη πυκνότητα 450 ± 25 g/l, εμβαδόν εσωτερικής επιφάνειας 1100 m²/g, και μέγιστη περιεκτικότητα σε τέφρα: 5%.



Εικόνα 5.7: Κοκκώδης ενεργός άνθρακας

Εμποτισμένος ενεργός άνθρακας

Οι πιο συνηθισμένοι ρύποι στις προθήκες είναι τα όξινα αέρια όπως το οξικό ή το μυρμηκικό οξύ, που απελευθερώνονται από οργανικά υλικά όπως το ξύλο. Αυτές οι ενώσεις αλλά και άλλοι ρύποι όπως το SO₂ μπορούν να δεσμευτούν καλύτερα από ενεργό άνθρακα με αλκαλικό εμποτισμό οπότε και πραγματοποιείται χημική προσρόφηση. Γενικά, αυτή η διαδικασία είναι πιο αργή από την καθαρή φυσική προσρόφηση αλλά οι ρύποι δεσμεύονται πιο σταθερά στον άνθρακα. Έτσι, σε μακροχρόνιες εφαρμογές υπάρχουν μικρότερες πιθανότητες να απελευθερωθούν. Ο ενεργός άνθρακας KC10, εμποτισμένος με NaOH, χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση μικρών ποσοτήτων όξινων ατμών από τον αέρα. Τα χαρακτηριστικά του έχουν ως εξής:

Φαινόμενη πυκνότητα: 500 ± 5% g/l

pH: αλκαλικό

αριθμός ιωδίου: 900 mg/g

ελάχιστη τιμή CTC για προσρόφηση CCl₄: 60%.



Εικόνα 5.8: Εμποτισμένος ενεργός άνθρακας

Προσροφητές για την προστασία αντικειμένων από ασήμι

Η επιφανειακή οξειδωση του αργύρου (μαύρισμα) προκαλείται κυρίως από το υδρόθειο και σε μικρότερο βαθμό, από άλλους ρύπους όπως τα οξείδια του θείου, τα οξείδια του αζώτου και το χλώριο. Η σχετική υγρασία αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη διαδικασία αυτή. Αρκετές μέθοδοι προστασίας του αργύρου από την οξειδωση (βερνίκι, επιχρίσματα) έχουν παρουσιάσει σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις σε μουσειακά είδη. Η απομάκρυνση επομένως των αέριων ρύπων αποτελεί έναν ασφαλή τρόπο προστασίας πολύτιμων αντικειμένων αργύρου (συμπεριλαμβανομένων φωτογραφικών υλικών, άλλων μετάλλων και μεταλλικών βαφών), αφήνοντας τα αντικείμενα αμετάβλητα. Υλικά όπως το Purafil και ο ενεργός άνθρακας επιβραδύνουν σημαντικά την οξειδωση των αντικειμένων από ασήμι. Ωστόσο, οι συγκριτικές δοκιμές

έδειξαν ότι οι ειδικοί προσροφητές με βάση το οξείδιο του ψευδαργύρου ή το Pacific Silvercloth παρέχουν αρκετά καλύτερη προστασία.

Pacific Silvercloth

Αποτελεί ύφασμα 100% βαμβακερό με ενσωματωμένα χιλιάδες λεπτά σωματίδια αργύρου. Παράγεται με κατακρήμνιση καθαρού, κολλοειδούς αργύρου σε βαμβακερό ύφασμα. Το ύφασμα απορροφά αέρια που οξειδώνουν πριν φτάσουν στα ασημένια αντικείμενα. Μπορεί να είναι αποτελεσματικό για αρκετές δεκαετίες ανάλογα με το περιβάλλον. Μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας σε είδη από ασημί ή να κολληθεί σε συρτάρια ή τοιχώματα ντουλαπιών. Το Pacific Silvercloth δεν εκπέμπει άλλες χημικές ενώσεις και έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλά μουσεία και καταστήματα αργυροχρυσοχοΐας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για είδη από ασημί που εκτίθενται και σε ερμάρια αποθήκευσης. Η απορρόφηση ρύπων μεταβάλλει το χρώμα του υφάσματος από καφέ σε μαύρο, οπότε το χρώμα δίνει κάποια ένδειξη εάν το ύφασμα εξακολουθεί να είναι αποτελεσματικό. Ο σημαντικός παράγοντας δεν είναι η ποσότητα του Silvercloth (σε προθήκες πχ η ποσότητα H_2S που απορροφάται θα είναι σχετικά μικρή) αλλά ο χώρος που τοποθετείται καθώς θα πρέπει να τοποθετείται κοντά ανοίγματα της προθήκης απ' όπου ο αέρας μπορεί να εισέλθει. Η προστασία θα είναι τέλεια αν οι ρύποι πρέπει να περάσουν μέσα ή κατά μήκος του Pacific Silvercloth πριν φτάσουν στο ασημένιο αντικείμενο.

Zinc Oxide Catalyst G 72-D

Πρόκειται για συσσωματώματα πάχους 4,5 mm (μήκους 5-7 mm) που αποτελούνται από 90% ZnO , 6,4% Al_2O_3 , 0,6% Na_2O , εσωτερικής επιφάνεια 50 m^2/g , φαινόμενης πυκνότητας 1,1 kg/l . Το υλικό αυτό παρουσιάζει υψηλή συνάφεια με το υδρόθειο. Σε δοκιμές προσέφερε καλύτερη προστασία για το ασημί από τον ενεργό άνθρακα και το Purafil.



Εικόνα 5.9: Zinc Oxide Catalyst G 72-D

Το οξειδίο του ψευδαργύρου G 72-D έχει σχεδιαστεί για μονάδες φίλτρανσης του αέρα. Για εφαρμογή τους ως στατικό προσροφητικό τα συσσωματώματα μπορούν να θρυμματιστούν σε μικρότερους κόκκους. Το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι προσρόφησης 5% θείου (κατά βάρος). Για εφαρμογές σε μουσεία, προτείνεται μετάβαση σε χαμηλότερο επίπεδο, π.χ. σε 1-2% κατά βάρος. Έχει επίσης τη δυνατότητα κατακράτησης VOCs. Δηλαδή τα 100 gr απορροφούν 5gr υδρόθειο. Εντός μιας προθήκης χρειάζεται 100 gr/m³. Απορρίπτεται μετά από αρκετό χρονικό διάστημα ενώ δεν μπορεί να ελεγχτεί ο βαθμός κορεσμού του.

5.1.7. Βιβλιογραφία

- Allsopp, D. (2011). Worldwide wastage: the economics of biodeterioration. *Microbiology Today* 38, 150–153.
- Anderson, L. G., and J. A. Lanning. 1999. Long-term measurements of carbonyl compounds in Denver's atmosphere, December 1987 through December 1994. In *Preprints of Extended Abstracts: Presented at the 217th ACS National Meeting, Anaheim, CA, March 21–25, 1999*, 348–51. Washington, D.C.: American Chemical Society.
- Anderson, L. G., J. A. Lanning, E. Prouty, R. Eisenhardt, and M. Pribil. 1999. Spatial variability of carbonyl compound concentrations measured along the Colorado Front Range. In *Preprints of Extended Abstracts: Presented at the 217th ACS National Meeting, Anaheim, CA, March 21–25, 1999*, 343–46. Washington, D.C.: American Chemical Society.
- Anderson, L. G., J. A. Lanning, R. Barrell, J. Miyagishima, R. H. Jones, and P. Wolfe. 1996. Sources and sinks of formaldehyde and acetaldehyde: An analysis of Denver's ambient concentration data. *Atmospheric Environment* 30, no. 12:2113–23.
- Bradley, S., and D. Thickett. 1999a. The pollution problem in perspective. In *12th Triennial Meeting, Lyon, 29 August–3 September 1999: Preprints*, ed. J. Bridgland and ICOM Committee for Conservation, 1:8–13. London: James & James.
- Brilli F, Silvano Fareset al. Plants for Sustainable Improvement of Indoor Air Quality, *Plants for Sustainable Improvement of Indoor Air Quality, Opinion*. Vol 23, Issue 6, P507-512, 2018
- Budu Ana-Maria, Sandu Ion, *Monitoring Of Pollutants In Museum Environment PESD*, vol. 9, no. 2, 2015
- Cazorla M, M.W. Grutzeck. Indoor air pollution control: Formaldehyde adsorption by zeolite rich materials, *Ceramic Transactions* 176:3-13 · January 2006
- Cecily M. Grzywacz, Getty Publications 2006, *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, 2006

- Chiantore, O., & Poli, T. (2021). Indoor Air Quality in Museum Display Cases: Volatile Emissions, Materials Contributions, Impacts. *Atmosphere*, 12(3), 364.
- Chiantore, O., Riedo, C., Poli, T., Cotrufo, G., & Hohenstatt, P. (2018). Risk assessment and preservative measures for volatile organic compounds in museum showcases. *Studies in Conservation*, 63(sup1), 58-63.
- D'agostino V Francesca Roman d'Ambrosio Alfano Boris Igor Palella Giuseppe Ricci, The museum environment: A protocol for evaluation of microclimatic conditions, *Energy and Buildings* Volume 95, 15 May 2015, Pages 124-129 *Energy and Buildings*
- Dosier Ginger Krieg, 3D Printed Pollution Absorbing Materials for Urban Environments. American University of Sharjah, 2009
- Gibson L. T., C. M. Watt, Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments, *Corrosion Science*, 2010, 52, 172-178
- Godoi, R. H. M., Carneiro, B. H. B., Paralovo, S. L., Campos, V. P., Tavares, T. M., Evangelista, H., Van Grieken, R. & Godoi, A. F. L. 2013. Indoor air quality of a museum in a subtropical climate: The Oscar Niemeyer museum in Curitiba, Brazil. *Science of The Total Environment*, 452–453, 314-320.
- Grøntoft T, Paul Lankester, David Thickett, Reduction of acidic pollutant gases inside Showcases by the use of activated carbon, *Adsorbers, e-preservation science*, 2015
- Grøntoft T, M. Odlyha, P. Mottner, E. Dahlin, et al. Pollution monitoring by dosimetry and passive diffusion sampling for evaluation of environmental conditions for paintings in microclimate frames, *Journal of Cultural Heritage*, 2010, 11, 411-419.
- Grzywacz C, *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, 2006
- Harris S., A system approach to building assessment», *Standards for Preservation and Rehabilitation*, ASTM STP 1258, S. Kelley, American Society for Testing and Materials, 1996, p. 137-148.
- Jeung-Han Hong, Jiyeon Hong, Jiyeon Yu, and Youngwook Lim, Study of the removal difference in indoor particulate matter and volatile organic compounds through the application of plants. *Environ Health Toxicol.* 2017; 32: e2017006.
- Kelly, T. J., D. L. Smith, and J. Satola. 1999. Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes. *Environmental Science & Technology* 33, no. 1:81–88.
- Kim, M. K., Baldini, L., Leibundgut, H., Wurzbacher, J. A. & Piatkowski, N. "A novel ventilation strategy with CO2 capture device and energy saving in buildings". *Energy Build.* 87, 134–141 (2015)

- Krupińska B, René Van Grieken, Karolien De Wael Air quality monitoring in a museum for preventive conservation: Results of a three-year study in the Plantin-Moretus Museum in Antwerp, Belgium *Microchemical Journal* 110 (2013) 350–360
- Krupińska, B., Worobiec, A., Gatto Rotondo, G., Novaković, V., Kontozova, V., Ro, C.-U., Van Grieken, R. & De Wael, K. (2012). Assessment of the air quality (NO₂, SO₂, O₃ and particulate matter) in the Plantin-Moretus Museum/Print Room in Antwerp, Belgium, in different seasons of the year. *Microchemical Journal*, 102, 49-53.
- Litti G, Amaryllis Audenaert, Kristian Fabbri. Indoor Microclimate Quality (IMQ) certification in heritage and museum buildings: The case study of Vleeshuis museum in Antwerp, *Building and Environment*. Volume 124, 1 2017, Pages 478-491
- Rimmer, M,Thickett, D.,Watkinson, D., Ganiaris, Eds., Guidelines for the Storage and Display of Archaeological Metalwork, English Heritage, Swindon, 2013.
- Ryhl-Svendsen M., Indoor air pollution in museums: prediction models and control strategies *Studies in Conservation*. Volume 51, 2006 - Issue sup1: Reviews in Conservation, Volume 7, 2006
- Schieweck, T. Salthammer, Indoor air quality in museum show-cases, *Journal of Cultural Heritage*, 2011, 12 , 205-213
- Scurpi F., Cristina Carletti, Gianfranco Cellai Leone Pierangioli. Environmental monitoring and microclimatic control strategies in “La Specola” museum of Florence *Energy and Buildings*, Vol. 95, 15 May 2015, Pages 190-201
- Sterflinger K, Piñar G, Microbial deterioration of cultural heritage and works of art — tilting at windmills?, *Applied Microbiology and Biotechnology* November 2013, Volume 97, Issue 22, pp 9637–96
- Sterflinger, K.(2010). Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage. *Fungal BiologyReviews*, 24, 47-55.
- Sung, W. P., Tsai, T. T., Wu, M. J., Wang, H. J. & Surampalli, R. Y. (2011). Removal of Indoor Airborne Bacteria by Nano-Ag/TiO₂ as Photocatalyst: Feasibility Study in Museum and Nursing Institutions. *Journal of Environmental Engineering*, 137, 163-170.
- Thickett D. and L.R. Lee, Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects. *The British Museum Occasional Paper* Number 111, 2004
- Vesna Živkovi, Veljko Džikić, Central. Return to basics—Environmental management for museumcollections and historic houses *Energy and Buildings* 95 (2015) 116–123

- Xilian Luo, Zhaolin Gu, Chuck Yu, Tao Ma and Kiwamu Kase, Efficacy of an air curtain system for local pit environmental control for relic preservation in archaeology museums, *Indoor and Built Environment* 2016, Vol. 25(1) 29–40
- Xilian Luo, Zhaolin Gu, Tianyu Li, Xiangzhao Meng Tao Ma Chuck Yua, Environmental control strategies for the in situ preservation of unearthed relics in archaeology museums, *Journal of Cultural Heritage* Volume 16, Issue 6, November–December 2015, Pages 790-797
- Yu B.F., et.al, “Review of research on air – conditioning systems and indoor air quality control for human health”. *International Journal of Refrigeration*, Vol.32, p 3-20 (2009).
- Παπαμανώλης Ν., Κοπανάκης Η., Σημειώσεις για τη ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, «Περιβαλλοντική Διαχείριση-Σύγχρονα Εργαλεία», του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση», 2010
- Κατσιβέλα, Ε. (2011). Αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί και αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου. Τριμηνιαία Ενημερωτική Έκδοση Τ.Ε.Ι. Κρήτης Ενημέρωση, Τεύχος 7, 64-73.
- Πολυτεχνείο Κρήτης, Εγχειρίδιο Οδηγού Προστασίας Μουσείων, ΜΟΥΣΕΙΑ, Διαχείριση και Προστασία Ευπαθών Έργων Τέχνης σε Μουσεία από αέριους ρύπους
- <https://www.epa.gov/iaq-schools/controlling-pollutants-and-sources-indoor-air-quality-design-tools-schools>
- The MEMORI technology. Innovation for Conservation

5.2. Μετρήσεις επάρκειας συνθηκών με χρήση μοντέλων προσομοίωσης

Με στόχο τη βελτιστοποίηση του εξαερισμού πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της ποιότητας του αέρα στον εσωτερικό χώρο του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης (IMK) με τη χρήση ενός αριθμητικού εργαλείου το οποίο υπολογίζει συγκεντρώσεις ρύπων. Ουσιαστικά ο χώρος θεωρήθηκε σαν ένα σύνολο μικροπεριβαλλοντικών θαλάμων με στόχο να μελετηθεί η επάρκεια των υπαρχόντων μέτρων προστασίας. Η εφαρμογή του μοντέλου επιτρέπει την ποσοτικοποίηση διαφορετικών παραμέτρων και την αξιολόγηση προτεινόμενων μέτρων, μέσω της προσομοίωσης διαφορετικών σεναρίων.

Το αριθμητικό μοντέλο CONTAMW χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα στο ισόγειο του IMK και πιο συγκεκριμένα για τους αέριους ρύπους NO₂ και CO₂.

Οι προσομοιώσεις αφορούσαν σενάρια κατά τα οποία, υπήρχε πρόσθετο φορτίο στις Αίθουσες του IMK (επισκέπτες), το σύστημα μηχανικού αερισμού ήταν ανοιχτό ή κλειστό, λειτουργούσε στο σύνολο των ωρών λειτουργίας του IMK ή λιγότερες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Προσομοίωση της Ποιότητας του Αέρα του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης με χρήση του λογισμικού
CONTAMW



5.2.1. Στόχος της προσομοίωσης

Στόχος της εργασίας είναι η προσομοίωση της ποιότητας του αέρα στον εσωτερικό χώρο του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης με τη χρήση ενός αριθμητικού εργαλείου το οποίο υπολογίζει συγκεντρώσεις ρύπων. Η εφαρμογή του μοντέλου επιτρέπει την ποσοτικοποίηση διαφορετικών παραμέτρων και την αξιολόγηση προτεινόμενων μέτρων, μέσω της προσομοίωσης διαφορετικών σεναρίων.

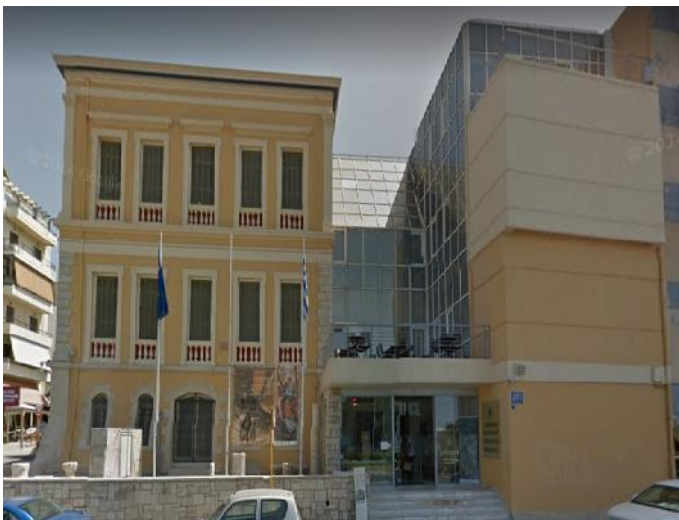
Το αριθμητικό μοντέλο CONTAMW χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα στο ισόγειο του ΙΜΚ και πιο συγκεκριμένα για τους αέριους ρύπους NO₂ και CO₂.

Οι προσομοιώσεις αφορούσαν σενάρια κατά τα οποία, υπήρχε πρόσθετο φορτίο στις Αίθουσες του ΙΜΚ (επισκέπτες), το σύστημα μηχανικού αερισμού ήταν ανοιχτό ή κλειστό, λειτουργούσε στο σύνολο των ωρών λειτουργίας του ΙΜΚ ή λιγότερες. Οι αρχικές εκτιμήσεις και όποιες συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν σε σχέση με τις μετρήσεις-δειγματοληψίες των συγκεκριμένων ρύπων, που είχαν πραγματοποιηθεί στη διάρκεια της πράξης.

5.2.2. Ιστορικό Μουσείο Κρήτης

Το κτίριο του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης (ΙΜΚ) βρίσκεται στο λιμάνι του Ηρακλείου, επί της παραλιακής οδού (Σοφοκλή Βενιζέλου 27), πολύ κοντά στο κέντρο της πόλης. Η παραλιακή οδός αποτελεί έναν από τους πλέον πολυσύχναστους δρόμους κυκλοφορίας οχημάτων του Ηρακλείου, με αποτέλεσμα η επιβάρυνση από του αέριους ρύπους να εμφανίζεται ιδιαίτερα αυξημένη κυρίως τις ώρες αιχμής αλλά και στη διάρκεια της τουριστικής περιόδου.

Το μουσείο στεγάζεται σε διατηρητέο νεοκλασικό κτίριο που αποτελεί την παλαιότερη πτέρυγα του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης και κατασκευάστηκε το 1903. Κατά τη δεκαετία του 1970 το ΙΜΚ, επεκτάθηκε με την ανέγερση νέας πτέρυγας, εγχείρημα συνδυασμού της μοντέρνας με την νεοκλασική αρχιτεκτονική.



Εικόνα 5.10: Πρόσοψη Ιστορικού Μουσείου Κρήτης

Η πτέρυγα αυτή συμπληρώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με προσθήκη ορόφου και ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2004 με τη διαρρύθμιση Αιθουσών Περιοδικών Εκθέσεων και του «Αμφιθεάτρου Γιάννης Περτσελάκης». Σήμερα, η συνολική στεγασμένη εκθεσιακή επιφάνεια του Μουσείου είναι 1500 m² κατανεμημένη σε 25 χώρους.

