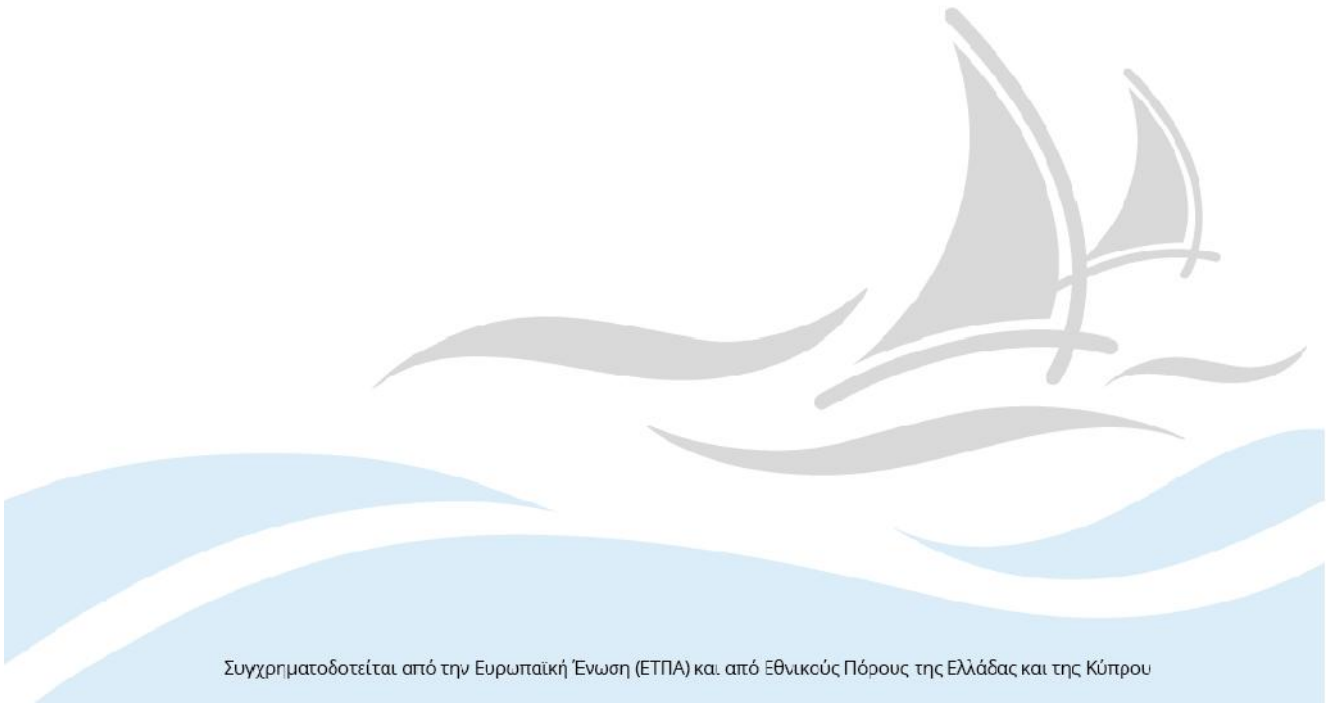


:

2.1.5, 2.2.5, 2.3.5, 2.4.5.

ΥΠΟΤΙΤΛΟΣ: Εγχειρίδιο εφαρμογής μέτρων προστασίας ευπαθών υλικών

01/04/2021



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

Περιεχόμενα

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Εισαγωγή | 5 |
| 2 | Επιδράσεις ρύπων και μικροπεριβαλλοντικών συνθηκών σε ευπαθή υλικά | 6 |
| 2.1 | Μικροκλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, φωτισμός) | 6 |
| 2.2 | Ατμοσφαιρική ρύπανση (αέριοι ρύποι, σωματίδια, μικροοργανισμοί) | 7 |
| 3 | Τρόποι παρακολούθησης αέριας ρύπανσης | 10 |
| 3.1 | Ενεργητικές μέθοδοι | 10 |
| 3.2 | Παθητικές μέθοδοι..... | 11 |
| 3.3 | Σύγχρονοι αισθητήρες χαμηλού κόστους με δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο 11 | |
| 4 | Οδηγός εφαρμογής μέτρων προστασίας σε χώρους έκθεσης | 13 |
| 4.1 | Αποτύπωση υφιστάμενης κατάστασης αέριας ρύπανσης | 13 |
| 4.2 | Αναγνώριση πιθανών πηγών ρύπανσης και μηχανισμών καταστροφής υλικών | 15 |
| 4.3 | Λήψη μέτρων προστασίας ευπαθών υλικών | 17 |
| 4.3.1) | Ρύθμιση υγρασίας / θερμοκρασίας | 17 |
| 4.3.2) | Αερισμός..... | 18 |
| 4.3.3) | Μείωση ρύπων στο μακρο -περιβάλλον | 21 |
| 4.3.4) | Μείωση ρύπων στο μικρο -περιβάλλον..... | 23 |
| 5 | Εφαρμογή μέτρων προστασίας στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης (Ηράκλειο) | 30 |
| 5.1 | Σύντομη περιγραφή του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης..... | 30 |
| 5.2 | Χαρακτηριστικά των κτιρίων του ΙΜΚ | 31 |
| 5.3 | Εφαρμογή μέτρων αποτύπωσης και παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα | 32 |
| 5.3.1 | Αποτύπωση υφιστάμενης κατάστασης στους εσωτερικούς χώρους του ΙΜΚ | 32 |
| 5.3.3 | Σημεία δειγματοληψιών εντός του ΙΜΚ..... | 33 |
| 5.3.4 | Βασικά συμπεράσματα της μελέτης για την ποιότητας του αέρα στο ΙΜΚ | 35 |
| 5.3.5 | Σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα | 37 |
| 5.3.6 | Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης ποιότητας του αέρα στο ΙΜΚ. | 40 |
| 5.4. | Εγκατάσταση μέτρων προστασίας των εκθεμάτων εντός των προθηκών | 41 |
| 5.4.1. | Προθήκη που φιλοξενεί τα έργα του Δομήνικου Θεοτοκόπουλου. | 42 |
| 5.4.2. | Προθήκη Α (Μικροτεχνία) | 42 |
| 5.4.3. | Προθήκη Β (χειρόγραφα). | 43 |
| 5.4.4. | Προθήκες 4-5 (γωνιακές) με εκθέματα από ύφασμα | 44 |
| 5.4.5. | Προθήκες 6-17 Εντοιχισμένες | 45 |
| 5.4.6 | Ρυθμιστές της υγρασίας | 45 |

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 5.4.7 | Περιοδικότητα ελέγχων..... | 47 |
| 5.5 | Συμπεράσματα..... | 48 |
| 6 | Βιβλιογραφία..... | 49 |

1 Εισαγωγή

Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως εσωτερικές πηγές εκπομπής ρυπαντών (χαλιά, ξύλινα έπιπλα, παρκέ κ.ά.), τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός του κάθε χώρου (κάπνισμα, περπάτημα κ.ά.), τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα συστήματα εξαερισμού και τέλος το εξωτερικό περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα το οποίο επικεντρώνεται στις επιδράσεις των αέριων ρύπων στα εκθέματα και τις συλλογές των μουσείων και τον τρόπο που αυτοί επιδρούν για την αλλοίωση και καταστροφή τους.

Στα διάφορα μουσεία κάθε χώρας, αρχαιολογικά, λαογραφικά, τεχνολογικά κ.ά. φυλάσσεται μια πληθώρα έργων τέχνης και αντικειμένων ιστορικής αξίας, όπως είναι οι πίνακες ζωγραφικής, τοιχογραφίες και ψηφιδωτά, υφαντά, εργόχειρα, ενδύματα, εκκλησιαστικά υφάσματα σημαίες και λάβαρα, κούκλες, βιβλία, χάρτες, ιστορικά έγγραφα, αρχεία και φωτογραφίες, ξυλόγλυπτα, γυάλινα διακοσμητικά ή οικιακής χρήσης αντικείμενα, βιτρό, κεραμικά, εργαλεία, όπλα, κοσμήματα, αρχιτεκτονικά μνημεία και αγάλματα. Η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα πιο πάνω αντικείμενα, εξαρτάται από δύο κύριους παράγοντες – το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα και τις συνθήκες στις οποίες έχουν εκτεθεί κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Τα έργα τέχνης στα μουσεία μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες ομάδες:

- ο Έργα τέχνης από οργανικά υλικά (π.χ. χαρτί, ξύλο, πίνακες ζωγραφικής, υφαντά).
- ο Έργα τέχνης από ανόργανα υλικά (π.χ. αγάλματα, γλυπτά).

Τα οργανικά υλικά, θεωρούνται γενικά ότι είναι πιο ευάλωτα στην φθορά, αλλά κανένα υλικό δεν είναι σταθερό κάτω από όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η φθορά μπορεί να οφείλεται σε χημικές, φυσικές και/ή βιολογικές επιδράσεις και το μέγεθός της εξαρτάται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι χημικές αντιδράσεις που προκαλούν την φθορά τους είναι θερμικές, φωτοχημικές, οξειδωτικές και αντιδράσεις υδρόλυσης. Οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα υπό την επίδραση ορατού φωτός και υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας, καθώς και υγρασίας, υψηλής θερμοκρασίας και αέριων ρύπων όπως O_3 , NO_2 και SO_2 . Επιπρόσθετα, οι αιωρούμενοι μικροοργανισμοί (βιοαεροζόλ) που έρχονται σε επαφή με τα εκθέματα, αποτελούν ένα περαιτέρω κίνδυνο για την αλλοίωσή τους. Οι μικροοργανισμοί εκκρίνουν ουσίες που δύναται να προξενήσουν αλλοιώσεις.

Στο παρόν Εγχειρίδιο παρουσιάζονται μια σειρά μέτρων προστασίας ευπαθών υλικών και εφαρμογής τους σε χώρους μουσείων. Παρουσιάζονται επίσης τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από μια πολυετή μελέτη των χώρων του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης για τα προτεινόμενα μέτρα εφαρμογής για την προστασία ευπαθών έργων τέχνης.