5.2.3. Λογισμικό CONTAMW

Το CONTAMW αποτελεί λογισμικό πρόγραμμα ανάλυσης ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων και αερισμού που αναπτύχθηκε από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST). Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας πολυζωνικών μοντέλων κτηρίου και προσομοίωση διαζωνικής ροής αέρα και μεταφοράς ρύπων. Χρησιμοποιεί ένα γραφικό περιβάλλον εργασίας, φιλικό προς το χρήστη για την αναπαράσταση ενός κτιρίου. Παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη, μέσω του SketchPad, σχεδιασμού κάτοψης ενός κτιρίου και γεωμετρικού καθορισμού στοιχείων όπως ζώνες, «μονοπάτια» ροής αέρα, συστήματα εξαερισμού, πηγές ρύπων κλπ. Το CONTAMW μεταφράζει ακολούθως το διάγραμμα ροών, μέσω του SketchPad, σε ένα σύστημα εξισώσεων που το μοντέλο χρησιμοποιεί στη διαδικασία της προσομοίωσης. Το λογισμικό πραγματοποιεί ταυτόχρονα ισοζύγιο μάζας αέρα για όλες τις ζώνες με στόχο την εκτίμηση των ροών του αέρα σε κάθε «μονοπάτι». Οι ροές του αέρα και οι πληροφορίες για τους ρύπους του περιβάλλοντα χώρου, χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων εντός των ζωνών.

Το λογισμικό κάνει τις ακόλουθες παραδοχές που απλοποιούν την προσομοίωση:

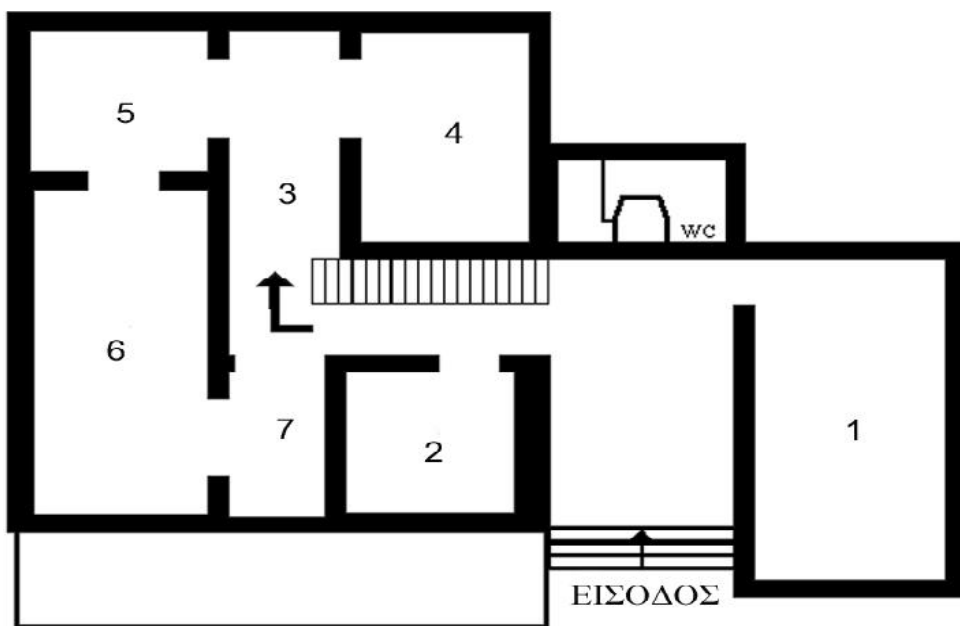
-)] Κάθε ζώνη αντιμετωπίζεται ως ένας μοναδικός κόμβος με ομοιόμορφες συνθήκες. Αυτές οι συνθήκες αφορούν θερμοκρασία, πίεση και συγκεντρώσεις ρύπων. Το CONTAMW δεν μπορεί να εκτιμήσει αλλαγές μέσα σε μια ζώνη.
-)] Το μοντέλο δεν πραγματοποιεί υπολογισμούς σχετικούς με φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας. Οι θερμοκρασίες σε όλες τις ζώνες είναι σταθερές σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που έχει εκτελέσει ο χρήστης. Οι διαφορετικές ζώνες μπορούν να ρυθμιστούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες, αλλά παραμένουν σταθερές στην προσομοίωση. Λαμβάνει ωστόσο υπόψη πιθανές ροές αέρα που προκαλούνται από διαφορές θερμοκρασίας και πίεσης μεταξύ των ζωνών (συμπεριλαμβανομένου και του περιβάλλοντος).

5.2.4. Προσομοίωση IMK

Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του ισόγειου τμήματος του IMK βάσει των μετρήσεων που είχαν υλοποιηθεί στη διάρκεια της δράσης ΜΟΥΣΕΙΑ Ι. Το συγκεκριμένο λογισμικό απαιτεί τη χρήση μεγάλου αριθμού δεδομένων προκειμένου να ληφθούν αποτελέσματα που θα προσεγγίζουν την

πραγματικότητα. Ωστόσο, τα δεδομένα αυτά δεν είναι πάντα διαθέσιμα. Σε αρκετές περιπτώσεις στη διάρκεια της προσομοίωσης έχουν χρησιμοποιηθεί προκαθορισμένες (default) τιμές για τις οποίες δεν έχει πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό την αβεβαιότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Αρχικά, εισήχθησαν τα γεωμετρικά στοιχεία των αιθουσών που υπάρχουν στο ισόγειο βάσει των ακόλουθων απλοποιημένων εμβαδομετρικών στοιχείων (Εικόνα & Πίνακας 4).



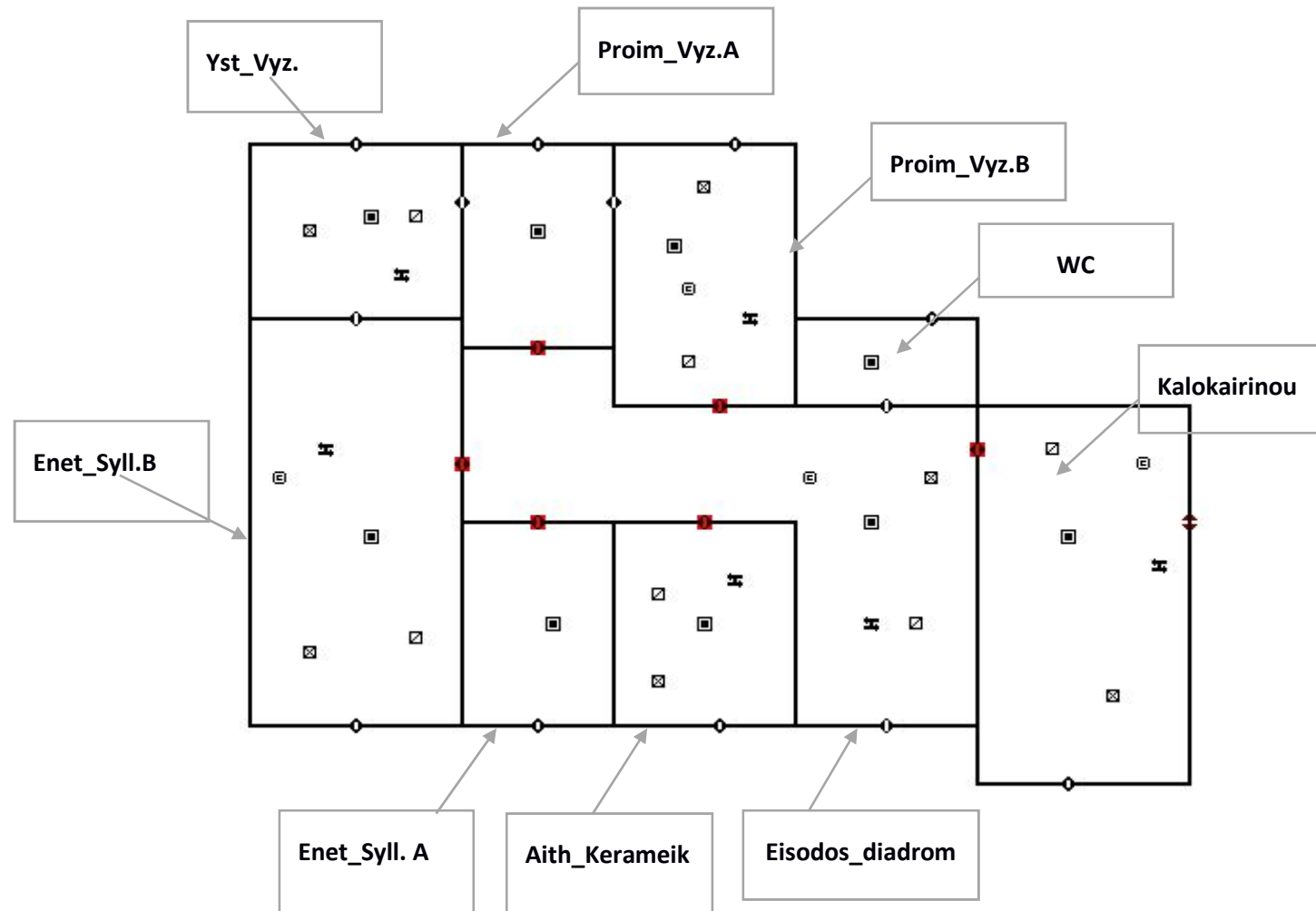
Εικόνα 5.11: Εικόνα 1 Αριθμημένη κάτοψη αιθουσών ισόγειου ΙΜΚ

Πίνακας 4: Εμβαδό αιθουσών ισόγειου (m²)

ΙΣΟΓΕΙΟ - ΝΕΟ ΚΤΗΡΙΟ [Είσοδος	5.95	12.17	72.41
	1. Αίθουσα Καλοκαιρινού	6.42	12.58	80.76
ΙΣΟΓΕΙΟ - ΝΕΟΚΛΑΣΙΚΟ	Βόρεια Αυλή	14.20	7.00	99.40
	Διάδρομος Αιθ. Κεραμεικών	8.20	2.60	21.32
	2. Αίθουσα των Κεραμεικών	3.87	3.95	15.29
	3. Πρώιμη Βυζαντινή Συλλογή: Κιονόκρανα, ψηφιδωτά και μικροτεχνία	2.47	9.40	23.22

	4. Πρώιμη Βυζαντινή Συλλογή: Αρχιτεκτονικά γλυπτά	4.43	6.80	30.12
	5. Ύστερη Βυζαντινή Συλλογή: Αρχιτεκτονικά γλυπτά	4.66	4.74	22.09
	6. Ενετική Συλλογή: Αρχιτεκτονικά γλυπτά και επιγραφές	4.61	8.85	40.80
	7. Ενετική Συλλογή: Οικόσημα	2.37	3.61	8.56
ΣΥΝΟΛΟ ΙΣΟΓΕΙΟΥ				504.8 m²

Κάθε αίθουσα έχει εκτιμηθεί ως μεμονωμένη ζώνη στο CONTAMW. Η ονομασία κάθε ζώνης, όπως αυτή θα εμφανίζεται στα γραφήματα που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις παρουσιάζεται στην εικόνα 5.12.

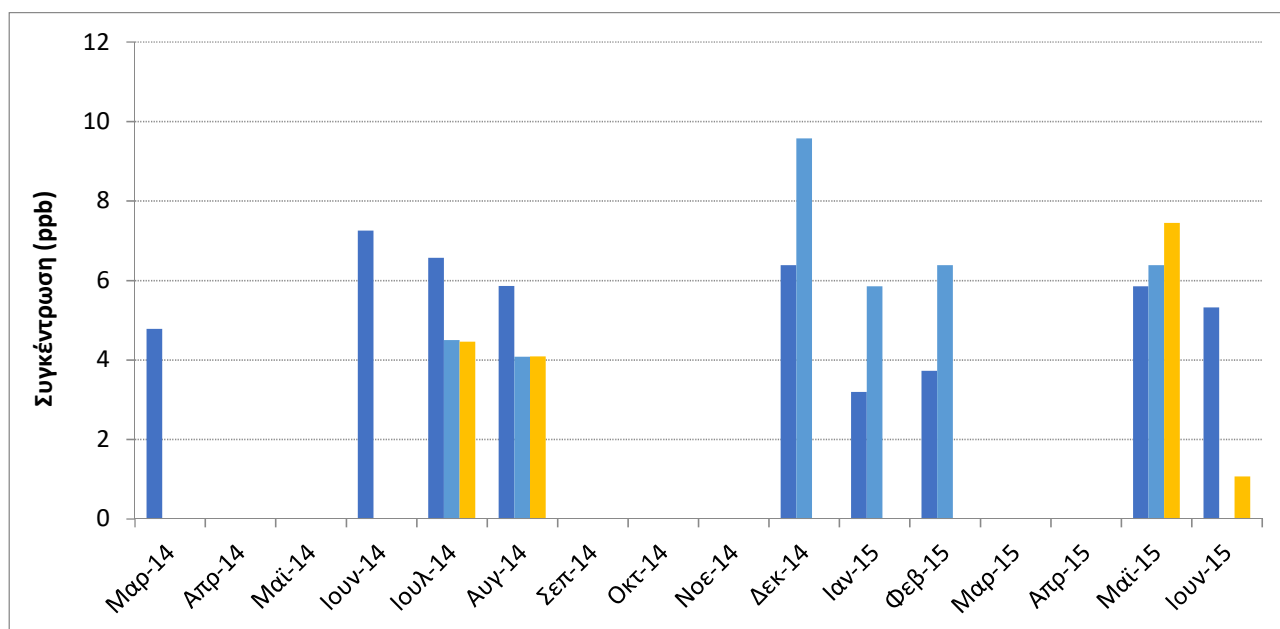


Εικόνα 5.12: Ονομασία αιθουσών στο CONTAMW

5.2.5. Αρχικές υποθέσεις

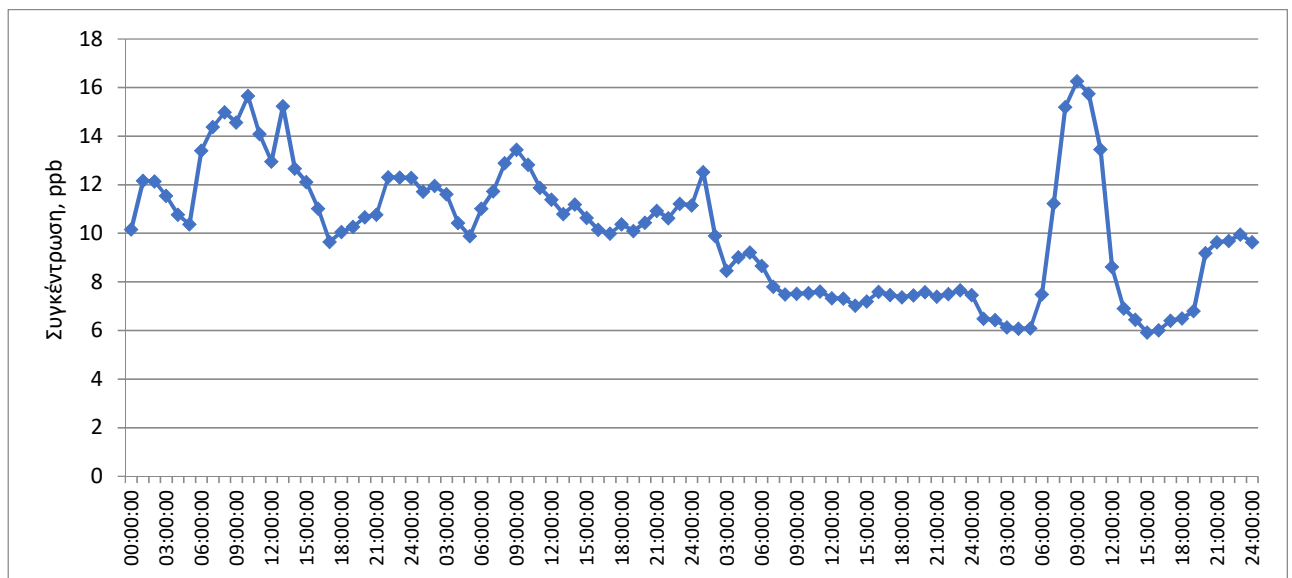
Κατά τη διάρκεια υλοποίησης του έργου ΜΟΥΣΕΙΑ Ι πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τιμών του NO₂ με χρήση παθητικών αισθητήρων στους χώρους του ΙΜΚ. Η βασική ιδέα στις παθητικές συσκευές είναι πως τοποθετούνται στο χώρο που ελέγχεται για επαρκές διάστημα (ανάλογα με τα επίπεδα ρύπανσης για τη μετρούμενη χημική ένωση) και στη συνέχεια αναλύονται σε εξειδικευμένα εργαστήρια. Η αρχή λειτουργίας στηρίζεται στη διάχυση της χημικής ένωσης στο εσωτερικό του αισθητήρα. Στη συνέχεια, μετράται η ποσότητα που διαχύθηκε και αυτή συσχετίζεται με τη συγκέντρωση στον αέρα λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του συντελεστή διάχυσης, το χρόνο έκθεσης και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Οι τιμές των ρύπων που λαμβάνονται με τη χρήση των παθητικών είναι συνήθως χαμηλότερες από αντίστοιχες που πραγματοποιούνται με όργανα μέτρησης αερίων ρύπων σε πραγματικό χρόνο τα οποία χρησιμοποιούν αντλία δειγματοληψίας, ωστόσο ενδείκνυται η χρήση τους για χώρους που απαιτείται να παραμένει χαμηλό το επίπεδο θορύβου, όπως τα Μουσεία.

Στις μετρήσεις NO₂ του 2014 (με παθητικούς αισθητήρες) είχαν παρατηρηθεί κοντινές τιμές στο εξωτερικό περιβάλλον και μέσα στις Αίθουσες του Μουσείου. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές για το εξωτερικό περιβάλλον που είχαν καταγραφεί ήταν 5.9 ± 1.4 ppb ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τις Αίθουσες Καλοκαιρινού (ισόγειο) και Εθνογραφικής Συλλογής (2^{ος} όροφος) ήταν 6.1 ± 1.9 ppb και 4.7 ± 0.4 ppb αντίστοιχα.



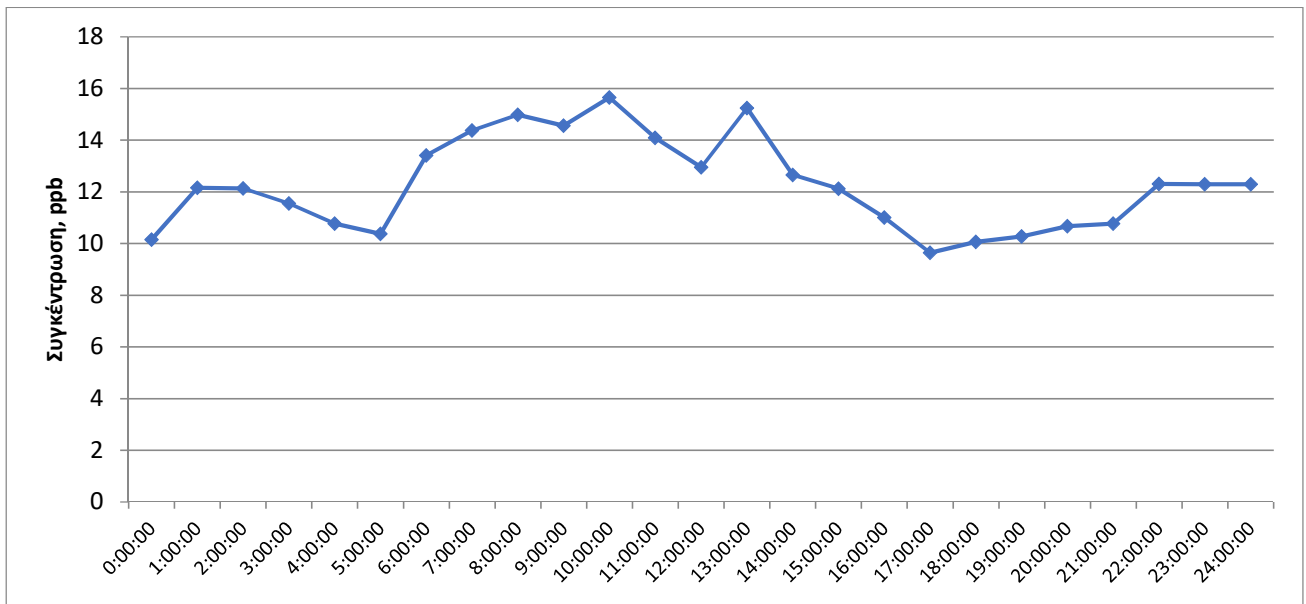
Διάγραμμα 5.1: Συγκεντρώσεις NO₂ σε διάφορα σημεία δειγματοληψίας ■ Περιβάλλον ■ Αίθουσα Καλοκαιρινού ■ Αίθουσα Εθνογραφικής Συλλογής (μετρήσεις 2014 με παθητικούς αισθητήρες)

Οι τιμές αυτές (2014) είχαν καταγραφεί σε μηνιαία βάση και ακολούθως αναχθεί ανά ημέρα χωρίς να υπάρχει δυνατότητα αξιολόγησης της διακύμανσης του NO₂ σε ημερήσια βάση. Ωστόσο, μέσα στο 2015 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τον αναλυτή NO/NO₂ serinus 44, που διαθέτει τη δυνατότητα συνεχούς καταγραφής των συγκεντρώσεων NO₂. Η καταγραφή των δεδομένων είχε πραγματοποιηθεί ανά λεπτό, για 3 ημέρες, σε εσωτερικό χώρο του ΙΜΚ. Οι μετρήσεις με τον αναλυτή serinus δίνουν τη δυνατότητα να έχουμε μια καλή εικόνα της ημερήσιας διακύμανσης των τιμών του NO₂ μέσα στο ΙΜΚ. Η καταγραφή των δεδομένων είχε πραγματοποιηθεί ανά λεπτό, ενώ για τις απαιτήσεις του λογισμικού έγινε αναγωγή ανά ώρα. Οι ωριαίες τιμές των μετρήσεων παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



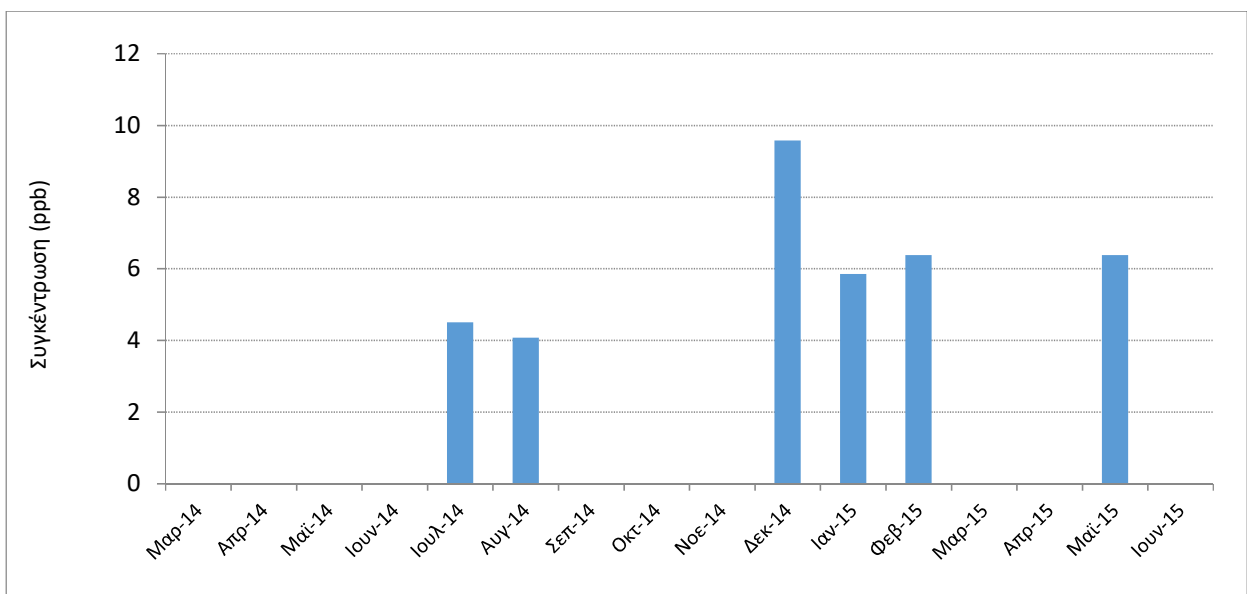
Διάγραμμα 5.2: Μετρήσεις στο εσωτερικό του ΙΜΚ τον Οκτώβριο του 2015

Από τις προηγούμενες μετρήσεις φαίνεται, η ημερήσια διακύμανση των τιμών των ρύπων στους εσωτερικούς χώρους του ΙΜΚ να ακολουθεί τις ώρες κυκλοφοριακής αιχμής, καθώς ο παραλιακός δρόμος εξυπηρετεί μεγάλο μέρος των δημοτών του Ηρακλείου και των τουριστών. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν οι μετρήσεις της πρώτης ημέρας όπου παρουσιάζονται αυξημένες τιμές (15-16 ppb) από τις 08:00 έως τις 10:00, μείωση για το επόμενο τρίωρο (12-14 ppb) και αύξηση πάλι των τιμών το μεσημέρι στις 14:00 για μία ώρα περίπου (κοντά στα 16 ppb).



Διάγραμμα 5.3: Ημερήσια διακύμανση τιμών NO₂ στο εσωτερικό του IMK (9/10/2015)

Για τις απαιτήσεις επομένως της αρχικής προσομοίωσης ελήφθησαν οι καταγεγραμμένες τιμές από τον αναλυτή serinus 44, ως τιμές NO₂ περιβάλλοντος και έτρεξαν διαφορετικά σενάρια (διαφορετικά ποσοστά τιμών) ώστε τα αποτελέσματα του μοντέλου να προσεγγίζουν τις καταγεγραμμένες τιμές NO₂ στην Αίθουσα Καλοκαιρινού οι οποίες είχαν καταγραφεί με τις παθητικές συσκευές και κυμαίνονταν από 4 ppb έως και 9,5 ppb με μια μέση τιμή κοντά στα 6 ppb.



Διάγραμμα 5.4: Μετρήσεις NO₂ στην Αίθουσα Καλοκαιρινού (2014)

Στις αρχικές προσομοιώσεις δεν έχει ληφθεί υπόψη πρόσθετο φορτίο ρύπων που να οφείλεται σε πηγές εντός του εσωτερικού του κτηρίου, ούτε λειτουργία συστήματος μηχανικού αερισμού. Παράλληλα, καθώς το μουσείο δέχεται επισκέπτες από Δευτέρα έως Σάββατο μεταξύ 09:00 και 17:00, αρχικά, η πόρτα εισόδου έχει θεωρηθεί μόνιμα ανοικτή κατά τις ώρες 09:00 – 17:00 και ερμητικά κλειστή τα διαστήματα 00:00 – 09:00 & 18:00-24:00

Παρόλο που στο CONTAMW απαιτείται να υπάρχει ένα άνοιγμα ανά ζώνη ώστε κάθε ζώνη να βρίσκεται σε επαφή με το περιβάλλον τα ανοίγματα έχουν κατασκευαστεί με τρόπο ώστε να μην υπάρχει ουσιαστική ανταλλαγή αέρα με το περιβάλλον καθώς στην πραγματικότητα τα όποια κουφώματα (παράθυρα) βρίσκονται στο ισόγειο του Μουσείου είναι διαρκώς κλειστά (εσωτερικά έχουν κλειστεί με γυψοσανίδες, στις περισσότερες περιπτώσεις).

Όσον αφορά τα μετεωρολογικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα ανά δεκάλεπτο στοιχεία του 2014 αφού πρώτα ανάχθηκαν σε μέσες ωριαίες τιμές. Σε όσα διαστήματα διαπιστώθηκε έλλειψη στοιχείων (πχ 22:00-12:20/ 10.10.2014) χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της προηγούμενης ημέρας.

5.2.6. Προσομοίωση NO₂

Προσομοίωση για 4 ημέρες χωρίς αερισμό και φορτία

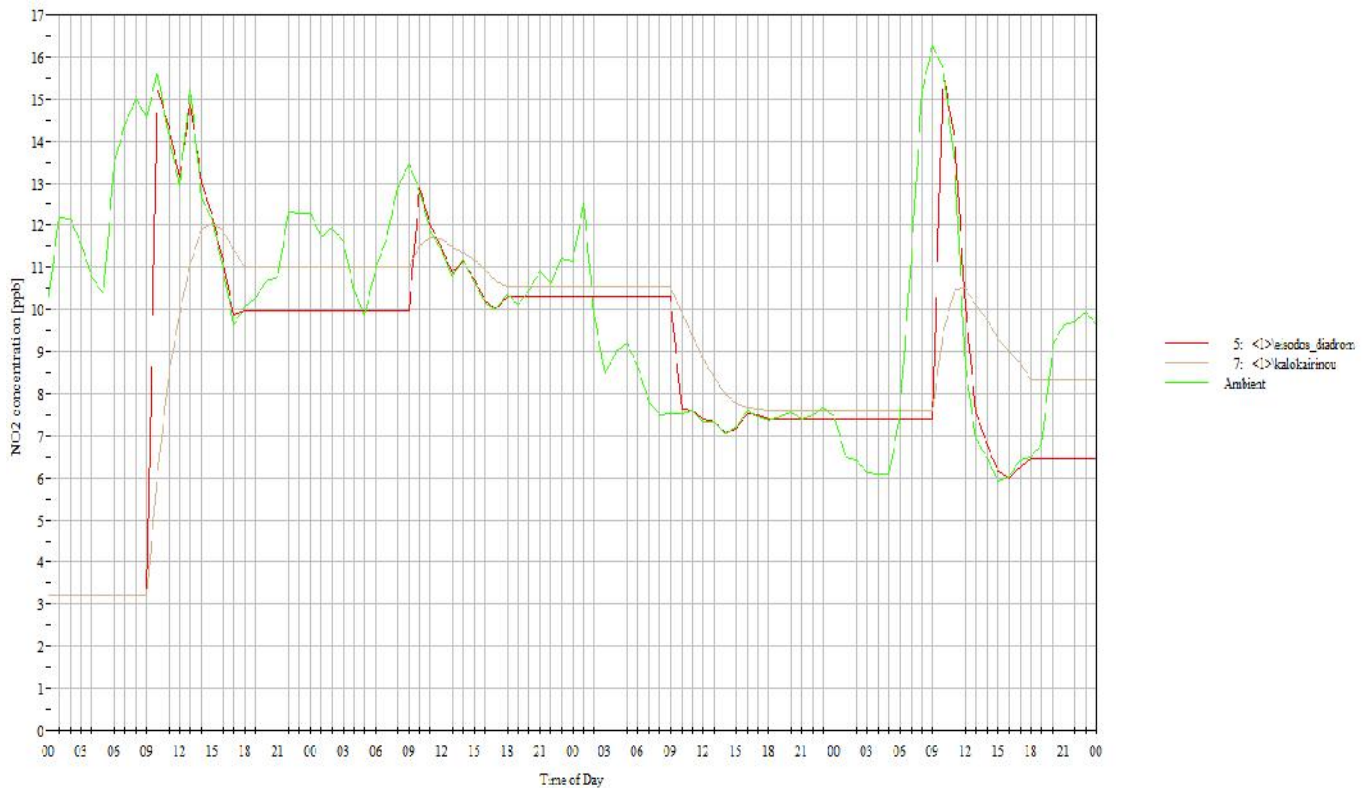
Με βάση τα προαναφερθέντα (Παράγραφος 0), αρχικά πραγματοποιήθηκαν 3 διαφορετικές προσομοιώσεις οι οποίες αφορούσαν τις τιμές συγκέντρωσης του NO₂, που τέθηκαν ως ωριαίες τιμές περιβάλλοντος:

-)] 100% των ωριαίων τιμών των συγκεντρώσεων NO₂, που είχαν καταγραφεί με τον serinus 44 το 2015 (Σενάριο Α)
-)] 75% των ωριαίων τιμών των συγκεντρώσεων NO₂, που είχαν καταγραφεί το 2015 (Σενάριο Β)
-)] 50% των ωριαίων τιμών των συγκεντρώσεων NO₂, που είχαν καταγραφεί το 2015 (Σενάριο Γ)

Στη διάρκεια των προσομοιώσεων τέθηκε αρχική συγκέντρωση NO₂, τιμή κοντά στα 3 ppb που είναι από τις χαμηλότερες καταγεγραμμένες τιμές συγκέντρωσης NO₂, εντός του ΙΜΚ που μετρήθηκαν στη διάρκεια των δειγματοληψιών του 2014.

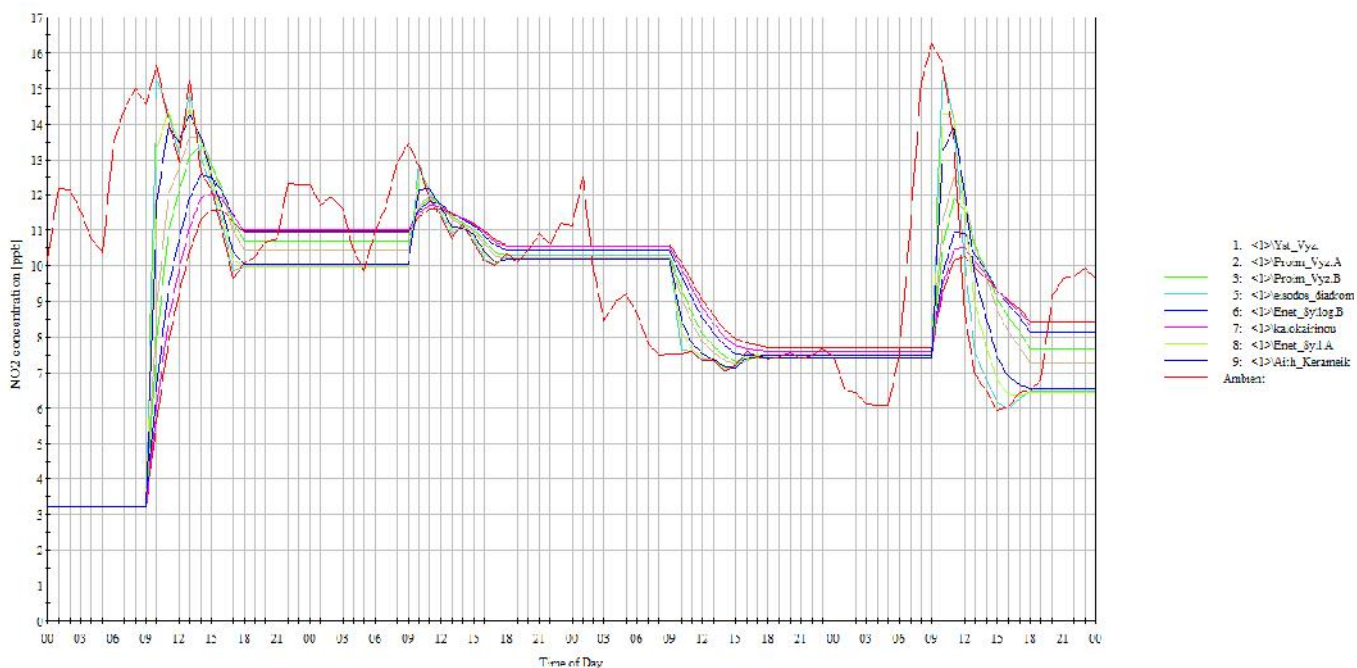
Για την υλοποίηση των προσομοιώσεων στο CONTAMW οι συγκεντρώσεις ρύπων απαιτείται να είναι σε μορφή kg ρύπου ανά kg αέρα. Το σχετικό τυπικό αρχείο που εισάγεται για την προσομοίωση παρουσιάζεται στο **Error! Reference source not found. (Error! Reference source not found.)**

Στο ακόλουθο γράφημα παρουσιάζονται οι τιμές του NO₂ του περιβάλλοντος καθώς και τα αποτελέσματα στις Ζώνες «Αίθουσα Καλοκαιρινού» και «Διάδρομος – Είσοδος» στις 4 ημέρες της προσομοίωσης.



Διάγραμμα 5.5: Αποτελέσματα προσομοίωσης NO₂ για 4 ημέρες του Οκτώβριου σε δύο ζώνες και το περιβάλλον

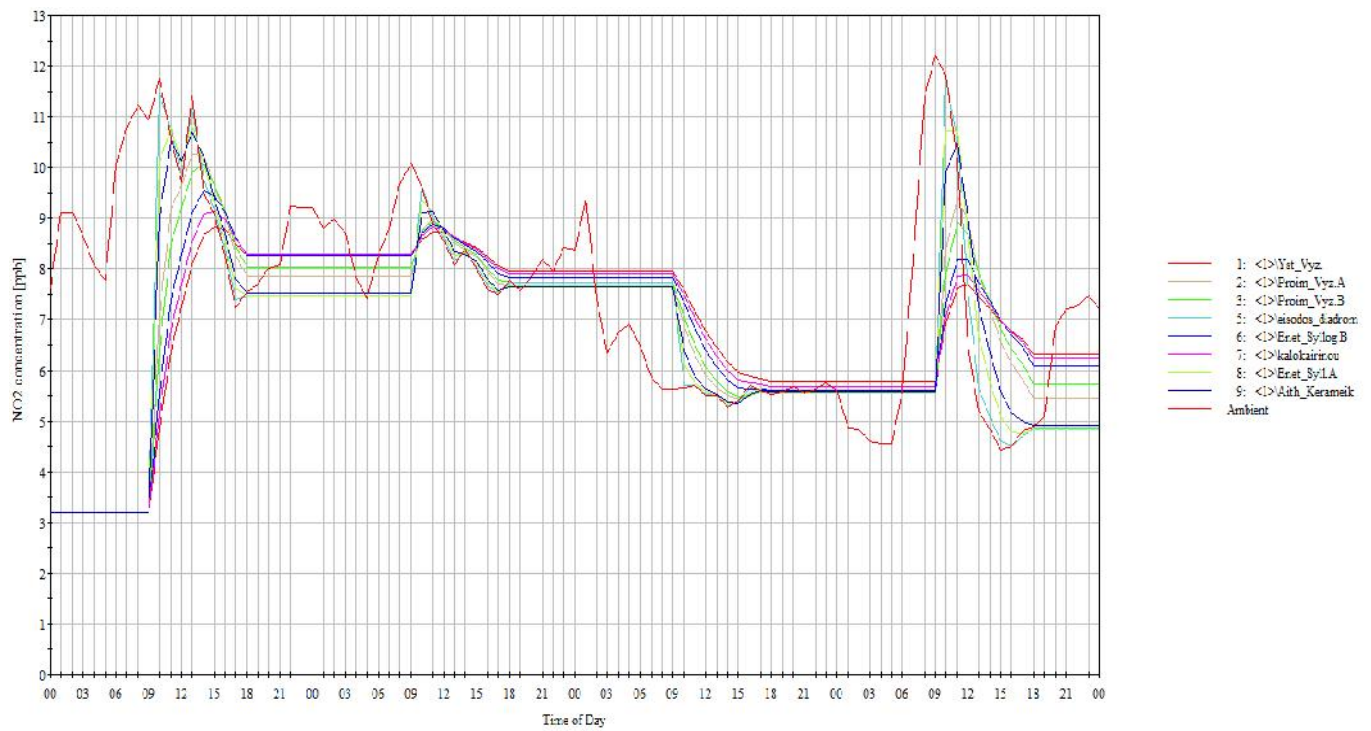
Οι τιμές συγκέντρωσης του NO₂ ξεκινούν στις Αίθουσες από τα 3.2 ppb, που έχει τεθεί ως αρχική τιμή και ακολουθούν, σε γενικές γραμμές, τη διακύμανση των ημερήσιων εκπομπών του NO₂ του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η μέγιστη τιμή NO₂ στην Αίθουσα Καλοκαιρινού εμφανίζεται πάνω από τα 15 ppb την πρώτη ημέρα της προσομοίωσης περίπου στις 10:00. Συνολικά, για όλες τις Αίθουσες του IMK παρουσιάζονται στο ακόλουθο γράφημα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Διάγραμμα 5.6: Αποτελέσματα προσομοίωσης NO₂ για 4 ημέρες του Οκτώβριου σε όλες τις ζώνες και το περιβάλλον

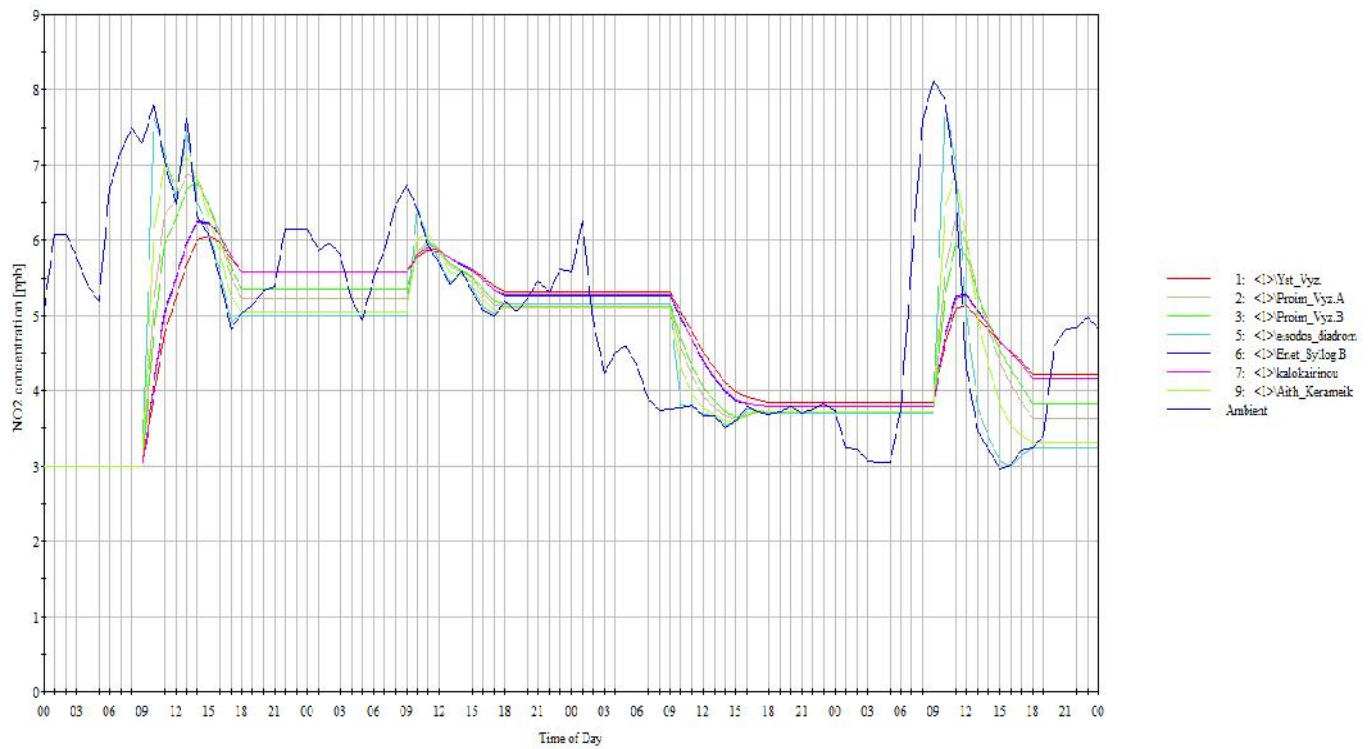
Η διακύμανση των τιμών ακολουθεί τη διακύμανση των τιμών που έχουν τεθεί ως ωριαίες τιμές συγκέντρωσης NO₂ περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν 2 προσομοιώσεις βάσει των Σεναρίων Β & Γ. Αρχικά, οι διαθέσιμες ωριαίες τιμές μειώθηκαν κατά 25%. Ωστόσο, και στην περίπτωση αυτήν οι τιμές του NO₂ εμφανίζονται υψηλές με τη μέγιστη τιμή NO₂ να παραμένει κοντά στα 12 ppb και τη μέση κοντά στα 9 ppb.