2 Επιδράσεις ρύπων και μικροπεριβαλλοντικών συνθηκών σε ευπαθή υλικά

Στο παρελθόν, ο έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών στα διάφορα μουσεία προσανατολιζόταν κυρίως στην εξυπηρέτηση των πελατών και του προσωπικού. Ωστόσο, σύγχρονες έρευνες καταδεικνύουν ότι ο έλεγχος των περιβαλλοντικών παραμέτρων στους εσωτερικούς χώρους των μουσείων πρέπει να αποσκοπεί στη διατήρηση των υλικών, αλλιώς υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης ή ακόμη και καταστροφής των εκθεμάτων (Pavlogeorgatos, 2003). Οι μουσειακές συλλογές αποτελούνται από ευαίσθητα υλικά πολιτιστικής κληρονομιάς που είναι ευπαθή στις περιβαλλοντικές επιδράσεις όπως (Pavlogeorgatos, 2003; Sciarpi et al., 2015):

- 1) Μεταβολές στη σχετική υγρασία
- 2) Μεταβολές στη θερμοκρασία
- 3) Ατμοσφαιρική Ρύπανση
- 4) Φωτισμός
- 5) Προϊόντα μεταβολισμού και απεκκρίσεις των μικροοργανισμών

Οι πιο πάνω παράγοντες τυγχάνουν ενδεδειγμένης μελέτης και έρευνας για το πώς επηρεάζουν τις συλλογές και τα διάφορα εκθέματα των μουσείων με απώτερο σκοπό την βελτίωση των συνθηκών συντήρησης και μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων ούτως ώστε να επιτυγχάνεται διατήρηση των εκθεμάτων στην καλύτερη δυνατή κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα οι επιδράσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών και των αέριων/σωματιδιακών/μικροβιακών ρύπων σε ευπαθή υλικά μουσειακών συλλογών επικεντρώνονται συνοπτικά στα παρακάτω:

2.1 Μικροκλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, φωτισμός)

Η υγρασία, η θερμοκρασία και ο φωτισμός είναι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται στο εσωτερικό των μουσείων. Ο ρυθμός αντίδρασης πολλών χημικών διεργασιών που είναι υπεύθυνες για την πρόκληση σημαντικών αλλοιώσεων στη δομή ευπαθών υλικών εξαρτάται από τη θερμοκρασία και κυρίως από τις έντονες διακυμάνσεις της. Επιπλέον υψηλή μεταβλητότητα της θερμοκρασίας συνδέεται με αποκολλήσεις τμημάτων από αντικείμενα που αποτελούνται από πολλά διαφορετικά υλικά. Υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν φθορές σε υλικά από κερί και φιλμ και σε ορισμένα πλαστικά. Επομένως επιβάλλεται σε εκθεσιακούς χώρους ή χώρους φύλαξης αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς να διατηρούνται όσο το δυνατόν σταθερές τιμές θερμοκρασίας. Υψηλές τιμές της σχετικής υγρασίας ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών και μούχλας πάνω σε εκθέματα. Οι μεταβολές της υγρασίας οδηγούν επίσης σε μηχανικές αλλαγές και παραμορφώσεις υλικών που απορροφούν έντονα την υγρασία (υγροσκοπικά υλικά), όπως το ξύλο. Ιδιαίτερη επίδραση έχει η απορρόφηση της υγρασίας σε εκθέματα βιβλιοθηκών ή αρχείων. Περιορισμένες μεταβολές της σχετικής υγρασίας είναι επιθυμητές μέσα στα μουσεία για την

προστασία των εκθεμάτων. Τα οργανικά υλικά πρέπει να αποθηκεύονται επίσης σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας που πρέπει να είναι μεταξύ 40 –70 % για τη σχετική υγρασία, ανάλογα πάντα με τη διαρρύθμιση των χώρων και των είδος των εκθεμάτων. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες φθοράς ευπαθών υλικών, καθώς συνδέεται με χρωματικές αλλοιώσεις, εξασθένηση των χρωμάτων και μηχανικές παραμορφώσεις (Camuffo, 1998).

2.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση (αέριοι ρύποι, σωματίδια, μικροοργανισμοί)

Όταν αναφερόμαστε στην ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους έκθεσης αντικειμένων υψηλής πολιτιστικής αξίας, θα πρέπει να εξετάσουμε αέριους ρύπους οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν φθορές σε υλικά κατά τη μακροχρόνια έκθεση τους στις συνήθεις συγκεντρώσεις που παρατηρούνται σε εσωτερικούς χώρους. Σημαντικές επιδράσεις στα εκθέματα έχουν επίσης τα αιωρούμενα σωματίδια και οι μικροοργανισμοί. Τα αποτελέσματα των σωματιδίων οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στις χημικές ενώσεις και στοιχεία που περιέχουν και κυρίως ενώσεις του άνθρακα (στοιχειακός και οργανικός), αλάτι από τη θάλασσα, μέταλλα από το φλοιό της γης, βαρέα μέταλλα (Al, Fe, Zn, Cu, Pb), αμμωνιακά, νιτρικά και θειικά ιόντα και βιολογικό υλικό όπως σπόροι, γύροι, ιοί βακτήρια και μύκητες. Οι μικροοργανισμοί είτε εισέρχονται απευθείας από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω των ανοιχτών οπών, του εξαερισμού ή των επισκεπτών, είτε αναπτύσσονται εντός των μουσείων κάτω από ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Για την καλύτερη αποτύπωση των επιδράσεων σε ευπαθή υλικά, παρουσιάζονται στον πίνακα 1 οι συνηθέστερα εμφανιζόμενοι ρύποι και οι επιπτώσεις τους στα διάφορα υλικά.

Πίνακας 1: Σημαντικότεροι ρύποι και επιδράσεις σε υλικά.

| Ρύποι | |
|---|--|
| Διοξείδιο του θείου (SO ₂). Μπορεί να αντιδράσει με το νερό και να δημιουργήσει H ₂ SO ₄ και H ₂ SO ₃ . | Κηλιδώνει, μαυρίζει, γαυιάζει αντικείμενα από μέταλλα (χαλκό, σίδηρο, ασήμι). Επηρεάζει υλικά πλούσια σε ασβέστιο (ασβεστόλιθος, μάρμαρα, τοιχογραφίες). Καταστρέφει τις χρωστικές στους πίνακες, εξασθενεί τα υφάσματα, αλλοιώνει δερμάτινα αντικείμενα, προκαλεί βλάβες στο χαρτί. |
| Οξειδία του αζώτου (NO _x). Αναφέρονται κυρίως στο μονοξείδιο του αζώτου (NO) και στο διοξείδιο του αζώτου (NO ₂). Η οξειδωση τους παράγει HNO ₃ και HNO ₃ . | Ενισχύει τη διάβρωση που προκαλείται από το SO ₂ στο δέρμα, στο μέταλλο και τα υλικά από πέτρα. Προκαλεί εξασθένηση σε οργανικά χρώματα και μελάνι. Εξασθενεί τα υφάσματα και καταστρέφει το φωτογραφικό φιλμ. |

| | |
|--|---|
| <p>Όζον (O₃)</p> | <p>Ισχυρό οξειδωτικό που αντιδρά με οργανικά υλικά και προκαλεί ρωγμές και αλλοιώσεις στο χρώμα και την υφή. Καταστρέφει τα φωτογραφικά υλικά και τα βιβλία και εκθέματα από δέρμα ζώων</p> |
| <p>Αναγωγικές ώσεις του θείου-Υδροθείο (H₂S), καρβονύλιο (OCS) και διθειάνθρακας (CS₂).</p> | <p>Χαρακτηρίζονται από έντονη οσμή και μεγάλη τοξικότητα. Κηλιδώνουν, μαυρίζουν, γανιάζουν τα μέταλλα και ιδιαίτερα το ασήμι. Θαμπώνουν και μαυρίζουν τις τοιχογραφίες αλλά και ειδικά τις ασπρόμαυρες φωτογραφίες.</p> |
| <p>Πτητικές οργανικές ενώσεις - Μυρμηκικό οξύ (HCOOH), Οξικό οξύ (CH₃COOH), Φορμαλδεΐδη (HCHO). Σε πολλές μελέτες αναφέρεται ότι η φορμαλδεΐδη οξειδώνεται σε μυρμηκικό οξύ στις επιφάνειες αντικειμένων (Tetreault, 2003).</p> | <p>Διαβρώνουν υλικά από μέταλλο, όπως χαλκός, μόλυβδος και ασήμι. Επιτίθεται σε ασβεστώδη υλικά και δείγματα ορυκτών. Προκαλούν φθορές στο χαρτί στο ύφασμα και σε κεραμικά υλικά.</p> |
| <p>Αιωρούμενα σωματίδια</p> | <p>Προκαλούν αποχρωματισμό, διάβρωση των μετάλλων, ρωγμές στις επιφάνειες, εξασθένηση των ινών στα υφάσματα και αισθητική παραμόρφωση των αντικειμένων.</p> |
| <p>Μικροοργανισμοί</p> | <p>Αισθητική παραμόρφωση, βιοαποικοδόμιση οργανικών υλικών, χημική διάβρωση και μηχανικές παραμορφώσεις.</p> |

Πέρα από τις επιδράσεις που παρουσιάζουν ξεχωριστά οι ρυπαντές και οι μικροπεριβαλλοντικές συνθήκες στα υλικά και στα αντικείμενα που φιλοξενούνται σε χώρους έκθεσης, θα πρέπει να εξεταστούν και τα συνεργατικά φαινόμενα μεταξύ των παραπάνω παραγόντων. Για παράδειγμα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω η σχετική υγρασία σχετίζεται άμεσα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Επιπλέον η σχετική υγρασία επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη μικροοργανισμών σε επιφάνειες υλικών ή γενικότερα στο εσωτερικό περιβάλλον. Ο φωτισμός συνδέεται με τη διαμόρφωση των χώρων και επομένως με τη θερμοκρασία. Η επιλογή φυσικού ή τεχνητού φωτισμού επηρεάζει επίσης και την παρουσία αέριων ρυπαντών και

αιωρούμενων σωματιδίων καθώς σχετίζεται άμεσα με την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επομένως για την ανάπτυξη δράσεων προστασίας των ευπαθών υλικών σε χώρους έκθεσης θα πρέπει να εξετάζονται ξεχωριστά όλες οι πιθανές πηγές ρύπανσης και οι μικροπεριβαλλοντικές συνθήκες αλλά παράλληλα να εντοπίζονται και οι πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και τα αποτελέσματα των προτεινόμενων μέτρων προστασίας συνολικά στην ποιότητα του αέρα.