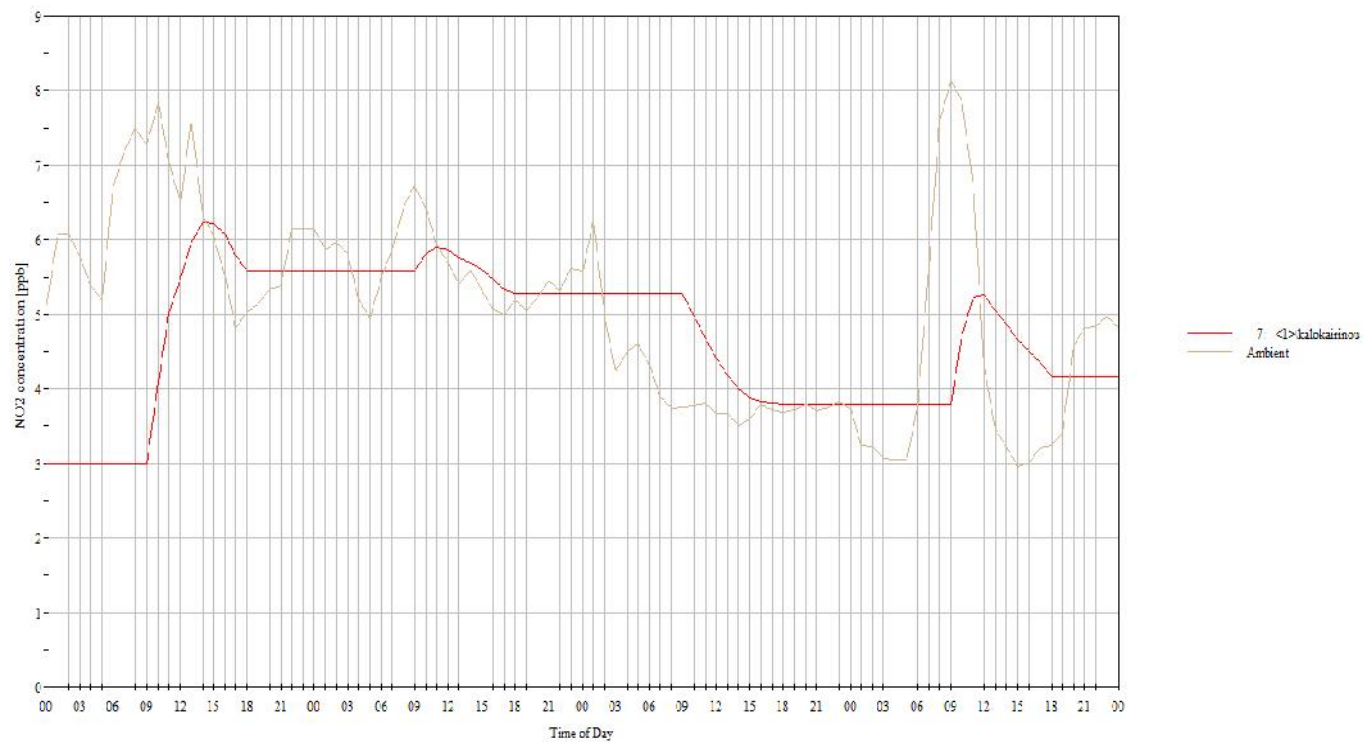


Διάγραμμα 5.7: Προσομοίωση NO₂ για 4 ημέρες του Οκτώβριου σε όλες τις ζώνες και το περιβάλλον (Σενάριο Β)

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συνολικά για τις ζώνες σύμφωνα με το Σενάριο Γ (τιμές NO₂ περιβάλλοντος έχουν τεθεί ίσες με 50% των τιμών που είχε καταγράψει ο αναλυτής serinus 44)



Διάγραμμα 5.8: Προσομοίωση NO₂ για 4 ημέρες του Οκτώβριου σε δύο ζώνες και το περιβάλλον (Σενάριο Γ)



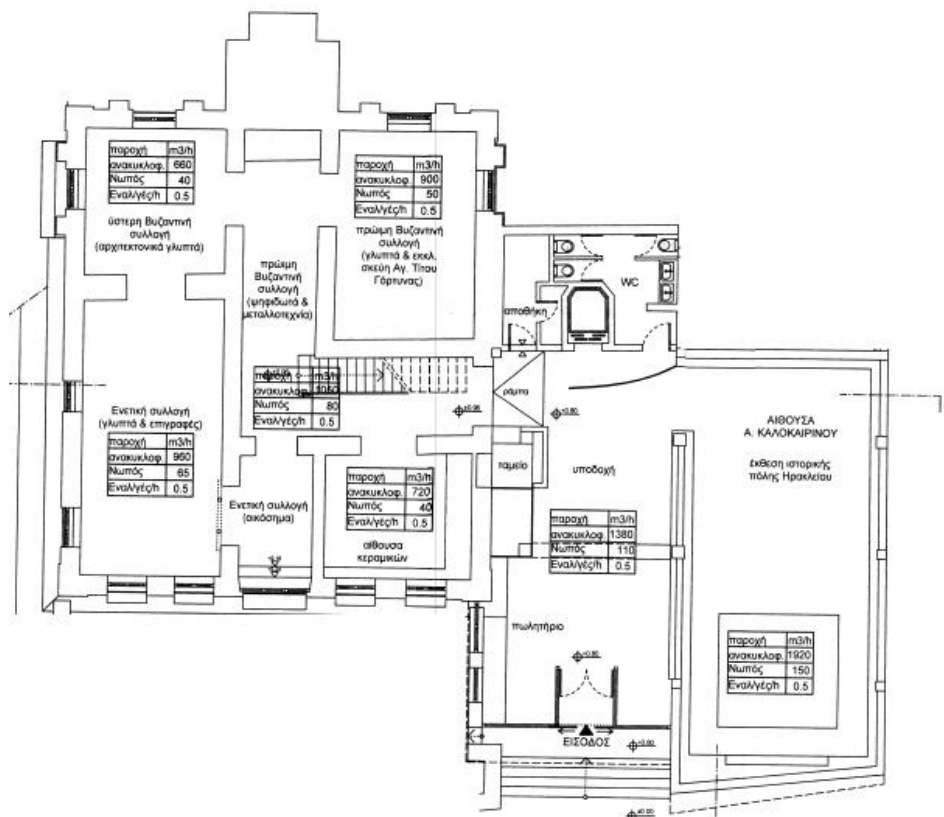
Διάγραμμα 5.9: Προσομοίωση NO₂ για 4 ημέρες του Οκτώβριου στην Αίθουσα Καλοκαιρινού και το περιβάλλον (Σενάριο Γ)

Οι τιμές αυτές δείχνουν να πλησιάζουν τις μετρήσεις, που είχαν ληφθεί με τη χρήση των παθητικών αισθητήρων (**Error! Reference source not found.**) στην Αίθουσα Καλοκαιρινού, συνεπώς για τις προσομοιώσεις στις ακόλουθες ενότητες έχουν ληφθεί ως ωριαίες τιμές NO₂ περιβάλλοντος οι τιμές του Σεναρίου Γ.

Η μέγιστη τιμή παρατηρείται την πρώτη ημέρα της προσομοίωσης στις 13:00 λίγο πάνω από τα 6ppb. Όταν η πόρτα εισόδου είναι κλειστή παρατηρείται σταθεροποίηση της τιμής του NO₂, λίγο πάνω από τα 4ppb) από τις 17:00 έως τις 09:00.

Προσομοίωση για 4 ημέρες με μηχανικό αερισμό

Ο αερισμός ενός χώρου θεωρείται από τις βασικότερες προϋποθέσεις για τη διαμόρφωση ενός υγιεινού και άνετου περιβάλλοντος, αφού επιδρά στις συνθήκες άνεσης και συμβάλει στην επίτευξη κατάλληλων συνθηκών υγιεινής για τους χρήστες των χώρων. Στην περίπτωση του ΙΜΚ ο φυσικός αερισμός είναι ιδιαίτερα περιορισμένος καθώς το σύνολο των ανοιγμάτων του ισογείου έχουν κλειστεί με αποτέλεσμα ο φυσικός αερισμός να πραγματοποιείται μόνο από την πόρτα εισόδου.

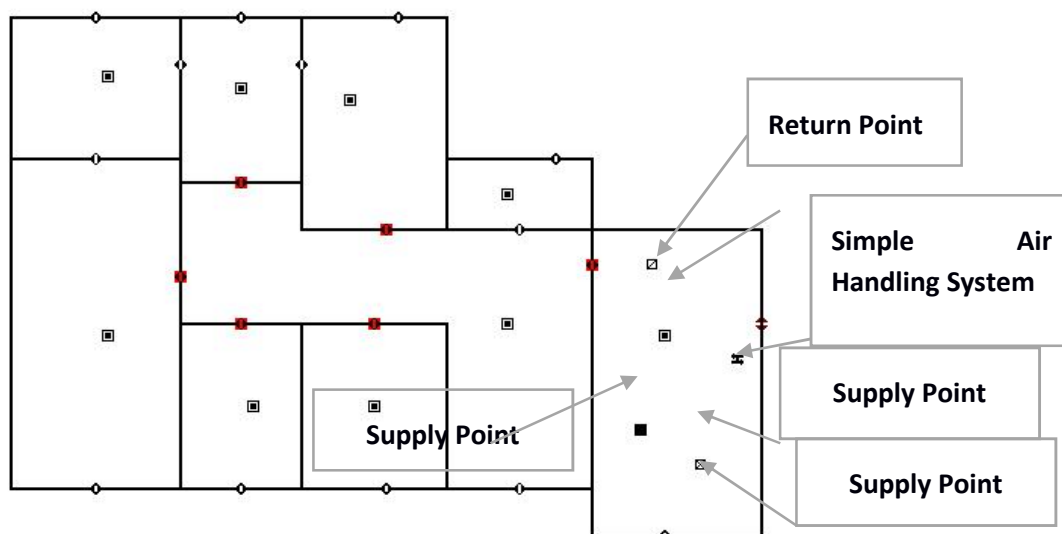


Εικόνα 5.2 Ανακυκλοφορία αέρα και μηχανικός αερισμός στις Αίθουσες του ΙΜΚ

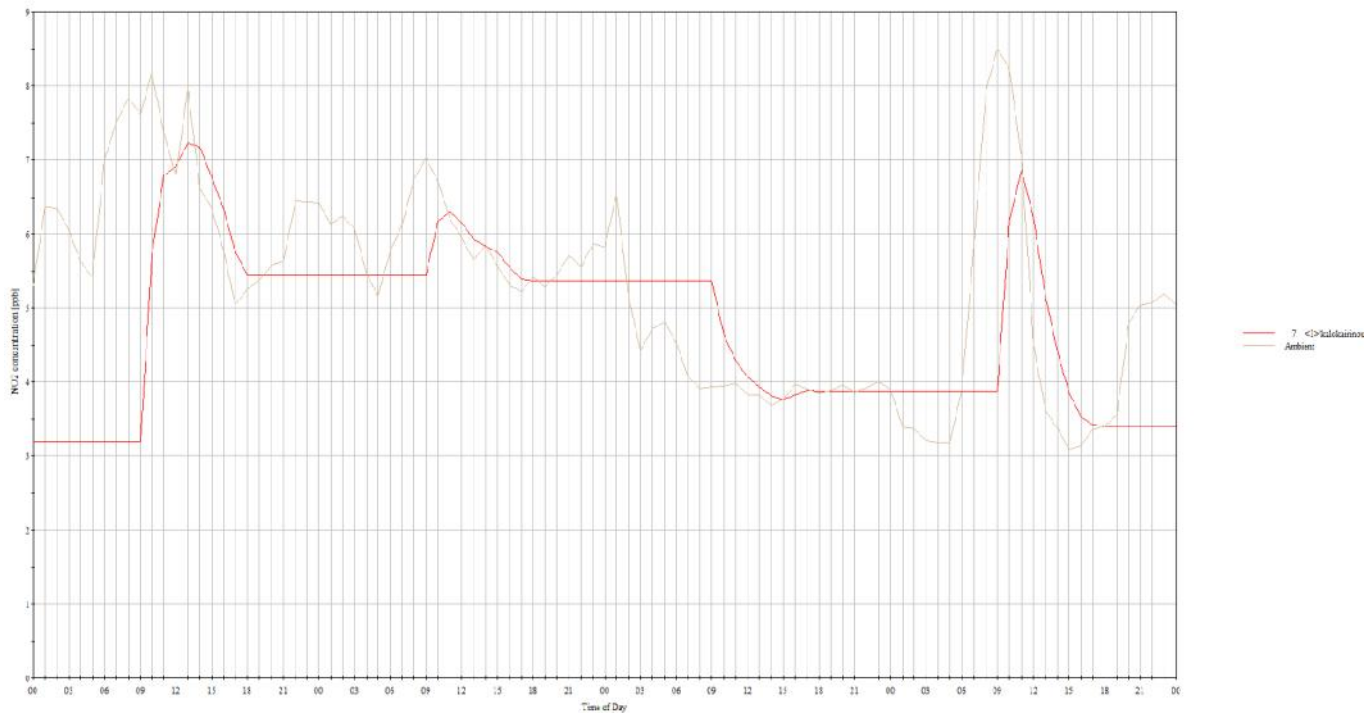
Το Μουσείο ωστόσο, διαθέτει σύστημα μηχανικού αερισμού ανεξάρτητο σχεδόν σε κάθε Αίθουσα όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 5.2. Σύμφωνα με πρόσφατους διεθνείς κανονισμούς η ελάχιστη ποσότητα νωπού αέρα δεν μπορεί να είναι μικρότερη από $27\text{m}^3/\text{h}$ ανά άτομο.

Για τους λόγους της προσομοίωσης θεωρήθηκε ανεξάρτητο σύστημα (παροχή $500\text{m}^3/\text{h}$ και νωπός $35\text{m}^3/\text{h}$) και στις 2 Αίθουσες Πρώιμης Βυζαντινής Συλλογής και Ενετικής Συλλογής (Οικόσημα) ώστε η ζωνοποίηση να είναι σε συμφωνία με τις αρχικές υποθέσεις (5.12).

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της Αίθουσας Καλοκαιρινού θέτοντας το σύστημα αερισμού, σε λειτουργία και στη μέγιστη ισχύ του, μόνο στη συγκεκριμένη Αίθουσα και έχοντάς το να λειτουργεί διαρκώς με την έναρξη λειτουργίας του ΙΜΚ στις 09:00 έως και τις 17:00 το απόγευμα.



Εικόνα 5.15: Μορφή Sketch Pad του CONTAMW έχοντας τοποθετήσει σύστημα μηχανικού αερισμού στην Αίθουσα Καλοκαιρινού



Διάγραμμα 5.10: Προσομοίωση NO_2 θέτοντας σε πλήρη λειτουργία τα σύστημα μηχανικού αερισμού και στην Αίθουσα Καλοκαιρινού.

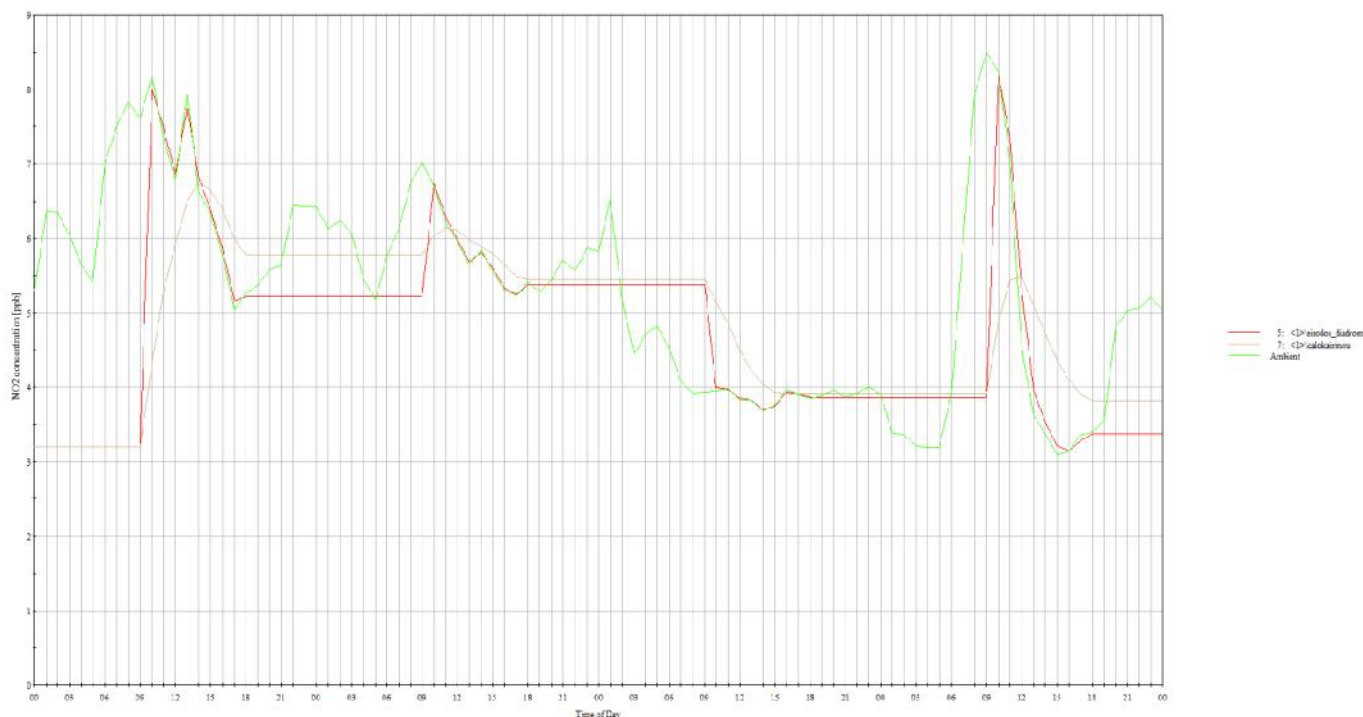
Οι τιμές στην Αίθουσα Καλοκαιρινού αυξάνονται, με το μέγιστο να παρουσιάζεται στις 13:00 αυξημένο περίπου κατά 1 ppb φτάνοντας τα 7.2 ppb. Η αύξηση αυτή μπορεί να δικαιολογηθεί από τις αυξημένες τιμές NO_2 του περιβάλλοντος καθώς δεν έχει θεωρηθεί κάποιο σύστημα/μηχανισμός κατακράτησης του ρύπου από το σύστημα αερισμού. Συνεπώς, ο νωπός αέρας που έρχεται από το περιβάλλον αυξάνει οριακά τις τιμές του NO_2 στο εσωτερικό.

Σχετικά χαμηλή είναι η επίδραση της λειτουργίας του μηχανικού αερισμού της Αίθουσας αυτής, στις άλλες Ζώνες, π.χ. στην Αίθουσα Κεραμεικών η συγκέντρωση του NO_2 αυξάνει από τα 7.6 ppb περίπου στα 7.7 ppb με τη μέγιστη τιμή να διαπιστώνεται επίσης περίπου στις 13:00 .



Διάγραμμα 5.11: Προσομοίωση NO₂ σε 2 ζώνες και το Περιβάλλον θέτοντας σε πλήρη λειτουργία τα σύστημα μηχανικού αερισμού στην Αίθουσα Καλοκαιρινού

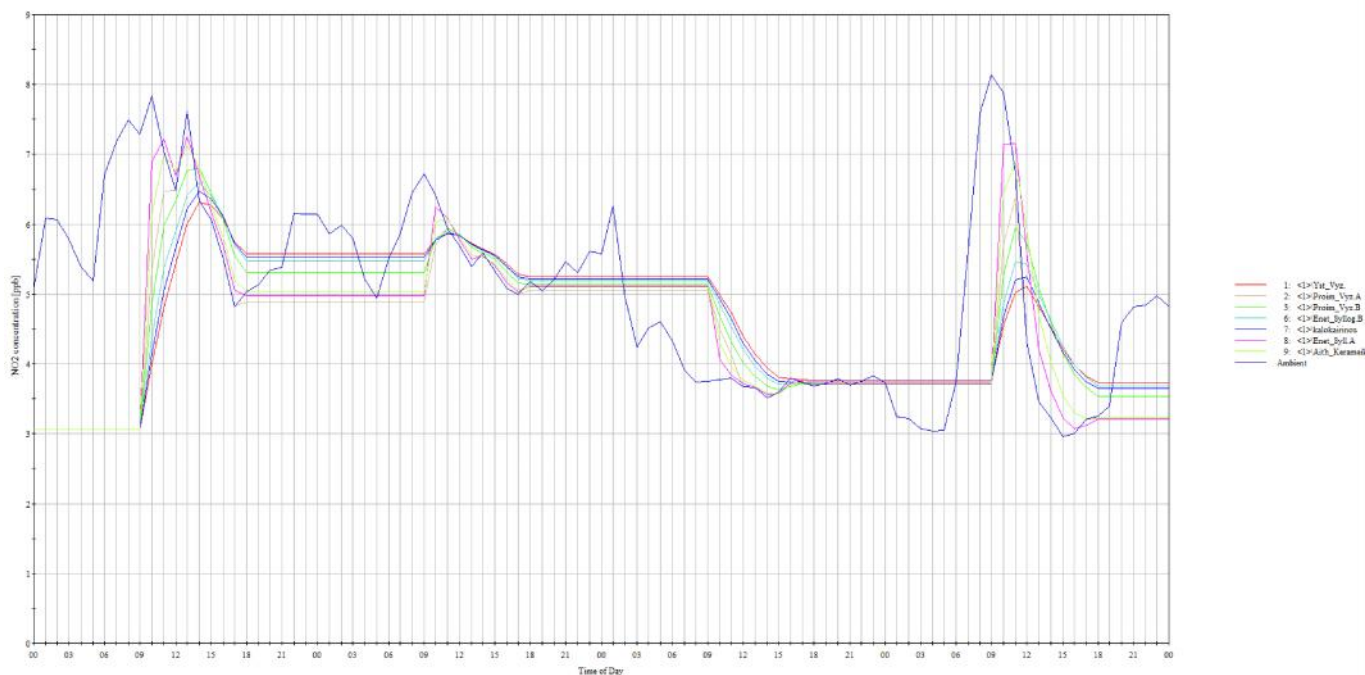
Ακολούθησε προσομοίωση της Αίθουσας Καλοκαιρινού θέτοντας το σύστημα αερισμού, λιγότερες ώρες σε λειτουργία από τις 11:00 το πρωί έως και τις 16:00 το απόγευμα μειώνοντας παράλληλα την ισχύ του συστήματος στο 30%.



Διάγραμμα 5.12: Προσομοίωση NO_2 θέτοντας σε 30% λειτουργία τα σύστημα μηχανικού αερισμού στην Αίθουσα Καλοκαιρινού & ελαττώνοντας τις ώρες λειτουργίας του.

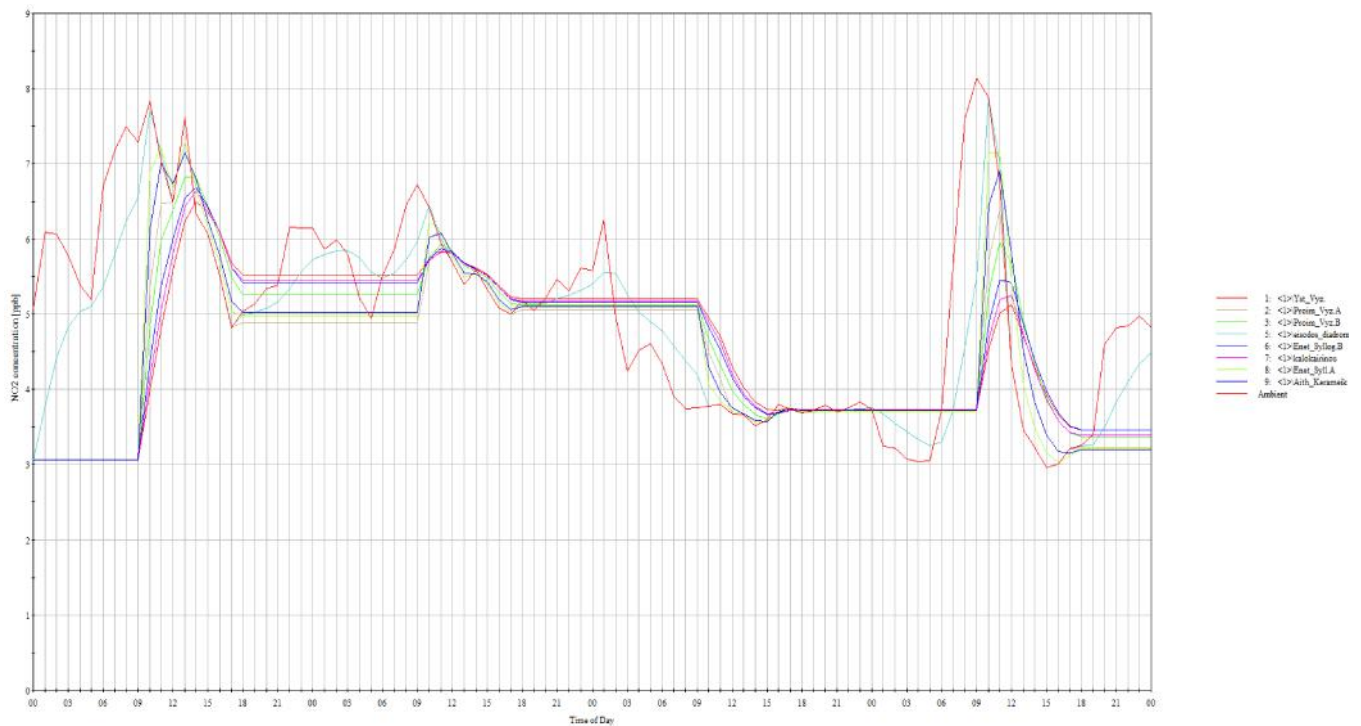
Το μέγιστο εξακολουθεί να παρατηρείται την πρώτη ημέρα ωστόσο έχει μετακινηθεί κατά περίπου 1 ώρα (14:00) και η τιμή του έχει μειωθεί λίγο κάτω από τα 7 ppb.

Η επόμενη προσομοίωση πραγματοποιήθηκε, έχοντας όλες τις μονάδες μηχανικού αερισμού του IMK σε λειτουργία 30% κατά τις ώρες 11:00 το πρωί έως και τις 16:00 το απόγευμα δύο ώρες δηλαδή μετά την ώρα λειτουργίας του IMK και μία ώρα πριν κλείσει.



Διάγραμμα 5.13: Προσομοίωση NO₂ θέτοντας σε λειτουργία 30% το σύστημα αερισμού σε όλες τις αίθουσες του ΙΜΚ

Οι τιμές του NO₂ διατηρούνται στις περισσότερες περιπτώσεις κάτω από τα 7 ppb και η μέγιστη τιμή παρατηρείται στην Αίθουσα Συλλογής Ενετικής Συλλογής (Οικόσημα) και Πρώιμης Βυζαντινής Συλλογής καθώς πρόκειται για μικρές Αίθουσες στις οποίες έχουν θεωρηθεί αυτόνομα συστήματα μηχανικού αερισμού, με αποτέλεσμα η τιμή του NO₂ να βρίσκεται εγγύτερα στις τιμές του περιβάλλοντος.



Διάγραμμα 5.14: Προσομοίωση NO₂ θέτοντας σε λειτουργία 60% το σύστημα αερισμού σε όλες τις αίθουσες του IMK και περιορίζοντας την πόρτα Εισόδου

Τέλος, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του συνόλου των Αιθουσών θεωρώντας κλειστή κατά 70% την πόρτα Εισόδου, τις ώρες λειτουργίας του συστήματος αερισμού δηλαδή από τις 11.00 έως τις 16.00, και πλήρως ανοιχτή από τις 09.00 - 11:00 και από τις 16:00-17:00 οπότε και κλείνει το IMK. Παράλληλα, το σύστημα αερισμού θεωρήθηκε πως λειτουργεί στο 60% της ισχύος του σε όλες τις Αίθουσες. Στην περίπτωση αυτή η συγκέντρωση του NO₂ εξακολουθεί να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή της στη Ζώνη η οποία έχει χαρακτηριστεί σαν «Είσοδος- Διάδρομος» και είναι σε άμεση επαφή με την πόρτα εισόδου. Η μέγιστη τιμή (7.7 ppb) στη Ζώνη αυτή παρατηρείται στις 10:00, μία ώρα μετά την έναρξη λειτουργίας του IMK, ώρα ωστόσο που παρατηρείται και το μέγιστο της τιμής του NO₂ στο περιβάλλον. Σχεδόν σε όλες τις υπόλοιπες Ζώνες η τιμή του NO₂ είναι κάτω από τα 7 ppb και βέβαια ακολουθεί τη διακύμανση των τιμών του εξωτερικού περιβάλλοντος.

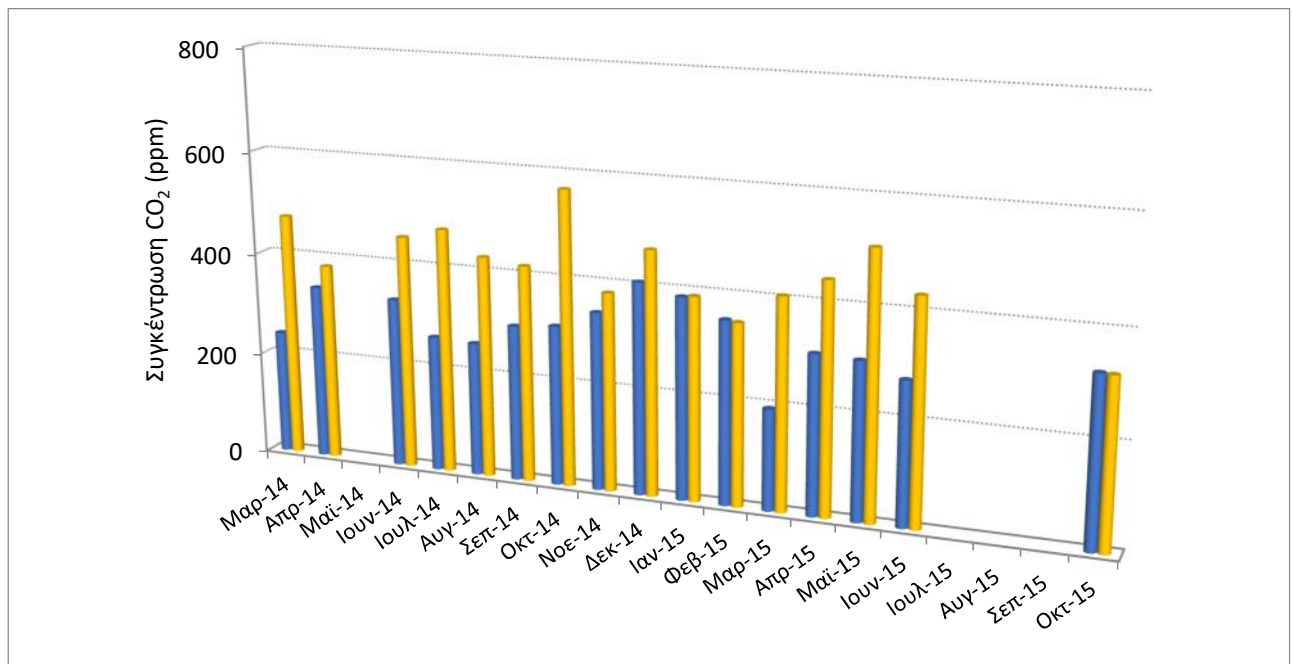
Συνοψίζοντας οι τιμές του NO₂ στις Αίθουσες του IMK ακολουθούν τη διακύμανση των τιμών του περιβάλλοντος με τη Ζώνη «Είσοδος- Διάδρομος» να είναι η πιο ευάλωτη στις διακυμάνσεις αυτές καθώς βρίσκεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον, έτσι η τιμή στη Ζώνη αυτή αυξάνει στα 7.8 ppb (έχοντας ως τιμή εκκίνησης τα 3.2 ppb) περίπου 1 ώρα μετά την έναρξη λειτουργίας του Μουσείου. Τα διαστήματα στα οποία παρουσιάζονται περισσότερο αυξημένες οι τιμές του NO₂ μέσα στην Αίθουσα Καλοκαιρινού είναι από τις 11:00 έως τις 13:00 (κοντά στα 6 ppb τις δύο πρώτες ημέρες και λίγο πάνω από τα 5 ppb την τρίτη) όταν δεν λειτουργεί μηχανικός αερισμός.

Η λειτουργία μηχανικού αερισμού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του NO₂ σε όλες τις αίθουσες, ενώ όσο μεγαλύτερες ποσότητες νωπού αέρα εισέρχονται στο IMK τόσο αυξάνουν οι τιμές του NO₂.

Προτείνεται επομένως στο Μουσείο τις ώρες κυκλοφοριακής αιχμής η πόρτα εισόδου να παραμένει κατά το δυνατόν κλειστή, ενώ το σύστημα μηχανικού αερισμού, εφόσον απαιτείται, να τίθεται σε λειτουργία μετά τις 11:00 οπότε και παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης του NO₂ του περιβάλλοντος (πιθανόν λόγω της μείωσης του κυκλοφοριακού φόρτου).

5.2.7. Προσομοίωση CO₂

Κατά τη διάρκεια των τακτικών δειγματοληψιών που διεξήχθησαν το 2014 ελήφθησαν στιγμιαίες μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ σε διάφορα σημεία δειγματοληψίας (εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον). Το σημείο δειγματοληψίας που είχε επιλεγεί για τις μετρήσεις στο ισόγειο του IMK ήταν επίσης στην Αίθουσα Καλοκαιρινού. Το CO₂ δεν είναι επικίνδυνο για τα ευπαθή στους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους εκθέματα των μουσείων, σε υψηλές όμως συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει δυσφορία στους επισκέπτες και στο προσωπικό και γι' αυτό λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο επόμενο γράφημα.

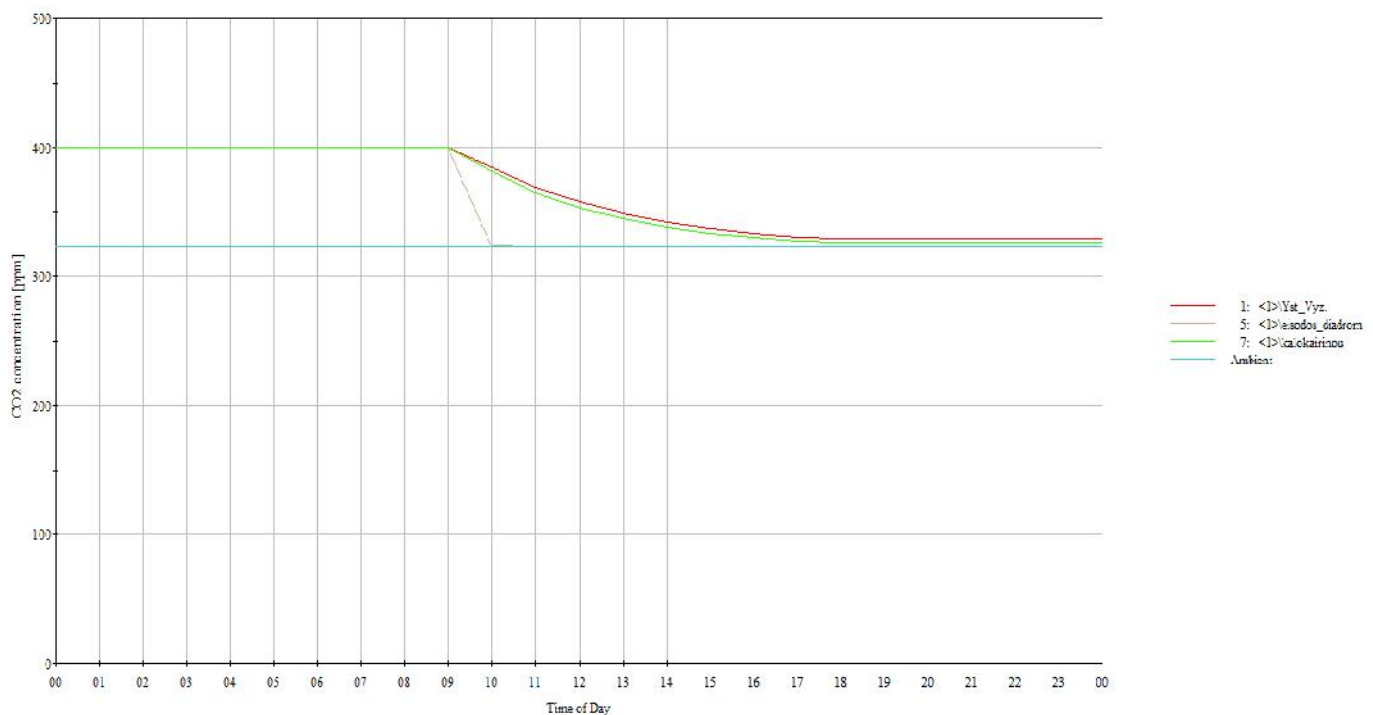


Διάγραμμα 5.15: Συγκεντρώσεις CO₂ στο εξωτερικό περιβάλλον (■) και στην Αίθουσα Καλοκαιρινού(■)

Οι συγκεντρώσεις στο εξωτερικό περιβάλλον ήταν χαμηλότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στο εσωτερικό περιβάλλον για όλα τα σημεία δειγματοληψίας γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη διαρκή παρουσία ανθρώπων και στον μη επαρκή αερισμό του κτηρίου.

Προσομοίωση για 1 ημέρα χωρίς αερισμό και φορτία

Οι τιμές του CO₂ στο εξωτερικό περιβάλλον διαπιστώθηκε ότι κυμαίνονται από 240 ppm–400 ppm, επομένως για τις ακόλουθες προσομοιώσεις επιλέχθηκε μέση τιμή 320 ppm ως τιμή CO₂ περιβάλλοντος. Αρχικά, η πόρτα εισόδου έχει θεωρηθεί μόνιμα ανοικτή κατά τις ώρες 09:00 – 17:00 και ερμητικά κλειστή τα διαστήματα 00:00 – 09:00 & 18:00-24:00. Ως αρχική τιμή προσομοίωσης για όλες τις Αίθουσες του ΙΜΚ έχει τεθεί η τιμή των 400 ppm. Η πρώτη προσομοίωση πραγματοποιήθηκε θεωρώντας πως δεν υπάρχουν στο ΙΜΚ πηγές παραγωγής CO₂ και πως το σύστημα αερισμού είναι εκτός λειτουργίας. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε 3 Ζώνες.