3 Τρόποι παρακολούθησης αέριας ρύπανσης

Ο προσδιορισμός και η χρήση κατάλληλων μεθοδολογιών μέτρησης των περιβαλλοντικών συνθηκών και αερίων ρύπων στο εσωτερικό μουσείων και ιστορικών κτιρίων είναι μια συνεχής επιστημονική προτεραιότητα τα τελευταία χρόνια. Γενικά υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στην αποτύπωση της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους μουσείων: Η χρήση ενεργών (active ή dynamic) μεθόδων και παθητικών (passive) μεθόδων. Και στις δύο περιπτώσεις οι εξεταζόμενοι ρύποι παγιδεύονται μέσω κάποιας δραστικής ουσίας ή απορροφητικού μέσου και η συγκέντρωσή τους προσδιορίζεται είτε άμεσα μέσω κάποια χρωματικής ή άλλης ένδειξης είτε μέσω περαιτέρω εργαστηριακής ανάλυσης. Επιπλέον, η ενδεδειγμένη έρευνα για τις συνεργατικές επιπτώσεις των ρύπων και των περιβαλλοντικών συνθηκών έχει οδηγήσει στη ανάπτυξη αισθητήρων φθοράς (impact sensors) που ουσιαστικά είναι δοσιμετρικοί ή παθητικοί αισθητήρες τοποθετημένοι σε ευπαθή υλικά. Τα υλικά αυτά προσομοιάζουν πραγματικά εκθέματα και με τη βοήθεια των αισθητήρων αποτυπώνουν στην επίδραση του περιβάλλοντος σε συγκεκριμένα υλικά. Η επίδραση αυτή αποτυπώνεται σε πραγματικό χρόνο ή μέσω επιταχυνόμενων διαδικασιών και βοηθάει σημαντικά τους συντηρητές να αποτυπώσουν ή να προλάβουν πιθανές φθορές σε ευπαθή εκθέματα. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται πολλές φορές και ως συστήματα «έγκαιρης προειδοποίησης» (early warning systems) και χρησιμοποιούνται σε πολλούς εκθεσιακούς χώρους.

Η ραγδαία ανάπτυξη των δικτυωμένων συσκευών με δυνατότητα άμεσης αποστολής δεδομένων (Internet of things, IOT), καθώς και η ανάπτυξη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων πολύ μικρού μεγέθους επιτάχυνε σημαντικά τη διαδικασία κατασκευής αισθητήρων αέριων και σωματιδιακών ρύπων μικρού μεγέθους και ικανοποιητικής ακρίβειας. Η δυνατότητα εγκατάστασης ανάλογων συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους και κατ' επέκταση και σε χώρους έκθεσης και φύλαξης ευπαθών υλικών αρχίζει να εξετάζεται από πολλές ερευνητικές ομάδες και παρόλο που σήμερα υπάρχουν ελάχιστες ολοκληρωμένες εφαρμογές, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο προστασίας πολύτιμων έργων τέχνης. Στη συνέχεια θα γίνει σύντομη αναφορά στη χρήση ενεργητικών και παθητικών μεθόδων και θα παρουσιαστεί η δυνατότητα χρήσης δικτύων ηλεκτρονικών αισθητήρων χαμηλού κόστους.

3.1 Ενεργητικές μέθοδοι

Σε αυτές συλλέγεται ποσότητα αέρα από τους χώρους παρακολούθησης με χρήση χειροκίνητης ή ηλεκτρικής αντλίας. Στη συνέχεια, η ανάλυση για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων γίνεται με διάφορες μεθόδους (κυρίως σε εξειδικευμένα εργαστήρια) όπως αέρια χρωματογραφία (GC), φασματοσκοπία μάζας (MS), υγρή χρωματογραφία (HPLC) και Φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Φουριέ (FTIR). Εάν και υπάρχει μεγάλος αριθμός οργάνων που χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις πεδίου, μικρότερος αριθμός οργάνων υπάρχει για τους εσωτερικούς χώρους. Μερικά από τα προσδοκώμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων για μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους είναι η δυνατότητα εύκολης μεταφοράς, η συμβατή μέθοδος δειγματοληψίας στο χώρο μέτρησης (ροή αντλίας,

εύρος μέτρησης) και η εύκολη βαθμονόμηση. Επιπλέον ειδικότερα σε μουσεία απαιτείται η χρήση οργάνων μικρού μεγέθους και χαμηλού θορύβου ώστε να μην επηρεάζεται η αισθητική των χώρων που φιλοξενούνται. Για τις μετρήσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, φωτισμός) υπάρχουν μικροί αισθητήρες για συνεχείς μετρήσεις και με δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων για διαστήματα που φτάνουν την περίοδο μερικών μηνών.

3.2 Παθητικές μέθοδοι

Αρχικά οι παθητικοί δειγματολήπτες δεν θεωρούνταν τόσο ακριβείς όσο οι ενεργητικοί. Όμως σήμερα η χρήση παθητικής δειγματοληψίας σε μουσεία, αρχεία και πινακοθήκες θεωρείται μια αποδεκτή τεχνική παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Οι παθητικοί δειγματολήπτες παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα της επιλεκτικής καταγραφής συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ρυπαντών, την αθόρυβη λειτουργία και το χαμηλό κόστος, ενώ βασικά μειονεκτήματα είναι οι απαιτούμενοι μεγάλοι χρόνοι έκθεσης σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από χαμηλές συγκεντρώσεις (ημέρες έως και μήνες), η έλλειψη δυνατότητας καταγραφής των δεδομένων και αποστολής τους σε πραγματικό χρόνο. Με παθητικούς αισθητήρες παρακολουθούνται οι σημαντικότεροι αέριοι ρύποι και συγκεκριμένα O_3 , NO_2 , NO , SO_2 , TVOCs (ολικές πτητικές οργανικές ενώσεις) αλλά και συγκεκριμένους υδρογονάνθρακες όπως $HCOOH$, $HCHO$ και CH_3COOH . Υπάρχουν πολλές διαφορετικοί παθητικοί αισθητήρες, οι οποίοι σχεδόν στο σύνολο τους παρέχουν πληροφορίες για τις συγκεντρώσεις κάποιου ρύπου μέσω της αλλαγής χρώματος κάποια ουσίας λόγω απορρόφησης του ρύπου, μεταβολής του pH, οξείδωσης κλπ.

3.3 Σύγχρονοι αισθητήρες χαμηλού κόστους με δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο

Συστήματα παρακολούθησης που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες των σύγχρονων αυτών αισθητήρων έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται τα τελευταία χρόνια. Δεν υπάρχουν ακόμα πολλές εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους και προφανώς ακόμα λιγότερες σε χώρους έκθεσης ή βιβλιοθήκες ή αρχεία. Η χρήση τους όμως παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα που είναι:

A) Έχουν μικρό μέγεθος και αθόρυβη λειτουργία καθώς δεν χρησιμοποιούν αντλίες.

B) Μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία συστημάτων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και μεγέθους που μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλά διαφορετικά σημεία στο εσωτερικό χώρων φύλαξης ευπαθών έργων τέχνης. Το μικρό μέγεθος καθιστά δυνατή την τοποθέτηση και εντός μικροπεριβαλλοντικών προθηκών ή σε κιβώτια κατά τη μεταφορά έργων τέχνης.

Γ) Παρέχουν τη δυνατότητα αποστολής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είτε ασύρματα είτε ενσύρματα. Επιπλέον διατίθεται η δυνατότητα χρήσης καρτών μνήμης για αποθήκευση των δεδομένων όταν είναι εκτός δικτύου.

Δ) Μπορούν να δημιουργηθούν βάσεις δεδομένων με ποικίλες μικροπεριβαλλοντικές παραμέτρους και τιμές αέριων/σωματιδιακών ρύπων σε εσωτερικούς χώρους, οι οποίες θα παρέχουν πολύτιμα δεδομένα στους συντηρητές για τη λήψη των κατάλληλων μέτρων προστασίας ευπαθών έργων τέχνης.