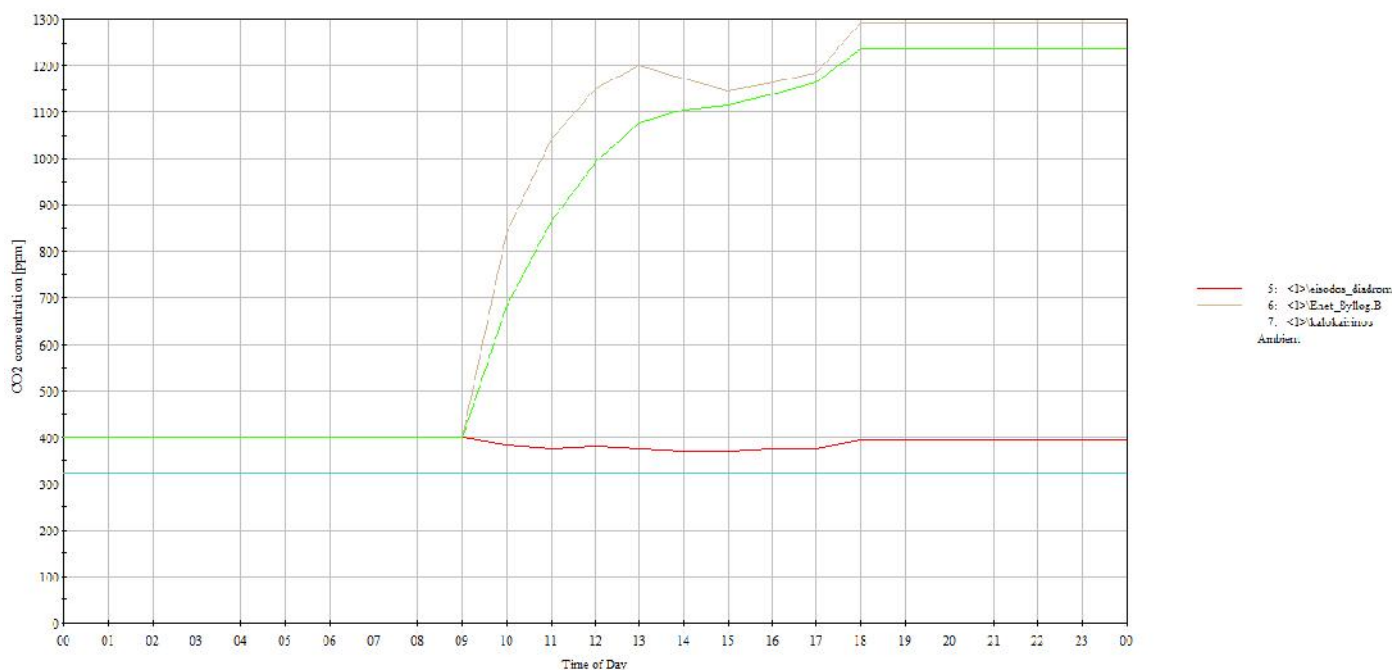


Διάγραμμα 5.16: Προσομοίωση CO₂ σε 3 Αίθουσες του ΙΜΚ

Με το άνοιγμα της πόρτας εισόδου του ΙΜΚ οι τιμές του CO₂ δείχνουν να ελαττώνονται και να πλησιάζουν την τιμή των 320 ppm που έχει τεθεί σαν τιμή περιβάλλοντος. Η πτώση είναι σαφώς πιο άμεση στην περίπτωση της Ζώνης «Είσοδος –Διάδρομος» οπότε και μέσα σε 1 ώρα περίπου (στις 10:00) η τιμή του CO₂ φτάνει τα 320 ppm. Η εξομοίωση στις 2 άλλες ζώνες είναι πιο αργή και εμφανίζεται κατά τις 17:00 οπότε και κλείνει το Μουσείο.

Προσομοίωση για 1 ημέρα με φορτία χωρίς μηχανικό αερισμό

Στην επόμενη προσομοίωση ελήφθη υπόψη ένας αριθμός επισκεπτών και προσωπικού σε κάποιες από τις αίθουσες. Θεωρήθηκε πως κατά τις ώρες 09:00 – 17:00 θα υπάρχουν 3 άτομα καθ' όλη τη διάρκεια της ώρας στις Αίθουσες Καλοκαιρινού, Κεραμεικών, Ενετικής Συλλογής (γλυπτά επιγραφές) και στο διάδρομο. Για την προσομοίωση θεωρήθηκε επίσης πως από την ανθρώπινη παρουσία παράγονται 0,042kg/hr CO₂ ανά άτομο (US Department of Agriculture, average person's respiration 0.9-1kg /per day). Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα από τις 2 Αίθουσες και το διάδρομο.



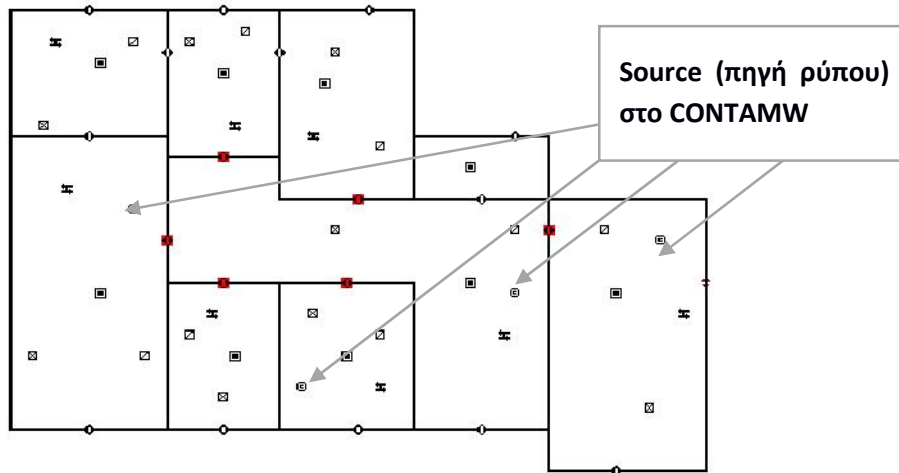
Διάγραμμα 5.17: Προσομοίωση CO₂ σε 3 Αίθουσες με ύπαρξη επισκεπτών στις ώρες λειτουργίας του ΙΜΚ

Η τιμή της Ζώνης «Είσοδος –Διάδρομος» δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την ύπαρξη των επισκεπτών εξαιτίας του διαρκούς φυσικού αερισμού από την ανοικτή πόρτα της Εισόδου. Συγκριτικά με την προηγούμενη περίπτωση δεν προσεγγίζει άμεσα την τιμή του CO₂ περιβάλλοντος, καθώς κινείται για το διάστημα λειτουργίας του Μουσείου κοντά στα 400 ppm. Αντίθετα, οι τιμές στις άλλες 2 Ζώνες αυξάνουν σημαντικά με τη μέγιστη συγκέντρωση των CO₂ να κινείται λίγο κάτω από τα 1300 ppm.

Προσομοίωση για 1 ημέρα με μηχανικό αερισμό και φορτία

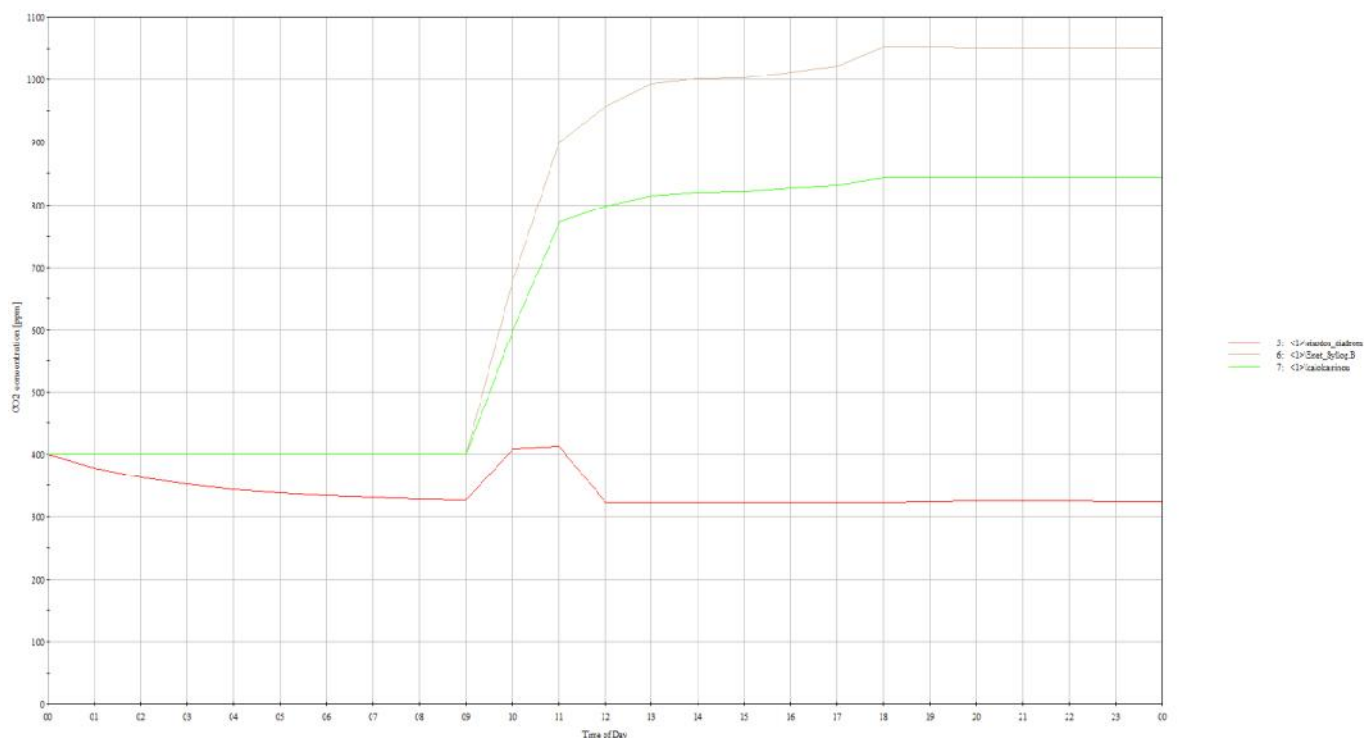
Φορτία και σύστημα μηχανικού αερισμού στο 60%

Η προσομοίωση επαναλήφθηκε θέτοντας σε λειτουργία αυτήν τη φορά το σύστημα μηχανικού αερισμού.



Εικόνα 5.16 Μορφή Sketch Pad του CONTAMW έχοντας τοποθετήσει σύστημα αερισμού σε όλες τις Ζώνες και φορτία (πηγές ρύπων) σε κάποιες από αυτές

Στην περίπτωση αυτή η πόρτα εισόδου θεωρήθηκε κλειστή κατά 70% στις ώρες λειτουργίας του IMK ενώ το σύστημα μηχανικού αερισμού θεωρήθηκε σε λειτουργία στο 60 % της ισχύος του 2 ώρες αφότου ξεκινά τη λειτουργία του το Μουσείο έως και μια ώρα προτού κλείσει (δηλαδή 11:00 -16:00). Επιπλέον, όπως και στην προηγούμενη παράγραφο θεωρήθηκε πως κατά τις ώρες 09:00 – 17:00 θα υπάρχουν 3 άτομα καθ' όλη τη διάρκεια της ώρας στις Αίθουσες Καλοκαιρινού Κεραμικών, Ενετικής Συλλογής (γλυπτά επιγραφές) και στο διάδρομο.



Διάγραμμα 5.18: Προσομοίωση CO₂ σε 3 Ζώνες με φορτίο και μηχανικό αερισμό

Όπως αναμενόταν, καθώς πλέον η πόρτα της εισόδου δεν αφήνει αρκετή ποσότητα αέρα από το περιβάλλον να εισέρχεται στο κτήριο, οι τιμές CO₂ στη Ζώνη «Διάδρομος –Είσοδος» είναι αυξημένες σε σχέση με την προηγούμενη παράγραφο (στις 10:00 περίπου 410 ppm αντί 380 ppm) ωστόσο ακόμα και ελαττωμένος αυτός απευθείας αερισμός από την πόρτα εισόδου δεν αφήνει την τιμή να ανέβει πάνω από αυτήν την τιμή. Όταν τίθεται σε λειτουργία και το σύστημα μηχανικού αερισμού η τιμή του CO₂ μειώνεται ξανά στα 320 ppm.

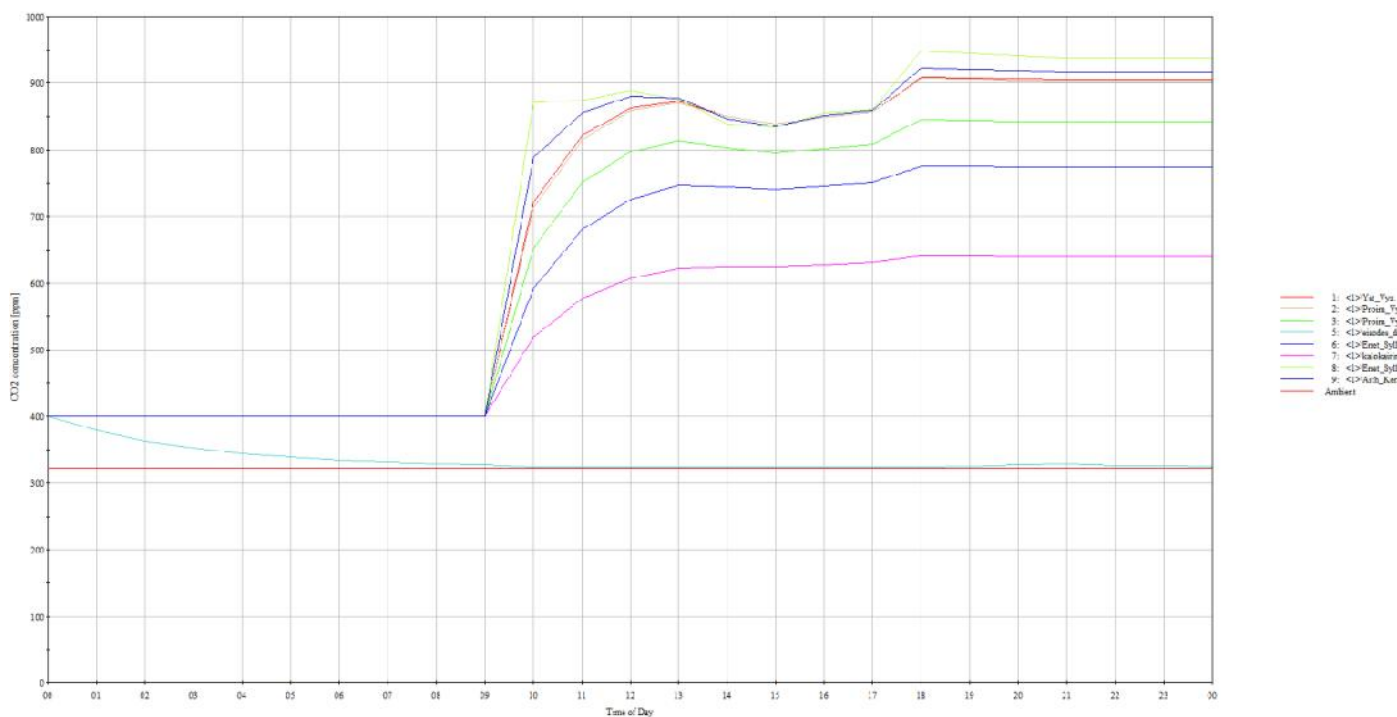
Στις υπόλοιπες Αίθουσες, οι τιμές έως ότου τεθεί σε λειτουργία μηχανικός αερισμός αυξάνουν σημαντικά (ενδεικτικά αναφέρεται πως στην Αίθουσα Καλοκαιρινού η τιμή του CO₂ φτάνει στα 800 ppm από τα 320 μέσα σε 2 ώρες) ωστόσο ο ρυθμός αυτός ανακόπτεται από τη λειτουργία του συστήματος με την τιμή στην Αίθουσα Καλοκαιρινού να σταθεροποιείται κάτω από τα 850 ppm παρότι εξακολουθούν να βρίσκονται επισκέπτες στο Μουσείο έως και το κλείσιμό του.

Φορτία και σύστημα μηχανικού αερισμού στο 100%

Η προσομοίωση τέλος, επαναλήφθηκε αυξάνοντας τους επισκέπτες σε 4 ταυτόχρονα σε όλες τις Αίθουσες του ΙΜΚ καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του μουσείου (09:00 – 17:00) θέτοντας σε πλήρη

λειτουργία το σύστημα φυσικού αερισμού (09:00 – 17:00). Στην περίπτωση αυτή η πόρτα εισόδου θεωρήθηκε κλειστή κατά 50%, (λόγω της συχνής χρήσης διέλευσης από τους επισκέπτες).

Σε όλες τις Αίθουσες με αυτές τις υποθέσεις οι τιμές του CO₂ είναι κάτω από τα 940 ppm με την υψηλότερη να συναντάται στην Αίθουσα Ενετικής Συλλογής, καθώς πρόκειται για Ζώνη με πολύ μικρό όγκο και δείχνει να επηρεάζεται περισσότερο από τις υπόλοιπες εξαιτίας της ύπαρξης φορτίου. Στην προσομοίωση αυτή η τιμή των CO₂ στην Αίθουσα Καλοκαιρινού ήταν κάτω από τα 650 ppm. Αν και ο αριθμός των επισκεπτών αυξήθηκε ο μηχανικός αερισμός μείωσε κατά περίπου 200 ppm την τιμή του CO₂.



Διάγραμμα 5.19: Προσομοίωση CO₂ σε όλες τις Αίθουσες με ύπαρξη επισκεπτών στις ώρες λειτουργίας του IMK και μηχανικό αερισμό

Από τα παραπάνω είναι εμφανές πως οι τιμές του CO₂ επηρεάζονται σημαντικά από την ύπαρξη επισκεπτών στους χώρους του Μουσείου. Στην περίπτωση που θεωρηθεί επομένως συνεχής παρουσία επισκεπτών στο IMK (4 ταυτόχρονα σε όλες τις Αίθουσες) ο μηχανικός αερισμός θεωρείται απαραίτητος προκειμένου να διατηρηθούν, σε όλες τις Αίθουσες του ισόγειου, οι τιμές του CO₂ κάτω από τα 950 ppm.

5.2.8. Συμπεράσματα

Οι τιμές της συγκέντρωσης του NO₂ επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη διακύμανση των τιμών του περιβάλλοντος. Οι τιμές του NO₂ μέσα στις Αίθουσες του ΙΜΚ εμφανίζονται πάντα χαμηλότερες από τις τιμές του περιβάλλοντος καθώς δεν έχουν θεωρηθεί πηγές παραγωγής NO_x εντός του Μουσείου. Οι τιμές στις Αίθουσες αυξάνουν όσο περισσότερη ώρα θεωρούμε ανοικτή την πόρτα εισόδου του μουσείου. Προφανώς η Ζώνη «Είσοδος- Διάδρομος» είναι η πιο ευάλωτη στις αλλαγές αυτές καθώς βρίσκεται σε άμεση επαφή με τον εξωτερικό χώρο. Στην προσομοίωση κατά την οποία η κύρια είσοδος ήταν περιοδικά ανοικτή και έχοντας όλες τις μονάδες μηχανικού αερισμού του ΙΜΚ σε λειτουργία 30%, κατά τις ώρες 11:00 το πρωί έως και τις 16:00 το απόγευμα, δύο ώρες δηλαδή μετά την ώρα λειτουργίας του ΙΜΚ και μία ώρα πριν αυτό κλείσει, οι τιμές του NO₂ διατηρούνται στις περισσότερες περιπτώσεις κάτω από τα 7 ppb και η μέγιστη τιμή παρατηρείται στην Αίθουσα Συλλογής Ενετικής Συλλογής (Οικόσημα) και Πρώιμης Βυζαντινής Συλλογής καθώς πρόκειται για μικρές Αίθουσες στις οποίες έχουν θεωρηθεί αυτόνομα συστήματα μηχανικού αερισμού, με αποτέλεσμα η τιμή του NO₂ να βρίσκεται εγγύτερα στις τιμές του περιβάλλοντος.

Οι τιμές συγκέντρωσης του CO₂ αυξάνουν σημαντικά στις περιπτώσεις που θεωρείται παρουσία επισκεπτών εντός των Αιθουσών του ΙΜΚ. Ακόμα και η παρουσία μικρού αριθμού επισκεπτών (3 άτομα) με συνεχή παρουσία καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του Μουσείου έχει σα συνέπεια την αύξηση του CO₂ σε τιμές πάνω από 1.300 ppm σε αρκετές ζώνες, καθώς ο νωπός αέρας που εισέρχεται από την κύρια Είσοδο δεν είναι ικανός να διατηρήσει σε χαμηλά επίπεδα τις τιμές του. Εξαιρεση αποτελεί η Ζώνη «Είσοδος –Διάδρομος», όπου η τιμή του CO₂ διατηρείται λίγο πάνω από τα 400 ppm. Όταν τίθεται σε λειτουργία το σύστημα μηχανικού αερισμού οι τιμές του CO₂ μειώνονται ενώ στην περίπτωση που οι επισκέπτες αυξάνονται σε 4, ταυτόχρονα σε όλες τις Αίθουσες και θέτοντας σε πλήρη λειτουργία το σύστημα μηχανικού αερισμού οι τιμές του CO₂ διατηρούνται κάτω από τα 950 ppm.