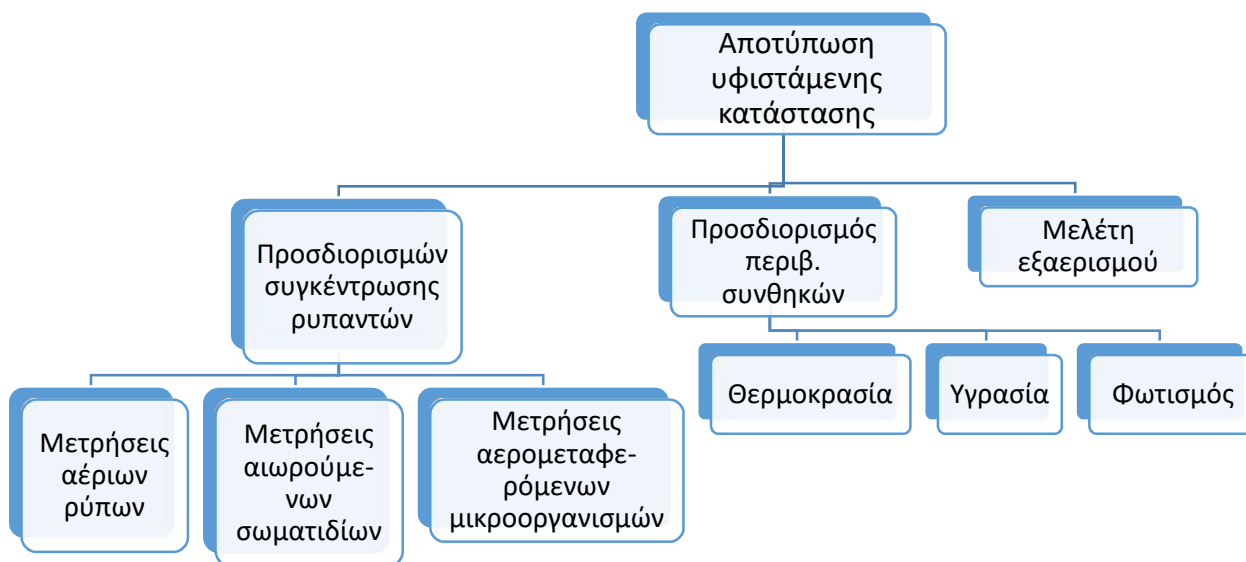
Για την εκτεταμένη χρήση συστημάτων με ηλεκτρονικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους απαιτείται ακόμα σημαντική έρευνα για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν την ορθή τακτική βαθμονόμηση των αισθητήρων με πρότυπα όργανα και τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής τους. Ειδικά για την αξιοπιστία των μετρήσεων που παρέχουν εξετάζονται πρακτικές διόρθωσης των αποτελεσμάτων μέσω συστημάτων μηχανικής μάθησης ή με την εφαρμογή στατιστικών μοντέλων μέσω σύγκρισης με πρότυπους σταθμούς μέτρησης.

4 Οδηγός εφαρμογής μέτρων προστασίας σε χώρους έκθεσης

Για τη δημιουργία ενός ασφαλούς περιβάλλοντος για εκθέματα από ευπαθή υλικά σε ρύπους ή περιβαλλοντικές συνθήκες πρέπει να ακολουθηθούν συγκεκριμένα βήματα τα οποία εστιάζουν καταρχήν στην αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης στους εσωτερικούς χώρους έκθεσης ή αποθήκευσης, στη συνέχεια στην αναγνώριση πιθανών πηγών ρύπανσης ή μηχανισμών αλλοίωσης και καταστροφής των εκθεμάτων και τέλος στη λήψη και εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων προστασίας και παρακολούθησης των συνθηκών στο υπό εξέταση περιβάλλον. Προφανώς το τελευταίο στάδιο εξαρτάται σημαντικά από το είδος των εκθεμάτων και τα χαρακτηριστικά των χώρων έκθεσης (διαμόρφωση του κτιρίου, εγγύτητα στο εξωτερικό περιβάλλον, είδος εξαερισμού και φωτισμού, επιβάρυνση εξωτερικού περιβάλλοντος). Επομένως δεν θα επικεντρωθούμε σημαντικά σε αυτό αλλά θα γίνει αναφορά στις ενέργειες αποτύπωσης των υπάρχοντων συνθηκών και στην αναγνώριση πιθανών πηγών.

4.1 Αποτύπωση υφιστάμενης κατάστασης αέριας ρύπανσης

Η μελέτη για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων επικίνδυνων παραγόντων για ευπαθή υλικά και για το χαρακτηρισμό των μικροπεριβαλλοντικών συνθηκών απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού και κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού για την ορθή χρήση των οργάνων μέτρησης αλλά και για τη μετέπειτα ανάλυση των δεδομένων. Οι παράμετροι οι οποίες είναι χρήσιμο να ταυτοποιηθούν κατά την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης παρουσιάζονται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1: Σχηματική παράσταση των μικροπεριβαλλοντικών παραμέτρων και των ρύπων που προσδιορίζονται κατά την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης σε χώρους έκθεσης/αποθήκευσης.

Πρωταρχικός στόχος είναι η κατάρτιση της σωστής μεθοδολογίας για τη κατηγοριοποίηση των επικίνδυνων αέριων ρύπων και των κλιματολογικών συνθηκών του χώρου όπου θα πραγματοποιηθεί η μελέτη. Προληπτική συντήρηση με τον έλεγχο του περιβάλλοντος των μουσείων μειώνει την ανάγκη για μελλοντική συντήρηση των εκθεμάτων. Για τις μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτισμού υπάρχουν σύγχρονοι ηλεκτρονικοί αισθητήρες οι οποίοι πλέον έχουν προσιτό κόστος και παράλληλα παρέχουν τη δυνατότητα αποστολής ή αποθήκευσης των δεδομένων που συλλέγονται. Οι μετρητές αυτοί μπορούν να παραμείνουν και μετά το πέρας της μελέτης αποτύπωσης των υπάρχοντων συνθηκών.

Οι αέριοι ρύποι μπορούν να μετρηθούν είτε με όργανα συνεχούς καταγραφής σε πραγματικό χρόνο μέσω της διοργάνωσης σύντομων δειγματοληψιών οι οποίες όμως θα πρέπει να έχουν εποχιακό σχεδιασμό και επιπλέον να καλύπτουν τις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας των χώρων έκθεσης (π.χ. περίοδοι μεγάλης ή μικρότερης επισκεψιμότητας). Όργανα συνεχούς καταγραφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τα αιωρούμενα σωματίδια. Επιπλέον οι μετρήσεις δύναται να περιλαμβάνουν και χρήση προσκρουστήρων (impactors) για συλλογή σωματιδιακής μάζας σε φίλτρα και στη συνέχεια προσδιορισμό της χημικής σύστασης των σωματιδίων. Η διαδικασία αυτή πέρα από την ανίχνευση επικίνδυνων ενώσεων για τα εκθέματα βοηθάει σημαντικά στον προσδιορισμό των πηγών των σωματιδίων. Η μέτρηση των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών απαιτεί τη συλλογή τους σε κατάλληλα φίλτρα ή θρεπτικά υλικά και στη συνέχεια τη χρήση κατάλληλου εργαστηριακού εξοπλισμού για την ταυτοποίηση τους. Οι παραπάνω διαδικασίες έχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν μια πλήρη και ολοκληρωμένη εικόνα των υπό εξέταση χώρων, αλλά παράλληλα απαιτούν χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού που δεν έχουν συνήθως στην κατοχή τους τα μουσεία και κατ' επέκταση υψηλό κόστος. Επιπλέον τα όργανα συνεχούς καταγραφής παράγουν συνήθως θόρυβο και έχουν μέγεθος που αλλοιώνει την αισθητική των χώρων. Επομένως η χρήση τους προϋποθέτει ειδική μελέτη για τα σημεία τοποθέτησης και το χρόνο λειτουργίας.

Οι μετρήσεις αέριων ρύπων μπορούν να πραγματοποιηθούν και με τη χρήση παθητικών αισθητήρων, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος, εύκολη τοποθέτηση και απουσία θορύβου, καθώς δεν χρησιμοποιούν αντλία. Επιπλέον παρέχουν σε αρκετές περιπτώσεις τη δυνατότητα άμεσης ανάγνωσης της συγκέντρωσης των αέριων ρύπων, καθώς αυτή αποτυπώνεται μέσω κάποιου οπτικού αποτελέσματος (π.χ. αλλαγή χρώματος κάποιου δείκτη). Μειονεκτήματα αποτελούν ο μεγάλος χρόνος απόκρισης για συνήθεις συγκεντρώσεις σε εσωτερικά περιβάλλοντα μουσείων που προϋποθέτει και μεγάλο χρόνο έκθεσης και έλλειψη συνεχούς καταγραφής των τιμών. Γενικά οι επιπτώσεις των ρυπαντών στα υλικά είναι μακροχρόνιες και αθροιστικές, αλλά η γνώση των επιμέρους χρονικών διακυμάνσεων βοηθάει σε πολλές περιπτώσεις στην ανάπτυξη σωστών στρατηγικών μείωσης των επικίνδυνων ρύπων. Η χρήση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί επίσης να βοηθήσει στην εκτίμηση της φθοράς που προκαλείται από τους αέριους ρύπους και τις μικροπεριβαλλοντικές συνθήκες στα υλικά.

4.2 Αναγνώριση πιθανών πηγών ρύπανσης και μηχανισμών καταστροφής υλικών

Επόμενο βήμα μετά την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης είναι ο προσδιορισμός πιθανών πηγών ρύπανσης. Οι αέριοι ρύποι μπορεί να προέρχονται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον και να διεισδύουν στους εσωτερικούς χώρους μέσω παραθύρων/θυρών σε περίπτωση φυσικού αερισμού ή μέσω των συστημάτων κλιματισμού σε περίπτωση τεχνητού εξαερισμού. Επιπλέον εισέρχονται από τις οπές και ρωγμές των κτιρίων ή μεταφέρονται από τους επισκέπτες και το προσωπικό λειτουργίας στην περίπτωση των σωματιδίων και των μικροοργανισμών. Επίσης σε πολλές περιπτώσεις ρύποι εκπέμπονται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κτιρίων ή την τοποθέτηση/φύλαξη/έκθεση των αντικειμένων (π.χ. βαφές, βερνίκια, γυψοσανίδες, επεξεργασμένο ξύλο κλπ.). Παρουσιάζονται παρακάτω οι συνηθέστερες πηγές των συχνότερα παρατηρούμενων ρύπων σε χώρους έκθεσης.

Πίνακας 2: Εσωτερικοί ρυπογόνοι παράγοντες και δυνητικές πηγές τους

| Ρύπος | Πηγή |
|--|--|
| Αμιάντος | 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 |

| | |
|--|---|
| Φορμαλδεΐδη | Εκπομπές από έπιπλα, ρητίνες στις μορισσανίδες, 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 |
| Οξείδια του αζώτου | Εκπομπές από αυτοκίνητα, φυσικές διεργασίες αποδόμησης οργανικών υλικών στο έδαφος, καπνός τσιγάρου |
| Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂) | Το Διοξείδιο του Άνθρακα εκλύεται κατά την εκπνοή καθώς και κατά την καύση από καυστήρες, τζάκια, λέβητες και οχήματα |

Πρέπει να αναφερθεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα δεν συσχετίζεται με φθορές στα υλικά. Συνδέεται όμως με επιβαρυνμένη κατάσταση σε εσωτερικούς χώρους και πολύ συχνά χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) χρησιμοποιείται ως δείκτης για τον προσδιορισμό των άλλων ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων και 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 συνίσταται 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 3: 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 |

4.3 Λήψη μέτρων προστασίας ευπαθών υλικών

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.

4.3.1 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.

4.3.2 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.

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.

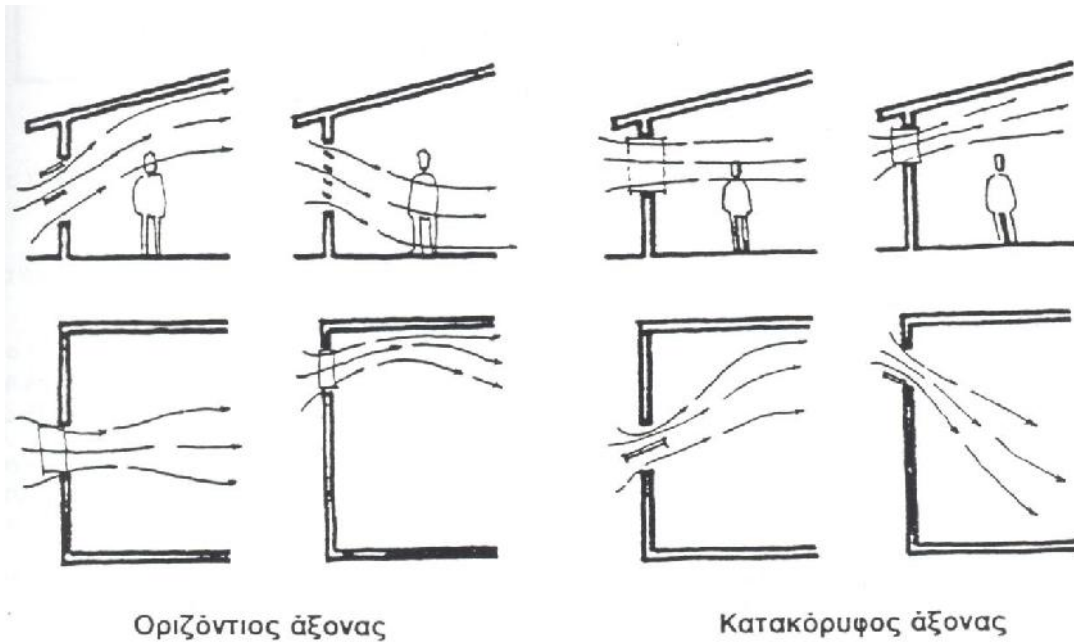
Πίνακας 4: Απαιτήσεις αερισμού ως συνάρτηση της πυκνότητας των ατόμων σε ένα χώρο

| 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 m^3 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 2: 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 αραιώση 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 στομών εισόδου του αέρα ώστε αυτός να είναι πράγματι "καθαρός" (Αρνητικά παραδείγματα αποτελούν επιλογές στομών 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 να 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.

4.3.3 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 ($>0,1 \mu\text{m}$) 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.

4.3.4 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 βάθρου 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

B) Είδη προσροφητικών υλικών για προθήκες

B1) Χρήση ενεργού άνθρακα

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται όταν ανθρακούχα υλικά διαφόρων προελεύσεων (ορυκτός άνθρακας, καουτσούκ, κλπ) που υπόκεινται σε ελεγχόμενη διαδικασία οξειδωσης. 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 σπάνταρ 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.

B2) 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 3: 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.

B3) 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 4: 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: $500 \pm 5\%$ g/l

pH: αλκαλικό

αριθμός ιωδίου: 900 mg/g

ελάχιστη τιμή CTC για προσρόφηση CCl₄: 60%.



Εικόνα 5: Εμποτισμένοι ενεργός άνθρακας

B4) Προσοφητές για την προστασία αντικειμένων από ασήμι

Η επιφανειακή οξείδωση 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 οξείδωση (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 οξείδωση 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, κolloειδούς 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 ασήμι από τον ενεργό άνθρακα και το Purafil.



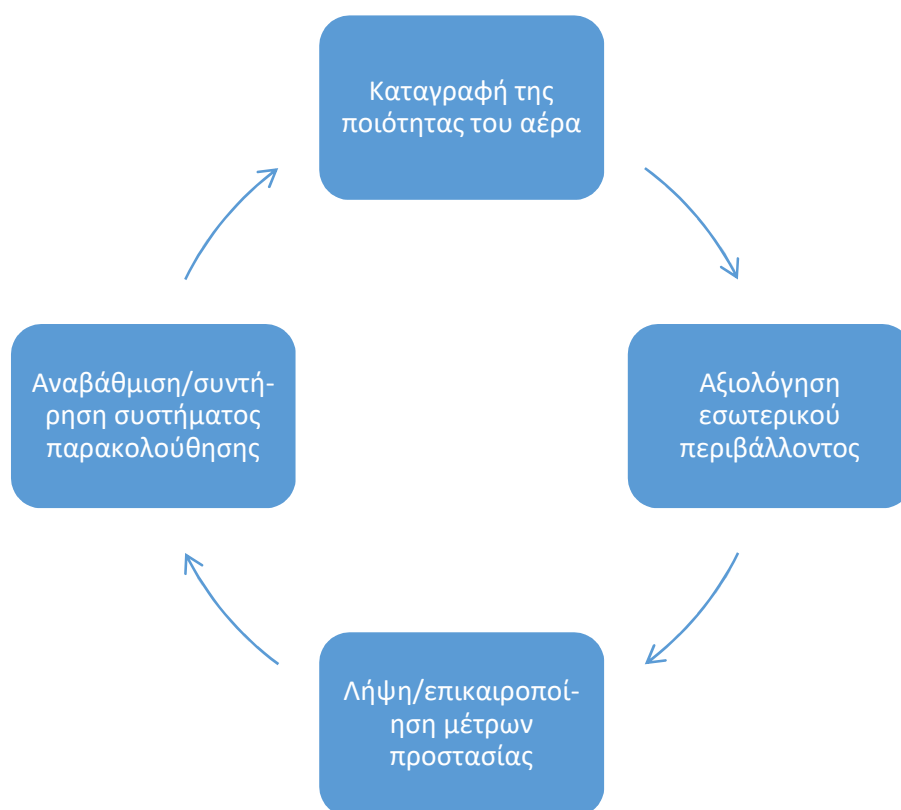
Εικόνα 6: Zinc Oxide Catalyst G 72-D

Το οξείδιο 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/m^3 . Απορρίπτεται μετά από αρκετό χρονικό διάστημα ενώ δεν μπορεί να ελεγχτεί ο βαθμός κορεσμού του.

4.4 Σύστημα παρακολούθησης ποιότητας του αέρα

Η δημιουργία και εγκατάσταση ενός συστήματος καταγραφής των μικροπεριβαλλοντικών παραμέτρων και των συγκεντρώσεων των επικίνδυνων ρυπαντών αποτελεί ουσιαστικά συνέχεια της αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης και λειτουργεί τόσο σε επίπεδο πρόληψης, αλλά και ως δείκτης αξιολόγησης των μέτρων προστασίας που λαμβάνονται σε κάθε χώρο έκθεσης. Τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος καθορίζονται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η διαμόρφωση και η αρχιτεκτονική των εσωτερικών χώρων, το είδος του εξαερισμού, η θέση του μουσείου αναφορικά με το εξωτερικό περιβάλλον, η ύπαρξη

εξειδικευμένου προσωπικού και φυσικά το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας. Στην πραγματικότητα η λειτουργία του συστήματος αποσκοπεί τόσο στη συνεχή αξιολόγηση των συνθηκών στους εσωτερικούς χώρους, όσο και του ίδιου του συστήματος παρέχοντας στοιχεία για τη βελτίωση και αναμόρφωση του.



Εικόνα 7: σχηματική παράσταση χρήσης συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα.

Η παρακολούθηση των απαραίτητων επιλεγμένων παραμέτρων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους χρησιμοποιώντας τα είδη των αισθητήρων που αναφέρθηκαν παραπάνω (παθητικοί/ενεργητικοί αισθητήρες, όργανα συνεχούς καταγραφής, αισθητήρες χαμηλού κόστους) ή συνδυασμούς αυτών. Παράλληλα η ταχύτατη ανάπτυξη των μικροηλεκτρονικών μέσων ασύρματης και ενσύρματης δικτύωσης παρέχουν δυνατότητες αποστολής δεδομένων από πολλά διαφορετικά σημεία και λήψη τους με τη μορφή προειδοποιήσεων ακόμα και σε φορητές συσκευές (tablet, κινητά τηλέφωνα κλπ.). Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστεί το σύστημα παρακολούθησης που εγκαταστάθηκε στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης στο Ηράκλειο.