Όσον αφορά μόνο το NO₂ και το CO₂, που μελετήθηκαν σε αυτήν την εργασία φαίνεται πως εφόσον δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός επισκεπτών στο ΙΜΚ, τις πρωινές ώρες, είναι προτιμότερο να παραμένουν κλειστά, κατά το δυνατόν, τόσο η πόρτα εισόδου όσο και ο μηχανικός αερισμός προκειμένου, οι αυξημένοι ρύποι του περιβάλλοντος, εξαιτίας του κυκλοφοριακού φόρτου να μην εισέρχονται στο Μουσείο και οι τιμές NO₂ να διατηρούνται κάτω από τα 7 ppb. Στη συνέχεια, μετά τις 11:00 οπότε και οι τιμές NO₂ του περιβάλλοντος ελαττώνονται, και εφόσον υπάρχει σημαντικός αριθμός επισκεπτών στις Αίθουσες ο αερισμός θα πρέπει να λειτουργεί προκειμένου οι τιμές του CO₂ να παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα (κάτω από 950 ppm).

Από την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού CONTAMW, σχετικά με τον αερισμό (μηχανικό και φυσικό), του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης (IMK) προκειμένου να ανανεώνεται ο νωπός αέρας και να μειώνονται τα επίπεδα των ρύπων, προέκυψαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα και ένα βέλτιστο χρονοδιάγραμμα αερισμού του κτηρίου το οποίο είναι εφικτό να υιοθετηθεί μετά από συζητήσεις της ομάδας του Πολυτεχνείου Κρήτης με το IMK.

Προέκυψε πως εφόσον δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός επισκεπτών στο IMK, τις πρωινές ώρες, είναι προτιμότερο να παραμένουν κλειστά, κατά το δυνατόν, τόσο η πόρτα εισόδου όσο και ο μηχανικός αερισμός προκειμένου, οι αυξημένοι ρύποι του περιβάλλοντος, εξαιτίας του κυκλοφοριακού φόρτου να μην εισέρχονται στο Μουσείο και οι τιμές NO₂ να διατηρούνται κάτω από τα 7 ppb. Στη συνέχεια, μετά τις 11:00 οπότε και οι τιμές NO₂ του περιβάλλοντος ελαττώνονται, και εφόσον υπάρχει σημαντικός αριθμός επισκεπτών στις Αίθουσες ο αερισμός θα πρέπει να λειτουργεί προκειμένου οι τιμές του CO₂ να παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα (κάτω από 950 ppm).

Σε ορισμένες αίθουσες του κτηρίου καθώς ο μηχανικός αερισμός είναι πεπαλαιωμένος έχει προταθεί η αντικατάσταση του ενώ σε άλλες περιπτώσεις έχει προταθεί η χρήση ιονιστών. Το επόμενο διάστημα αναμένεται να τοποθετηθούν δοκιμαστικά ιονιστές στην Αίθουσα «Θεοτοκοπούλου» προκειμένου να καταγραφεί η διαφοροποίηση στις τιμές των ρύπων που μετρώνται από το Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων. Τέλος, έχει προταθεί στο IMK και η τοποθέτηση ειδικών προσροφητών σε προθήκες του Μουσείου προκειμένου να περιοριστεί η αλλοίωση πολύτιμων αντικειμένων από τους αέριους ρύπους.

5.3. Μετρήσεις επάρκειας συνθηκών σε πραγματικές προθήκες στο IMK

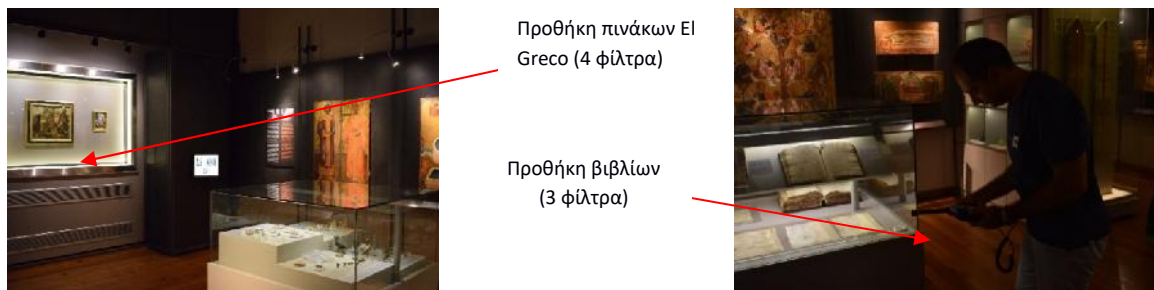
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις προθήκες της αίθουσας El Greco του IMK και στόχος ήταν να αποτυπωθεί η δυνατότητα διεύθυνσης σωματιδίων στο εσωτερικό των προθηκών και επικάλυψης στα εκθέματα που φυλάσσονται μέσα σε αυτές. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη αίθουσα καθώς φυλάει τα σημαντικότερα εκθέματα του μουσείου και επιπλέον γιατί είχε προγραμματιστεί στο πλαίσιο της πράξης να αναβαθμιστούν οι προθήκες των εκθεμάτων που υπάρχουν μέσα σε αυτή. Δεν έγιναν μετρήσεις αέριων ρύπων εντός των προθηκών, καθώς λόγω της φύσης τους τα αέρια μπορούν να διεισδύσουν από τις οπές που υπάρχουν στις προθήκες, οι οποίες προφανώς δεν είναι αεροστεγείς. Επιπλέον τα φορητά όργανα μέτρησης αέριων ρύπων δεν μπορούσαν να παραμείνουν για μεγάλο διάστημα εντός των προθηκών λόγω του όγκου τους και του θορύβου που παράγουν. Επομένως θεωρήθηκε ότι οι μετρήσεις αέριων στους υπόλοιπους εσωτερικούς χώρους εκτός των προθηκών (περιγράφονται αναλυτικά στην έκθεση για το ΠΕ3) αντιπροσωπεύουν και την εικόνα εντός των προθηκών.

Η εναπόθεση σωματιδίων πάνω σε εκθέματα είναι μια μακροχρόνια διαδικασία και οι επιπτώσεις της δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε οι μετρήσεις να πραγματοποιηθούν με ανάπτυξη φίλτρων εντός των προθηκών και προσδιορισμό της εναποτιθέμενης μάζας στο διάστημα της έκθεσης τους. Διεξήχθη στη συνέχεια και χημική ανάλυση των σωματιδίων για το προσδιορισμό α) των μετάλλων με χρήση φασματομετρίας ατομικών μαζών σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry/ICP-MS), που είναι τεχνική η οποία επιτρέπει πολυστοιχειακή ανάλυση για όλα τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα (εκτός από τα αλογόνα και τα αέρια) και ιδιαίτερα χαμηλά όρια ανίχνευσης και ποσοτικοποίησης (στα περισσότερα μέταλλα, το όριο ανίχνευσης είναι από 2 έως 50 ng/l) και β) για τον προσδιορισμό των ιόντων με χρήση ιοντικής χρωματογραφίας.

Για τη μελέτη επιλέχθηκαν φίλτρα από χαλαζία. Συνολικά επτά φίλτρα από ίνες χαλαζία τοποθετήθηκαν μέσα σε προθήκες στην αίθουσα El Greco. Τέσσερα από αυτά βρισκόταν μέσα στην προθήκη που εκτίθενται οι πίνακες του El Greco (εικόνα 5.17), η οποία διαθέτει σύστημα ελέγχου των μικροπεριβαλλοντικών παραμέτρων (θερμοκρασίας και υγρασίας) και παραμένει ανοιχτή όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο-πρακτικά μόνο για διαδικασίες συντήρησης των πινάκων.

Τα φίλτρα τοποθετήθηκαν αρχικά τον Φεβρουάριο του 2019 και συλλέχθηκαν μετά από εννέα μήνες έκθεσης (Νοέμβριος 2019). Η προετοιμασία των φίλτρων έγινε σε εργαστήριο του Πολ. Κρήτης. Τα φίλτρα, πριν την τοποθέτησή τους, βρισκόταν σε δοχείο ξήρανσης για τη μείωση της υγρασίας για 24 ώρες και μετά ζυγίζονταν με ζυγό ακριβείας (10^{-5} g) πριν τη μεταφορά τους στο Ηράκλειο. Μετά τη συλλογή τους τοποθετούνταν σε ειδικό τριβλίο και μεταφερόταν στο Πολ. Κρήτης όπου ζυγίζονταν

μετά από 24ώρη ξήρανση. Η διαφορά μάζας μεταξύ των δύο ζυγίσεων αντιστοιχεί στη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων που εναποτέθηκαν στα φίλτρα κατά την περίοδο έκθεσης.



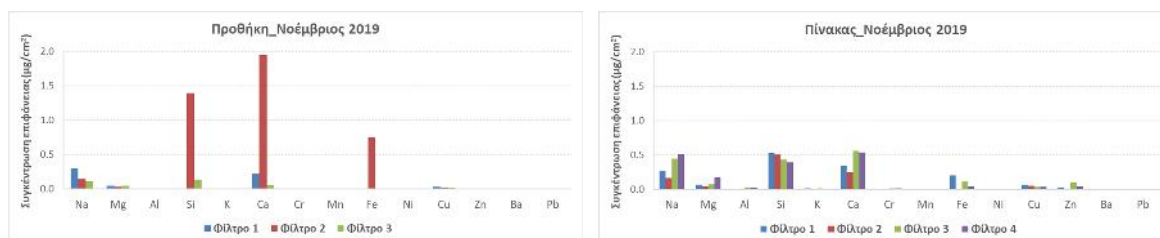
Εικόνα 5.17: Θέσεις τοποθέτησης φίλτρων από χαλαζία εντός προθηκών στην αίθουσα El Greco

Τα αποτελέσματα των ζυγίσεων έδειξαν ότι σε κάποιες περιπτώσεις η διαφορά μάζας ήταν αρνητική. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε έντονη εξάτμιση πτητικών ενώσεων από τα σωματίδια των φίλτρων ή σε εναπόθεση μεγάλων σωματιδίων που μπλοκάρουν τους πόρους με αποτέλεσμα αλλοίωση των χαρακτηριστικών των φίλτρων. Επιπλέον μπορεί να υπήρξαν και αλλοιώσεις κατά τη μεταφορά από το Ηράκλειο στα Χανιά. Συνολικά μόνο ένα από τα τρία φίλτρα της προθήκης των βιβλίων έδωσε αποτελέσματα, ενώ θετική διαφορά μάζας έδειξαν και τα τέσσερα φίλτρα της προθήκης των πινάκων. Τα δύο φίλτρα της προθήκης βιβλίων που αλλοιώθηκαν δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση των αποτελεσμάτων που αφορούν την μέτρηση της εναποτιθέμενης μάζας, αλλά συμπεριλήφθηκαν στα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης για τα μέταλλα και τα ιόντα. Η επιλογή αυτή έγινε καθώς όλες οι τιμές που έχουν προκύψει για τις επιφανειακές συγκεντρώσεις ιόντων και μετάλλων έχουν προέλθει από την αφαίρεση των αρχικών συγκεντρώσεων που ανιχνεύθηκαν στα φίλτρα που τοποθετήθηκαν στο IMK και των τιμών των «τυφλών» δειγμάτων που μετρήθηκαν πριν από κάθε δειγματοληψία στο εργαστήριο.

Στο φίλτρο εντός της προθήκης εναποτέθηκε συνολικά μάζα ίση με 3510 μg στο συνολικό διάστημα της έκθεσης των 275 ημερών (μέσος ρυθμός εναπόθεσης: 12.76 $\mu\text{g}/\text{ημέρα}$). Η εναπόθεση στα τέσσερα φίλτρα εντός της προθήκης ήταν 830 μg , 880 μg , 860 μg και 1200 μg αντίστοιχα. Οι ρυθμοί εναπόθεσης στα τρία από τα τέσσερα φίλτρα ήταν σχεδόν ίδιοι και κυμάνθηκαν από 3.02 $\mu\text{g}/\text{ημέρα}$ ως 3.13 $\mu\text{g}/\text{ημέρα}$ με μέση τιμή 3.12 \pm 0.09 $\mu\text{g}/\text{ημέρα}$. Η σημαντική διαφορά στο τέταρτο φίλτρο οφείλεται πιθανότατα στην εναπόθεση σε αυτό κάποιων μεγαλύτερων σωματιδίων, η οποία μπορεί να έγινε ακόμα και στα μικρά χρονικά διαστήματα που η προθήκη διατηρείται ανοικτή για εργασίες συντήρησης και καθαρισμού. Οι αντίστοιχες ροές μάζας ανά μονάδα επιφάνειας ήταν 1.47

μg/(cm²ημέρα) για το φίλτρο της προθήκης, 0.36 ± 0.7 μg/(cm²ημέρα) για τρία φίλτρα στην προθήκη των πινάκων που έχουν παρόμοιες τιμές εναποτιθέμενης μάζας και 0.50 μg/(cm²ημέρα) για το τέταρτο φίλτρο. Γενικά όμως στην προθήκη μπορούν ευκολότερα να διεισδύσουν μικρά σωματίδια που δεν έχουν μεγάλη μάζα/σωματίδιο. Αντίθετα στην προθήκη των βιβλίων η αυξημένη εναποτιθέμενη μάζα έδειξε ότι διεισδύουν και περισσότερα και μεγαλύτερα σε μέγεθος σωματίδια.

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης για τα μέταλλα (εναποτιθέμενη μάζα ανά μονάδα επιφάνειας του φίλτρου) παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.20. Αναφέρονται όλα τα στοιχεία τα οποία ανιχνεύθηκαν έστω και μία φορά σε κάποιο από τα φίλτρα. Επιπλέον τα στοιχεία Co, As, Se, Cd, Hg, V και Ti ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου. Παρουσιάζονται όλα τα φίλτρα, δηλαδή και αυτά που η ζύγιση έδωσε αρνητικές τιμές συνολικής εναποτιθέμενης σωματιδιακής μάζας.

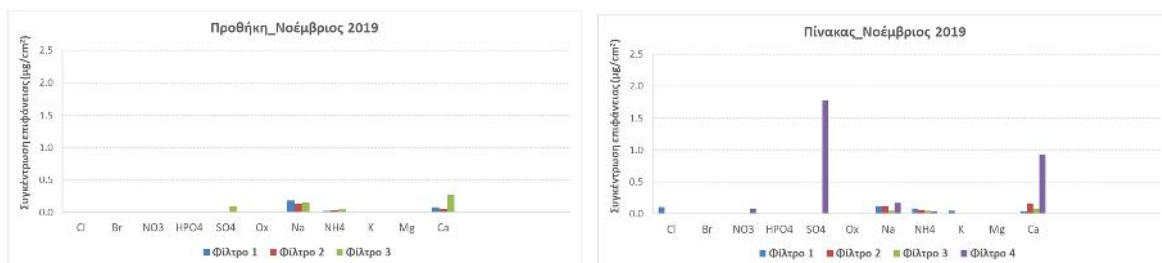


Διάγραμμα 5.20: Στοιχειακή ανάλυση της εναποτιθέμενης μάζας στα φίλτρα που τοποθετήθηκαν στους εσωτερικούς χώρους του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης.

Ουσιαστικά αποτελέσματα για τα φίλτρα της προθήκης είχαμε μόνο στην περίπτωση του ενός φίλτρου που είχαμε συνολικά θετικό ισοζύγιο εναποτιθέμενης μάζας. Η ανίχνευση υψηλών συγκεντρώσεων Si και Ca δείχνουν σωματίδια που προέρχονται από το φλοιό της γης και πιθανότατα από τις γειτονικές στο μουσείο παραλίες. Ο σίδηρος συναντάται και σε μικρότερα σωματίδια ανθρωπογενούς προέλευσης, αλλά και σε σωματίδια που εκπέμπονται κατά τη χρήση των φρένων των αυτοκινήτων. Η ύπαρξη Na δηλώνει σωματίδια από τη θάλασσα που μεταφέρονται από τον άνεμο. Στην προθήκη των πινάκων, η εικόνα είναι ανάλογη με συγκρίσιμες όμως μεταξύ τους συγκεντρώσεις για τα στοιχεία Na, Ca και Si. Η ύπαρξη Mg, Cu και Zn δηλώνει την εναπόθεση και λεπτών σωματιδίων στα φίλτρα.

Στο διάγραμμα 5.21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιοντικής ανάλυσης, τα οποία σε μεγάλο βαθμό συμφωνούν με τα ευρήματα της στοιχειακής ανάλυσης για τα μέταλλα. Η ύπαρξη Na⁺ και Ca²⁺ ενισχύει το συμπέρασμα της εναπόθεσης σωματιδίων τα οποία έχουν μεταφερθεί από το εξωτερικό

περιβάλλον είτε μέσω των οπών του κτιρίου, είτε από τους επισκέπτες. Επιπλέον όμως η ανίχνευση ιόντων NO_3^- που αντιστοιχούν σε εκπομπές από τα αυτοκίνητα και SO_4^{2-} (εκπομπές από καύσεις) ενισχύει την υπόθεση της εναπόθεσης λεπτών σωματιδίων ανθρωπογενούς προέλευσης.



Διάγραμμα 5.21: Ιοντική ανάλυση της εναποτιθέμενης μάζας στα φίλτρα που τοποθετήθηκαν στους εσωτερικούς χώρους του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης.

Συμπερασματικά αναφέρουμε ότι η ενισχυμένη προθήκη των πινάκων παρουσιάζει καλύτερη προστασία από την προθήκη των βιβλίων, αποτρέποντας τη διείδυση σημαντικού ποσοστού μεγάλων σωματιδίων. Όμως οι ροές σωματιδίων εξακολουθούν να είναι σημαντικές και αφενός πρέπει να παρακολουθούνται και αφετέρου πρέπει να ληφθούν επιπλέον μέτρα για τα περιορισμό τους.

5.4. Εγκατάσταση μέτρων προστασίας στο ΙΜΚ

Χρησιμοποιώντας όλα τα δεδομένα από τις εντατικές δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν τις θερινές περιόδους των ετών 2018 και 2019, τα αποτελέσματα των επικαθίσεων στα φίλτρα και τη μελέτη των πιθανών υλικών μείωσης των αέριων ρύπων, προτάθηκε η λήψη επιπλέον μέτρων προστασίας των εκθεμάτων που φιλοξενούνται στην αίθουσα El Greco του ΙΜΚ. Οι βελτιώσεις που περιγράφονται παρακάτω θα αποτελέσουν οδηγό για την εφαρμογή ανάλογων μέτρων και στις υπόλοιπες αίθουσες του ΙΜΚ. Η μελέτη για τη βελτίωση των υφιστάμενων προθηκών και τη μετατροπή τους σε μικροκλιματικές έγινε από το προσωπικό του ΙΜΚ, υπό την επίβλεψη των κ. Καλουτσάκη και κα Βιολάκη και το προσωπικό της εταιρείας «Πολιτισμικό Εργαστήρι Αέριων» υπό την επίβλεψη του κ. Σησαμάκη.

Αναφορικά με τις δύο μεγάλες προθήκες της αίθουσας, αρχικά πραγματοποιήθηκε ενδελεχής έλεγχος των τριών υφιστάμενων προθηκών της αίθουσας της Βυζαντινής συλλογής του ΙΜΚ. Αξιολογήθηκε η κατασκευαστική επάρκειά τους ταυτοποιήθηκαν οι τεχνικές παρεμβάσεις που απαιτούνται, ώστε αυτές να μετατραπούν σε μικροκλιματικές. Πρέπει να σημειωθεί ότι εξετάστηκε και η εναλλακτική λύση, που περιλάμβανε την κατασκευή νέας προθήκης στην οποία θα προβάλλονταν τα αντικείμενα των δύο προθηκών σε ενιαία κατασκευή, με πολλαπλούς θαλάμους έκθεσης και προδιαγραφές για τον πλήρη μικροκλιματικό τους έλεγχο. Τελικά για λόγους χωροθέτησης επιλέχθηκε η λύση της αναβάθμισης των δύο υφιστάμενων κεντρικών προθηκών της αίθουσας της Βυζαντινής συλλογής του ΙΜΚ.

Το σύνολο των αντικειμένων, εκτός αυτών της προθήκης των έργων του Θεοτοκόπουλου και των δύο προθηκών με τα υφάσματα, αφαιρέθηκαν προσεκτικά από τις προθήκες αφού προηγουμένως φωτογραφήθηκαν *in situ* με τον κωδικό που τους δόθηκε. Τα μικρών διαστάσεων αντικείμενα τοποθετήθηκαν επιπρόσθετα σε σακούλες τύπου zip. Συσκευάστηκαν τόσο τα αντικείμενα όσο και οι βάσεις τους σε αντιόξινο χαρτί και τοποθετήθηκαν σε μικρά κιβώτια από plexiglass αντίστοιχα του μεγέθους τους. Έγινε επιπλέον συσκευασία των αντικειμένων ανά προθήκη και φυλάχτηκαν στην παρακείμενη αίθουσα της νομισματικής συλλογής. Μετά το πέρας των εργασιών όλα τα αντικείμενα τοποθετήθηκαν στη θέση τους. Όλος ο χειρισμός των αντικειμένων και η εφαρμογή των υλικών έγινε από το εξειδικευμένο προσωπικό του Πολιτισμικού Εργαστηρίου ΑΕΝΑΟΝ. Οι παρεμβάσεις που έγιναν στις δύο προθήκες περιλαμβάνουν τοποθέτηση ρυθμιστών για τον έλεγχο της υγρασίας και υλικών για την απορρόφηση-μείωση των συγκεντρώσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs). Για τη ρύθμιση της υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν κασέτες PRO-SORB, silica gel και πλακίδια Art-Sorb. Οι ρυθμιστές της υγρασίας περιγράφονται αναλυτικά στο τέλος της ενότητας. Αναλυτικά οι

παρεμβάσεις σε κάθε προθήκη/ομάδα προθηκών είναι:

5.4.1. Προθήκη που φιλοξενεί τα έργα του Δομήνικου Θεοτοκόπουλου.

Έγινε τοποθέτηση και εφαρμογή ταινιών airblock από αφρώδες EPDM 3 x 20 mm στις τρεις από τις τέσσερις πλευρές της προθήκης, στα σημεία συναρμογής του ανοιγόμενου με το σταθερό τμήμα της προθήκης. Τοποθετήθηκε στην κατακόρυφη πλευρά από αριστερά, η οποία δεν μπορεί λόγω του στροφέα της πόρτας να στεγανοποιηθεί πλήρως, μεμβράνη πλάτους 10 cm και μήκους 130 cm από ύφασμα με ίνες ενεργού άνθρακα (Charcoal Cloth) για το φιλτράρισμα του αέρα. Επίσης, πίσω από την εσωτερική περιμετρική κορνίζα από MDF και ειδικότερα στο χαμηλότερο της σημείο, τοποθετήθηκαν λωρίδες από πλακίδια ART SORB, πλάτους 4 cm και μήκους 50 cm (συνολικού βάρους 389 gr) τα οποία εφαρμόζουν απόλυτα στο διάκενο κορνίζας και υποστρώματος της προθήκης, καθιστώντας τα αθέατα στον παρατηρητή–επισκέπτη. Επίσης τοποθετήθηκε μέσα σε φάκελο από Tyvek ποσότητα 50 gr κόκκων ενεργού άνθρακα για την ενίσχυση των υπόλοιπων ρυθμιστών στο πεδίο της κατακράτησης VOCs. Το σύνολο των πλακιδίων και του φακέλου τοποθετηθήκαν μέσα σε φάκελο από πολυεστερικό ύφασμα ώστε να είναι σε κάθε περίπτωση αθέατα στους επισκέπτες.

5.4.2. Προθήκη Α (Μικροτεχνία)

Στην οπή της βάσης που επιτρέπει τη διέλευση των καλωδίων και συνακόλουθα δημιουργεί ροή αέρα, τοποθετήθηκαν μεμβράνες από ύφασμα με ίνες ενεργού άνθρακα (Charcoal Cloth) για το φιλτράρισμα του αέρα. Προκειμένου να δημιουργηθεί κατάλληλος θάλαμος τοποθέτησης παθητικών ρυθμιστών, δημιουργήθηκε οπή στη συρταρωτή βάση με παράλληλη προσθήκη θαλάμου υποδοχής ρυθμιστών, με τη μορφή κρυφής καταπακτής, κάτω από το υψηλότερο βάθρο της προθήκης. Η μετατροπή αυτή επιτρέπει τον εύκολο χειρισμό των κασετών με τους ρυθμιστές χωρίς να χρειάζεται η αφαίρεση βάρων και αντικειμένων, παρά μόνο το άνοιγμα της μικρής αθέατης καταπακτής. Στο σύνολο οι παρεμβάσεις είναι αθέατες στον παρατηρητή–επισκέπτη.

Στην ανώτερη επιφάνεια ενός από τα βάρη διανοίχτηκαν οπές για τη ροή του φιλτραρισμένου αέρα. Πάνω από αυτές έχει τοποθετηθεί, με τη βοήθεια αθέατων αποστατών, μεταλλικό έλασμα από γαλβανισμένο χάλυβα, βαμμένο ηλεκτροστατικά σε κατάλληλη απόχρωση (RAL 7047 Telegrey). Πάνω στην τελική επιφάνεια τοποθετήθηκαν εκ νέου τα εκθέματα, τα οποία διαθέτουν βάσεις από plexiglass. Κάποια από αυτά, τα οποία εκθέτουν περίτεχνα σκουλαρίκια, αγκιστρώθηκαν με τη βοήθεια μαγνητών νεοδημίου, προκειμένου να αποτραπεί η ανατροπή τους εξ αιτίας του ψηλού κέντρου βάρους. Επιπλέον, αφαιρέθηκε και αντικαταστάθηκε η λωρίδα από μοριοσανίδα τύπου

νοβοπάν, που στήριζε τη κολώνα της φωτιστικής πηγής στον χαμηλότερο θάλαμο. Μονώθηκε ο κατώτερος θάλαμος της προθήκης ο οποίος είναι από ανεπεξέργαστο MDF και επί της ουσίας αποτελούσε μία ενεργή πηγή έκλυσης φορμαλδεΐδης και άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs). Για να επιτευχθούν τα παραπάνω αποσυναρμολογήθηκε το ανώτερο συρταρωτό τμήμα και επιχρίστηκε τόσο η συρταρωτή βάση όσο και ο κατώτερος θάλαμος με τα προβλεπόμενα από την έκθεση υλικά που στην περίπτωση μας είναι:

A. Ακρυλικό υδατοδιαλυτό αστάρι πολλαπλών χρήσεων, για εσωτερική και εξωτερική χρήση (μια στρώση και λείανση) και

B. Υδατοδιαλυτή ακρυλική ή βινυλακρυλική ριπολίνη νερού, υψηλής ποιότητας, άοσμη, οικολογική, με δυνατότητα για εξωτερική ή εσωτερική χρήση η οποία περιέχει πρόσθετα βιοκτόνα για αντιμυκητιακή δράση (δύο στρώσεις).

Στην προθήκη, που έχει όγκο 1,95 m³, τοποθετήθηκαν δύο κασέτες Pro Sorb FULL SIZE και φάκελος από Tyvek με 200gr ZINK OXIDE G72-D.

5.4.3. Προθήκη Β (χειρόγραφα).

Ο φωτισμός προέρχεται από συστοιχίες λαμπτήρων LED, είναι κατάλληλος για τα εκθέματα, όμως είναι επαρκής μόνο για τα εκθέματα της κατώτερης σειράς. Προκειμένου να είναι επαρκής και για την ανώτερη σειρά, κατασκευάστηκε κάλυμμα-ανακλαστήρας αλουμινίου τομής κόλουρου ν, μήκους 145,5 cm και πλάτους 12 cm. Το κάλυμμα τοποθετήθηκε επάνω στη μεταλλική ράβδο που υποστηρίζει το υπάρχον φωτιστικό σύστημα. Τοποθετήθηκαν δύο επιπλέον φωτιστικές πηγές με τη μορφή ταινίας. Οι μετασχηματιστές και τα ποτενσιόμετρα ρύθμισης της έντασης τοποθετήθηκαν στον κατώτερο θάλαμο της προθήκης και λαμβάνουν εντολή από τον υπάρχον εντολέα της προθήκης. Στην οπή της βάσης της προθήκης που επιτρέπει τη διέλευση των καλωδίων καθώς και στο μικρό πορτάκι για την τοποθέτηση ρυθμιστών της υγρασίας, τοποθετήθηκαν μεμβράνες από ύφασμα με ίνες ενεργού άνθρακα (Charcoal Cloth) για το φιλτράρισμα του αέρα.

Η προθήκη είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα. Στο κατώτερο, αθέατο για τους επισκέπτες, τμήμα υπάρχει ένα μικρό ράφι το οποίο μετασχηματίστηκε σε ένα ευρύτερο κουτί τοποθέτησης των κασετών με τους ρυθμιστές. Έτσι επιτρέπεται ο εύκολος έλεγχος και η αντικατάσταση τους χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ανατροπής ή διολίσθησης τους στο εσωτερικό τμήμα του κατώτερου θαλάμου. Επίσης, αντικαταστάθηκαν οι παλαιοί μεντεσέδες με νέους και τοποθετήθηκε αυτόματος αθέατος μηχανισμός ανοίγματος και σφράγισης τύπου Push. Επιπλέον αφαιρέθηκε και αντικαταστάθηκε η λωρίδα από μοριοσανίδα τύπου νοβοπάν, που στήριζε τη κολώνα της φωτιστικής πηγής στο

χαμηλότερο θάλαμο. Μονώθηκε ο κατώτερος θάλαμος της προθήκης ο οποίος είναι από ανεπεξέργαστο MDF και επί της ουσίας αποτελούσε μία ενεργή πηγή έκλυσης φορμαλδεΐδης και άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs). Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, αποσυναρμολογήθηκε το ανώτερο συρταρωτό τμήμα και επιχρίστηκε τόσο η συρταρωτή βάση όσο και ο κατώτερος θάλαμος με τα προβλεπόμενα από την έκθεση υλικά που στην περίπτωση μας είναι:

A. Ακρυλικό υδατοδιαλυτό αστάρι πολλαπλών χρήσεων, για εσωτερική και εξωτερική χρήση (μια στρώση και λείανση) και

B. Υδατοδιαλυτή ακρυλική ή βινυλακρυλική ριπολίνη νερού, υψηλής ποιότητας, άοσμη, οικολογική, με δυνατότητα για εξωτερική ή εσωτερική χρήση η οποία περιέχει πρόσθετα βιοκτόνα για αντιμυκητιακή δράση (δύο στρώσεις).

Για την καλύτερη έκθεση των χειρογράφων, και ειδικότερα των φύλλων περγαμηνής, κατασκευάστηκαν κεκλιμένα βάρθρα από μεταλλικό έλασμα γαλβανισμένου χάλυβα, βαμμένα ηλεκτροστατικά σε κατάλληλη απόχρωση. Η πρόταση αυτή ήταν αναγκαία προκειμένου να αφαιρεθούν τα πλαίσια από plexiglass, τα οποία κρατούν σε επίπεδη θέση τα φύλλα της περγαμηνής, όμως δημιουργούν έντονες αντανάκλασεις και θάμβωση στο μάτι του παρατηρητή. Η διατήρηση της επίπεδης θέσης πλέον επιτυγχάνεται με τη βοήθεια καλαίσθητων μαγνητών νεοδημίου μικρών διαστάσεων. Επίσης, στο διάκενο ανάμεσα στη βάση του θαλάμου έκθεσης και του κεκλιμένου μεταλλικού βάρθρου δημιουργήθηκε θάλαμος για την τοποθέτηση φακέλων με ενεργό άνθρακα σε κόκκους για κατακράτηση VOCs.

Στην προθήκη, που έχει όγκο 1,43 m³, τοποθετήθηκαν μία κασέτα Pro Sorb FULL SIZE και μία κασέτα Pro Sorb HALF SIZE, καθώς και φάκελος από Tyvek με 150 gr ενεργό άνθρακα σε κόκκους.

5.4.4. Προθήκες 4-5 (γωνιακές) με εκθέματα από ύφασμα

Στις προθήκες αυτές, που έχουν όγκο 1,3m³ έκαστη, τοποθετήθηκαν από μία κασέτα Pro Sorb FULL SIZE και από μία κασέτα Pro Sorb HALF SIZE. Επίσης τοποθετήθηκαν ένας φάκελος από Tyvek με 150 gr ενεργό άνθρακα σε κόκκους στην ανατολική και ένας φάκελος από Tyvek με 150 gr με ZINK OXIDE G72-D στη δυτική. Η τοποθέτηση των ρυθμιστών έγινε με την κατασκευή και τοποθέτηση αθέατων ραφιών, από κατάλληλα επεξεργασμένο MDF, τα οποία προσαρμόστηκαν πίσω από τα προεξέχοντα μολυβί μεταλλικά πλαίσια αναφοράς των προθηκών. Το σύνολο επιχρίστηκε με eco label άχρωμο σατινέ βερνίκι ξύλου σε μορφή αεροζόλ.

5.4.5. Προθήκες 6-17 Εντοιχισμένες

Στις έντεκα αυτές προθήκες, που έχουν όγκο 0,058m³ έκαστη, τοποθετήθηκαν από ένα δισκίο με 60gr SILICA GEL και για μεν τις ανατολικές ένα δισκίο με 20gr ενεργό άνθρακα σε κόκκους και για δε τις δυτικές ένα δισκίο με 20gr ZINK OXIDE G72-D. Η τοποθέτηση των ρυθμιστών έγινε με την κατασκευή και τοποθέτηση μικροβάθρων από κατάλληλα επεξεργασμένο MDF, βαμμένο με satine eco label ριπολίνη νερού χρώματος γκρι, όμοιο με αυτό των προθηκών (RAL 7048 Telegray). Το σύνολο των προθηκών επιχρίστηκε με eco label άχρωμο σατινέ βερνίκι ξύλου σε μορφή αεροζόλ.

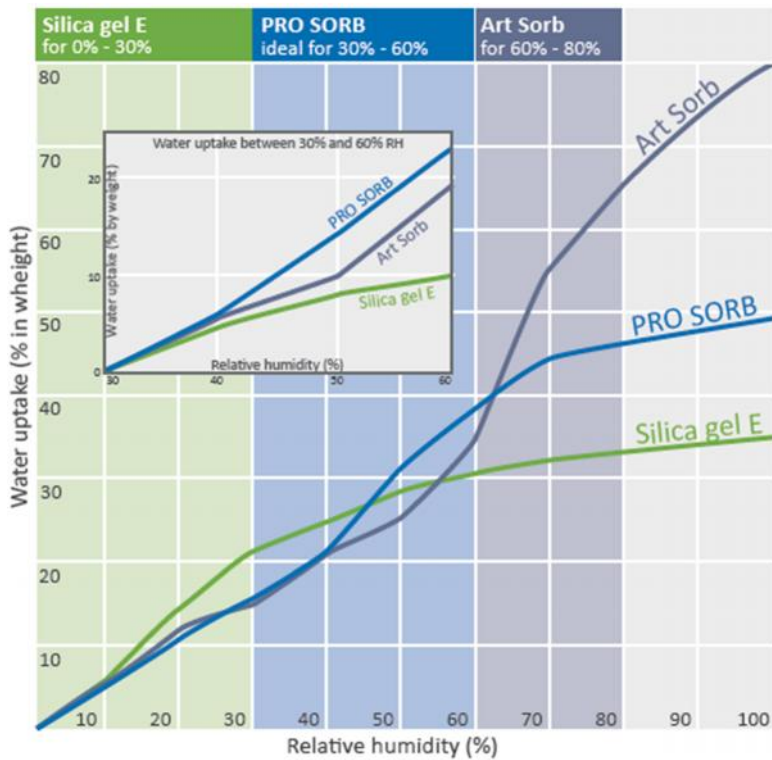
5.4.6 Ρυθμιστές της υγρασίας

1. PRO SORB: ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Οι κασέτες PRO SORB έχουν τη δυνατότητα να αυξομειώνουν το βάρος τους ανάλογα με την απορρόφηση ή έκλυση υγρασίας. Ρυθμίζουν τη σχετική υγρασία μέσα σε προθήκες και κλειστούς χώρους. Έρχονται ρυθμισμένες από την εταιρεία κατασκευής και διατίθενται σε δυο μεγέθη: FULL SIZE 335 x 110 x 44mm και περιέχει 950g ProSorb Gel και HALF SIZE 335 x 110 x 24mm και περιέχει 500g ProSorb Gel (Συνολικό βάρος συσκευασίας=558gr). Η μισή κασέτα ρυθμίζει τη σχετική υγρασία σε χώρο 0,5 m³. Οι κασέτες μπορούν να αναγεννηθούν πολλές φορές, εφόσον διατηρούνται σε καλή κατάσταση.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (ΕΠΑΝΑ)ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΚΑΣΕΤΑΣ ΜΙΣΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ PRO SORB:

Το βάρος της μισής κασέτας σε προρυθμισμένη υγρασία 50% είναι 558 gr. Οι κασέτες έχουν τη δυνατότητα να αυξομειώνουν το βάρος τους ανάλογα με την απορρόφηση ή έκλυση υγρασίας. Το βάρος της κασέτας αυξομειώνεται από 500-660 gr. Η κασέτα αφαιρείται από την προθήκη και ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας. Από το διάγραμμα 5.22 υπολογίζεται η απορρόφηση/έκλυση υγρασίας, ανάλογα με το βάρος της κασέτας. Η κασέτα μπορεί να τοποθετηθεί για αναγέννηση είτε σε θάλαμο αφύγρανσης, είτε σε φούρνο, είτε με θερμό αέρα. αλλά δεν πρέπει να θερμανθεί πάνω από τους 80° C. Έστω ότι θέλουμε να ρυθμίσουμε μια κασέτα μισού μεγέθους. Ανοίγουμε την προθήκη, τη ζυγίζουμε, το βάρος της έχει αυξηθεί και είναι 650 gr. Τοποθετείται σε φούρνο (ή σε θάλαμο αφύγρανσης) και ζυγίζεται σε τακτά χρονικά διαστήματα (ανά 1 ώρα). Όταν το βάρος της φτάσει τα 560gr, τότε έχει ρυθμιστεί σε σχετική υγρασία 50%.



Διάγραμμα 5.22: Συσχέτιση απορρόφησης/έκλυσης υγρασίας με το βάρος της κασέτας PRO-SORB

2. Silica gel

Το Silica gel είναι άνυδρο πήκτωμα πυριτίου (SiO_2) με χρωματικούς δείκτες. Προσροφά υγρασία μέχρι 35% κατά βάρος, αλλάζοντας σταδιακά το χρώμα του. Η σφαιρική του μορφή - σφαιρίδια διαμέτρου 3-5mm - επιτρέπει την εύκολη διέλευση του αέρα και την αποφυγή δημιουργίας σκόνης κατά τον χειρισμό του. Μπορεί να αναγεννηθεί με θέρμανση στους 110-120°C σε φούρνο, μέχρι να επανέλθει ο χρωματικός δείκτης. Κατάλληλο για έκθεση και αποθήκευση αντικειμένων ευαίσθητων στη σχετική υγρασία. Σε 1m³ χρειάζεται 1kg Silica Gel.

3. Πλακίδια Art Sorb (sheets)

Τα φύλλα/πλακίδια Art Sorb είναι ιδανικά για τη ρύθμιση της υγρασίας σε προθήκες με μικρές διαστάσεις και ειδικά για έργα τέχνης μικρών διαστάσεων ή για πίνακες ζωγραφικής. Τα πλακίδια είναι κατασκευασμένα από ART SORB και μη υφασμένο πολυαιθυλένιο/ πολυπροπυλένιο. Τα πλακίδια ART SORB τοποθετούνται συνήθως σε πολύ περιορισμένους χώρους όπως pass partout ή σαν κάθετη επικάλυψη σε τοιχώματα προθηκών. Οι διαστάσεις πλακιδίων Art Sorb είναι 500x 500x 1,8mm και το βάρος τους 160 gr. Συνιστάται η χρήση 8 φύλλων Art Sorb για τη ρύθμιση όγκου ενός

κυβικού μέτρου. Για την προθήκη των έργων του El Greco όπου ο όγκος είναι $0,3\text{m}^3$ απαιτούνται περίπου 2,4 πλακίδια.



Εικόνα 5.18: Πλακίδια Art-Sorb

Ο κατασκευαστής συνιστά την απόρριψη τους. Όμως, από μελέτες που έχουν γίνει, αναφέρεται ότι με θέρμανση ή ξήρανση γίνεται αναζωογόνηση των πλακιδίων για περιορισμένο όμως αριθμό εφαρμογών. Η διαδικασία γίνεται ως εξής: Αρχικά σημειώνεται το βάρος των πλακιδίων πριν την τοποθέτησή τους στην προθήκη. Στον έλεγχο ξαναζυγίζονται και εάν έχει αυξηθεί το βάρος τότε ακολουθείται η διαδικασία της αφύγρανσης. Αυτή γίνεται με θέρμανση στους 80°C , με έλεγχο σταδιακά ανά ώρα, για σύνολο περίπου 6 ωρών. Στη συνέχεια επαναζυγίζονται και στην περίπτωση που χρειάζεται περαιτέρω αφύγρανση επαναλαμβάνεται η διαδικασία, έως να επανέλθουν στο αρχικό βάρος.

5.4.7 Περιοδικότητα ελέγχων.

Συνιστάται ο ανά τρίμηνο έλεγχος των επαναρυθμιζόμενων ρυθμιστών, η καταγραφή του βάρους της υγρασίας που κατακρατήθηκε και η επαναρύθμισή τους, ώστε να μπορούν να εξαχθούν στατιστικά αποτελέσματα για την επικρατούσα σχετική υγρασία στο μικροπεριβάλλον των προθηκών της Βυζαντινής συλλογής. Επίσης συνιστάται η ανά έτος αντικατάσταση των ρυθμιστών που δεν μπορεί να ελεγχθεί ο βαθμός κορεσμού τους.