5 Εφαρμογή μέτρων προστασίας στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης (Ηράκλειο)

Η μεθοδολογία για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε συνδυασμό με την ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης εφαρμόστηκε στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης (Ηράκλειο) μέσω της πράξης ΜΟΥΣΕΙΑ II, που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του επιχειρησιακού προγράμματος «Interreg V-A, Ελλάδα-Κύπρος 2014-2020». Βασικός στόχος της πράξης ΜΟΥΣΕΙΑ II ήταν η συνεισφορά σε στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής προσέγγισης για την προστασία ευπαθών έργων τέχνης από την αέρια ρύπανση η οποία θα είχε άμεση εφαρμογή σε εκθεσιακούς χώρους της Ελλάδας και Κύπρου. Στο πλαίσιο όλων των δράσεων της πράξης εφαρμόστηκαν σύγχρονα και καινοτόμα μέτρα προστασίας στα δύο συνεργαζόμενα μουσεία που δημιουργούν ένα δίκτυο προστασίας για τα πολύτιμα εκθέματα λειτουργώντας παράλληλα τόσο στο επίπεδο της πρόληψης, όσο και μέσω του άμεσου περιορισμού επικίνδυνων ρύπων που δύναται να ανιχνευθούν σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Στο παρόν εγχειρίδιο θα αναλυθούν τα μέτρα προστασίας που αναπτύχθηκαν μόνο στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης (IMK) και θα γίνει αναφορά στο συνδυασμό τους με προγενέστερες δράσεις της συναφούς πράξης ΜΟΥΣΕΙΑ που ολοκληρώθηκε το 2015.

5.1 Σύντομη περιγραφή του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης

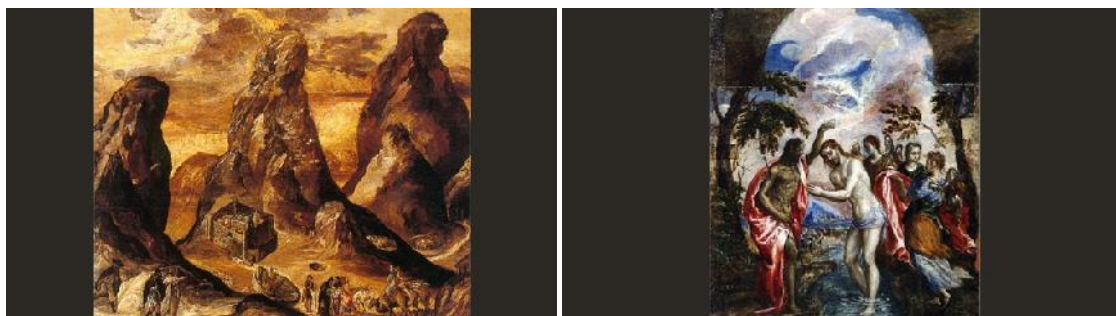
Το Ιστορικό Μουσείο Κρήτης βρίσκεται στο λιμάνι του Ηρακλείου (Σοφοκλή Βενιζέλου 27 / Λυσιμάχου Καλοκαιρινού 7) και απέχει 4 χιλιόμετρα από το Αεροδρόμιο Νίκος Καζαντζάκης, 1 χιλιόμετρο από το Λιμένα Ηρακλείου και 800 μέτρα από τον σταθμό των ΚΤΕΛ Ηρακλείου. Βρίσκεται στην παραλιακή οδό, μόλις 500 μέτρα από το κέντρο της πόλης.



Εικόνα 8: Το IMK όπως φαίνεται από την παραλιακή οδό.

Το μουσείο δέχεται επισκέπτες τη χειμερινή περίοδο (Νοέμβριος – Μάρτιος) από Δευτέρα έως Σάββατο μεταξύ 09:00 και 15:30 και τη θερινή περίοδο (Απρίλιος – Οκτώβριος) από Δευτέρα έως Σάββατο μεταξύ 09:00 και 17:00. Στο μουσείο διατηρεί μόνιμες εκθέσεις που περιλαμβάνουν εκθέματα από τη Βυζαντινή

εποχή μέχρι σήμερα. Στα αντικείμενα που εκτίθενται περιλαμβάνονται κεραμικά, γλυπτά, νομίσματα ενώ διατηρείται και εθνογραφική συλλογή που περιλαμβάνει αντιπροσωπευτικά αντικείμενα του 19ου και του 20ού αιώνα περισυλλεγμένα από διάσπαρτους οικισμούς του νησιού, ειδικότερα της ανατολικής και της κεντρικής Κρήτης. Στο ΙΜΚ εκτίθενται και δύο πίνακες του Δομήνικου Θεοτοκόπουλου ή Ελ Γκρέκο: Η Άποψη του Όρους και της Μονής Σινά (1570) και η Βάπτισμα του Χριστού (1569).



Εικόνα 9: Η άποψη του Όρους και της Μονής Σινά (αριστερά) και η Βάπτισμα του Χριστού (δεξιά)

5.2 Χαρακτηριστικά των κτιρίων του ΙΜΚ

Το διατηρητέο νεοκλασικό κτίριο που αποτελεί την παλαιότερη πτέρυγα του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης κατασκευάστηκε το 1903 ως οικία του Ανδρέα Λυσιμάχου Καλοκαιρινού, σε σχέδιο του αρχιτέκτονα Κωνσταντίνου Τσαντηράκη. Οι οροφωγραφίες με παραστάσεις της Ιλιάδας και της Οδύσσειας είναι έργο του Αντ. Στεφανόπουλου, «διακοσμητή της εν Αθήναις οικίας Κέλλενεκ». Στην ίδια ακριβώς θέση υπήρχε από το 1870 οικία της οικογένειας Καλοκαιρινού, έργο του αρχιτέκτονα Λύσανδρου Καυταντζόγλου, η οποία πυρπολήθηκε κατά τα γεγονότα της 25ης Αυγούστου 1898. Μεταξύ των θυμάτων ήταν ο Λυσιμάχος Α. Καλοκαιρινός και άλλα μέλη της οικογένειας. Κατά τη δεκαετία του 1970 το Ιστορικό Μουσείο Κρήτης, μετά από δωρεά οικοπέδου από τον Ανδρέα Γ. Καλοκαιρινό και με χρηματοδότηση των Ιδρυμάτων Α. & Μ. Καλοκαιρινού, επεκτάθηκε με την ανέγερση νέας πτέρυγας, εγχείρημα συνδυασμού της μοντέρνας με την νεοκλασική αρχιτεκτονική.



Εικόνα 10: Η νέα πτέρυγα του ΙΜΚ.

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» (με χρηματοδότηση των Ιδρυμάτων Α. & Μ. Καλοκαιρινού και μέσω συγχρηματοδοτούμενων προγραμμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης). Σήμερα η συνολική στεγασμένη εκθεσιακή επιφάνεια του Μουσείου είναι 1500 τ.μ. κατανεμημένη σε 25 χώρους, που καλύπτουν ιστορία δεκαεπτά αιώνων.

5.3 Εφαρμογή μέτρων αποτύπωσης και παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα

Η διαμόρφωση και οι δράσεις του ΙΜΚ έχουν ως βασικό στόχο να αναδείξουν τη σύγχρονη ιστορία της Κρήτης από τους πρώτους Χριστιανικούς χρόνους έως σήμερα. Στις κύριες και περιοδικές συλλογές φιλοξενούνται αντικείμενα από ευπαθή υλικά, όπως χαρτί, δέρμα, ξύλο, φωτογραφικό φιλμ, υφάσματα κλπ. Παράλληλα στις αποθήκες του μουσείου φυλάσσεται σημαντικός αριθμός έργων τέχνης από παλαιότερες εκθέσεις. Η ανάπτυξη μέτρων προστασίας από την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση σε καλή κατάσταση όλων αυτών των αντικειμένων υψηλής πολιτιστικής αξίας που συνδέονται άμεσα με την ιστορία του Ελληνικού έθνους. Οι δράσεις βελτίωσης της ποιότητας του αέρα και προστασίας των υλικών στηρίχθηκαν στη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4 και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

5.3.1 Αποτύπωση υφιστάμενης κατάστασης στους εσωτερικούς χώρους του ΙΜΚ

Η μελέτη για τον προσδιορισμό και το χαρακτηρισμό των συγκεντρώσεων των επικίνδυνων ρυπαντών εντός του ΙΜΚ αλλά και των πιθανών επιπτώσεων σε ευπαθή υλικά έγινε μέσω εντατικών δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν τις θερινές περιόδους των ετών 2018 και 2019 συνολικής διάρκειας 12 εβδομάδων. Επιλέχθηκαν οι δύο αυτοί περίοδοι καθώς συμπίπτουν με τις περιόδους που συναντάται στο ΙΜΚ η μεγαλύτερη προσέλευση επισκεπτών. Τα αποτελέσματα συνδυάστηκαν με ευρήματα από προηγούμενες μελέτες στο ΙΜΚ (Πράξεις: ΜΟΥΣΕΙΑ-Πρόγραμμα Διασυνοριακής Συνεργασίας Ελλάδα-Κύπρος, 20070-2013, Θαλής-Πρόγραμμα για την Ενίσχυση της Διεπιστημονικής Έρευνας και Καινοτομίας και MASTER, EU – PROJECT EVK4-CT-2002-00093). Έμφαση δόθηκε σε εντατικές μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων και στην ανάλυση μικροβιακών και σωματιδιακών επικαθίσεων σε πραγματικά εκθέματα και φίλτρα. Πιο συγκεκριμένα, οι δειγματοληψίες περιλάμβαναν συνεχείς μετρήσεις διάρκειας 9 εβδομάδων (6 εβδομάδες το 2018 και 3 εβδομάδες το 2019) μάζας και αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων ρύπων (CO₂, VOCs το 2018 και CO₂, VOCs, O₃ το 2019). Επιπλέον διεξήχθησαν 12 δειγματοληψίες (6 το 2018 και 6 το 2019) μέτρησης αιωρούμενων μικροοργανισμών (βακτήρια και μύκητες). Στις δειγματοληψίες των ετών 2018 και 2019:

- Τοποθετήθηκαν όργανα μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων (συγκέντρωση μάζας και αριθμού) για εβδομαδιαία καταγραφή με χρονικό βήμα 2 λεπτών.

- Τοποθετήθηκαν όργανα μέτρησης πτητικών οργανικών ενώσεων και όζοντος για εβδομαδιαία καταγραφή με χρονικό βήμα 2 λεπτών.
- Πραγματοποιήθηκε συλλογή μικροβιακών επικαθίσεων από πραγματικά έργα τέχνης.
- Επιπλέον: Τοποθετήθηκαν «ελεύθερα» φίλτρα συλλογής σωματιδίων (εντός και εκτός προθηκών) με στόχο τον προσδιορισμό ιόντων, μετάλλων, στοιχειακού και οργανικού άνθρακα και μικροβιακών επικαθίσεων. Χρόνος έκθεσης 6-9 μήνες.

5.3.3 Σημεία δειγματοληψιών εντός του ΙΜΚ

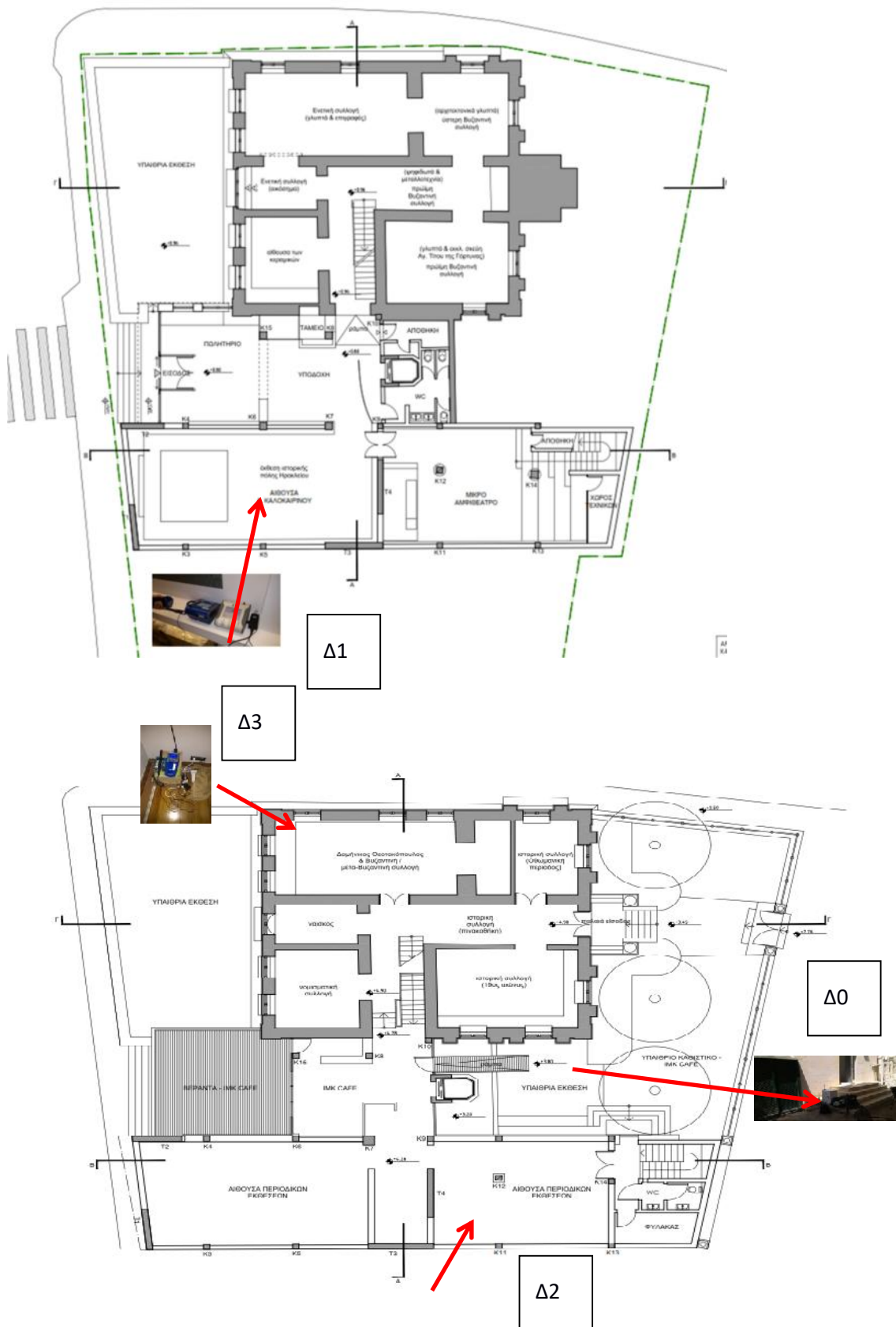
Για τις δειγματοληψίες επιλέχθηκαν, μετά από μελέτη των χώρων του μουσείου, τρία σημεία που βρίσκονται σε δύο διαφορετικούς ορόφους του κτιρίου. Πραγματοποιήθηκαν επίσης μετρήσεις μάζας αιωρούμενων σωματιδίων και μικροβιακού φορτίου στον εξωτερικό χώρο, στον 1^ο όροφο του κτιρίου (Σημείο Δ0). Τα τρία βασικά σημεία δειγματοληψίας είναι:

1) Αίθουσα Α. Καλοκαιρινού, ισόγειο (Σημείο Δ1). Επιλέχθηκε γιατί βρίσκεται πολύ κοντά στην κεντρική είσοδο του μουσείου και δέχεται την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος. Είναι ο εκθεσιακός χώρος στον οποίο εισέρχονται αρχικά σχεδόν όλοι οι επισκέπτες του μουσείου. Τοποθετήθηκαν όργανα συνεχούς καταγραφής μάζας σωματιδίων PM₁₀, αριθμού ΑΣ σε διαφορά μεγέθη μεταξύ 0,3 – 10 μm, όζοντος, διοξειδίου του άνθρακα και πτητικών οργανικών ενώσεων.

2) Αίθουσα El Greco, 1^{ος} όροφος (Σημείο Δ2). Στην αίθουσα αυτή εισέρχεται μεγάλο μέρος των επισκεπτών του μουσείου, καθώς εκτίθενται εκεί οι δύο πίνακες του Ελ Γκρέκο. Τους καλοκαιρινούς μήνες δέχεται την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος λόγω της πόρτας που οδηγεί στο υπαίθριο καφέ και παραμένει για μεγάλα διαστήματα ανοικτή. Τοποθετήθηκαν όργανα συνεχούς καταγραφής μάζας σωματιδίων PM₁₀ και ελεύθερα φίλτρα για συλλογή σωματιδιακών και μικροβιακών επικαθίσεων.

3) Αίθουσα Ζ. Πορταλάκη, 1^{ος} όροφος (Σημείο Δ3). Στην αίθουσα αυτή εισέρχεται ένας σημαντικός αριθμός επισκεπτών καθώς φιλοξενεί 65 φορητές εκκλησιαστικές εικόνες (μεταξύ 15ου-αρχές 20ου αιώνα), που δωρίστηκαν στο Μουσείο το 2014 από το Ζαχαρία Πορταλάκη. Πρόκειται για εκκλησιαστικά κειμήλια μεγάλης πολιτιστικής αξίας, που είναι ιδιαίτερα ευπαθή στους αερίους ρύπους και το φως. Λόγω της καταστροφικής επίδρασης του φωτός (αλλά και για αισθητικούς λόγους) η αίθουσα διατηρείται σκοτεινή και ανάβουν μικρής έντασης λαμπτήρες μόνο σε περίπτωση που πρέπει να πραγματοποιηθεί καθαρισμός ή εργασίες συντήρησης. Βρίσκεται πιο μακριά σε σχέση με τις άλλες αίθουσες από την εξωτερική πόρτα του ορόφου και δέχεται τη μικρότερη επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον. Τοποθετήθηκαν όργανα συνεχούς καταγραφής αριθμού και μάζας ΑΣ σε διαφορά μεγέθη μεταξύ 0,3 – 10 μm, όζοντος και πτητικών οργανικών ενώσεων και ελεύθερα φίλτρα για συλλογή σωματιδιακών και μικροβιακών επικαθίσεων.

Τα σημεία των δειγματοληψιών παρουσιάζονται στις παρακάτω κατόψεις του ισογείου και του 1^{ου} ορόφου του ΙΜΚ.



Εικόνα 11: Σημεία δειγματοληψίας στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης

Για την προστασία των χώρων του ΙΜΚ από τα αιωρούμενα σωματίδια, τοποθετήθηκαν στο πλαίσιο της πράξης ΜΟΥΣΕΙΑ, καθαριστές αέρα με δυνατότητα απομάκρυνσης σωματιδίων και παθογόνων μικροοργανισμών. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι φωτοκαταλυτικοί ιονιστές MC70L της εταιρείας Daikin. Οι

ιονιστές λειτουργούν σε διάφορα επίπεδα παροχής αέρα (από 15,1 L/s έως 116,6 L/s) με αυξημένη κατανάλωση ρεύματος και επίπεδα θορύβου όσο αυξάνεται η παροχή αέρα. Κάθε ιονιστής μπορεί να ανανεώνει τον αέρα σε χώρο έως 46 m² σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Στις αίθουσες Α. Καλοκαιρινού (Δ1) και Ζ. Πορταλάκη (Δ3) ήταν τοποθετημένοι 4 ιονιστές ανά αίθουσα, που λειτουργούσαν μόνο τις ώρες που το μουσείο ήταν ανοικτό για τους επισκέπτες στο χαμηλότερο επίπεδο λειτουργίας για τη μείωση του θορύβου. Οι ιονιστές χρησιμοποιούνται όπως αναφέρθηκε στο χαμηλότερο επίπεδο δυνατότητας ανανέωσης του αέρα λόγω μείωσης του θορύβου αλλά και λόγω της μειωμένης ενεργειακής κατανάλωσης. Το Καλοκαίρι του 2019 τοποθετήθηκαν δοκιμαστικά στις αίθουσες El Greco και Πορταλάκη ιονιστές πλάσματος με δυνατότητα μείωσης των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών, αλλά χωρίς χρήση φίλτρων. Η λειτουργία τους επομένως δεν αναμενόταν να επηρεάσει τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Κατά τη δοκιμαστική περίοδο χρήσης τους δεν λειτουργούσαν οι ιονιστές της εταιρείας Daikin. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα σημαντικότερα ευρήματα, που οδήγησαν στην επιλογή και ανάπτυξη των κατάλληλων μέτρων προστασίας.

5.3.4 Βασικά συμπεράσματα της μελέτης για την ποιότητας του αέρα στο ΙΜΚ

Οι μέσες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ ήταν υψηλότερες στο εξωτερικό περιβάλλον, όπως είναι αναμενόμενο. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων γύρω από τα κτίρια του ΙΜΚ επηρεάζονται τόσο από ανθρωπογενείς πηγές (εκπομπές από τα γειτονικά εστιατόρια, κίνηση των αυτοκινήτων) αλλά και φυσικές πηγές (μεταφορά από τη θάλασσα, σκόνη από τις γειτονικές παραλίες). Στους εσωτερικούς χώρους του ΙΜΚ οι στιγμιαίες συγκεντρώσεις σπάνια υπερβαίνουν τα 30 μg/m³ και συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 15-25 μg/m³. Πρέπει να σημειωθεί ότι από την Ελληνική νομοθεσία δεν έχουν θεσπιστεί όρια συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (αλλά και αέριων ρύπων) σε κανένα μη βιομηχανικό εσωτερικό χώρο (Settimo et al., 2020). Παρόλο που οι πιθανές επιπτώσεις των αιωρούμενων (ανάλογα το σχήμα, τη χημική σύσταση, το πιθανό μικροβιακό φορτίο) είναι καταγεγραμμένες από πολλές μελέτες, σε ελάχιστες περιπτώσεις έχουν τεθεί σαφή κατώτερα όρια συγκέντρωσης και γενικά συστήνεται να διατηρούνται οι τιμές χαμηλά, κοντά στις συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν στο ΙΜΚ. Ακόμα όμως και σε αυτές τις συγκεντρώσεις, οι μακροχρόνιες επιδράσεις σε ευπαθή έργα τέχνης μπορεί να είναι ιδιαίτερα καταστροφικές (Din et al., 2016).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η μείωση των τιμών των PM₁₀ στις αίθουσες που ήταν εγκατεστημένοι φωτοκαταλυτικοί ιονιστές με χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων (Daikin MC70L). Η χρήση τους, για λόγους μείωσης του κόστους λειτουργίας τους, περιοριζόταν στις ώρες που το μουσείο ήταν ανοικτό για τους επισκέπτες. Η μείωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν εμφανής, ακόμα και με τη λειτουργία των ιονιστών στο μικρότερο επίπεδο παροχής αέρα. Μετά το πέρας της λειτουργίας τους όμως οι συγκεντρώσεις αυξανόταν και σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσίαζαν τις υψηλότερες ημερήσιες τιμές μετά τις 21:00 λόγω της διεύδυσης σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον που προερχόταν από εκπομπές από τα γειτονικά εστιατόρια. Η μελέτη της αριθμητικής συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων έδειξε ότι

η παρουσία επισκεπτών έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μεγάλου μεγέθους σωματιδίων (χονδρά σωματίδια, >2.5 μm) από το εξωτερικό περιβάλλον και επαναιώρηση ήδη εναποτιθέμενων σωματιδίων λόγω της κίνησης των ατόμων. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση του συνολικού ημερήσιου αριθμού των επισκεπτών με τις μέσες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων δείχνει ότι πρέπει να μελετηθεί ο αριθμός των ατόμων σε κάθε αίθουσα σε συνάρτηση με στιγμιαίες αυξήσεις της συγκέντρωσης, ειδικά των χονδρών σωματιδίων.

Οι σωματιδιακές επικαθίσεις σε φίλτρα έδειξαν ότι ακόμα και εντός των προθηκών έχουμε εναπόθεση σωματιδίων σε επιφάνειες εκθεμάτων. Γενικά τα σωματίδια στους εσωτερικούς χώρους το μουσείου έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε Na και Cl και επομένως προέρχονται από τη θάλασσα που είναι κοντά στο μουσείο. Διαπιστώθηκε επίσης η παρουσία υλικών από το φλοιό της γης που σχετίζεται με χονδρά σωματίδια από τις γειτονικές παραλίες. Στα μικρά σωματίδια ανιχνεύθηκαν νιτρικές ενώσεις που σχετίζονται με σωματίδια από εκπομπές αυτοκινήτων και θεικές ενώσεις, των οποίων η πηγή πρέπει να προσδιοριστεί.

Οι αέριοι ρύποι που μελετήθηκαν ήταν το όζον (O₃) και οι ολικές πτητικές οργανικές ενώσεις (TVOCs). Το όζον παρουσίασε υψηλές τιμές μόνο κοντά την είσοδο του μουσείου, η οποία δέχεται σημαντική επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον. Αντίθετα σε όλους τους χώρους του μουσείου που έγιναν μετρήσεις, οι τιμές των TVOCs ήταν σε πολλές περιπτώσεις σταθερά μεγαλύτερες από 200 ppb. Διάφοροι διεθνείς οργανισμοί και ινστιτούτα έχουν προτείνει συγκεντρώσεις TVOCs σε χώρους με ευπαθή υλικά μικρότερες από 100 ppb (Grzywacz, 2006).

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των βακτηριακών κοινοτήτων των μικροβιακών επικαθίσεων σε ευπαθή υλικά, παρατηρήθηκε μεγάλη ποικιλομορφία μεταξύ των δειγμάτων, καθώς μόνο το 60% των ταυτοποιημένων βακτηριακών γενών ήταν κοινά σε όλα τα έργα τέχνης που μελετήθηκαν. Η υψηλή επισκεψιμότητα, όπως αυτή που χαρακτηρίζει τα μουσεία, αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθορισμού του βακτηριακού προφίλ των εσωτερικών χώρων, καθώς τόσο ο αέρας όσο και η σκόνη του πατώματος αποτελούν σημαντικές δεξαμενές ανθρωπογενών βακτηρίων (Hospodsky et al., 2012). Πράγματι, πολλά από τα πιο συχνά απαντώμενα γένη της παρούσας μελέτης όπως *Kocuria*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* και *Paracoccus*, είναι γνωστά βακτήρια ανθρωπογενούς προέλευσης (Kasmanas et al., 2021).

Τα φύλα Ακτινοβακτήρια, Firmicutes και Πρωτεοβακτήρια ήταν τα τρία πιο συχνά απαντώμενα φύλα που ταυτοποιήθηκαν. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν σε άλλες προηγούμενες μελέτες (πέτρινα μνημεία: Li et al., 2018, πίνακας: López-Miras et al., 2013, τοιχογραφία: Diaz-Herrera, 2014). Παράλληλα, το ξύλινο ακρόπρωρο ήταν το αντικείμενο με τα περισσότερα βακτηριακά γένη. Τα ξύλινα έργα τέχνης είναι γνωστό ότι ευνοούν τον εποικισμό των βακτηρίων λόγω της πορώδους δομής τους και του διαθέσιμου οργανικού άνθρακα (Clausen 1996).

Η έκθεση πανομοιότυπων φίλτρων σε διαφορετικές αίθουσες έδωσε τη δυνατότητα της μελέτης των περιβαλλοντικών επιδράσεων στις μικροβιακές επικαθίσεις. Παρόλο που παρατηρήθηκαν διαφορές στη σχετική αφθονία συγκεκριμένων ταξινομικών μονάδων, τα δείγματα των φίλτρων από τις αίθουσες El Greco

και Ζ. Πορταλάκη δεν μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν σε στατιστικά διακριτές ομάδες. Το ίδιο παρατηρήθηκε για τα δείγματα της συνθετικής ρητίνης από τις ίδιες αίθουσες. Επιπλέον, στατιστικά σημαντική ομαδοποίηση των δειγμάτων παρατηρήθηκε μόνο ανά υλικό επιφανείας και όχι ανά αίθουσα. Τα αποτελέσματα αυτά συνηγορούν υπέρ της σημασίας του υποστρώματος στο προφίλ των βακτηριακών μεταγονιδιωμάτων όταν μελετώνται εσωτερικοί χώροι με συγκρίσιμα χαρακτηριστικά. Ενδιαφέρουσα ήταν η μη απομόνωση ανιχνεύσιμης ποσότητας μικροβιακού DNA από τα δείγματα της επιφάνειας ενός πίνακα El Greco που φυλάσσεται σε προθήκη. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της ποιότητας του αέρα στη συντήρηση των ευπαθών έργων τέχνης και την προστασία που παρέχουν οι προθήκες σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς.

Συμπερασματικά, η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του ΙΜΚ είναι καλή και οι τιμές των αέριων και σωματιδιακών ρύπων κυμαίνονται εντός ορίων που προτείνονται από διεθνείς οργανισμούς. Επιπλέον τα μέτρα που λήφθηκαν στο πλαίσιο της πράξης ΜΟΥΣΕΙΑ που προηγήθηκε του ΜΟΥΣΕΙΑ II συνέβαλλαν στη μείωση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών. Όμως λόγω των ιδιαίτερα ευπαθών υλικών που φιλοξενούνται στο ΙΜΚ, κρίθηκε να γίνουν στοχευμένες βελτιώσεις και επιπλέον να επεκταθεί η προστασία των αντικειμένων υψηλής πολιτιστικής αξίας στον τομέα της πρόληψης με την εγκατάσταση καινοτόμου συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Το σύστημα παρακολούθησης και τα μέτρα προστασίας παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

5.3.5 Σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα

Οι διαδικασίες που συνδέονται με την προστασία των εκθεμάτων σε χώρους έκθεσης διακρίνονται α) σε ενέργειες που αφορούν τον έλεγχο των μικροπεριβαλλοντικών συνθηκών και την απευθείας μείωση της συγκέντρωσης αέριων ρύπων σε εσωτερικούς χώρους, β) στη δημιουργία χώρων προστασίας από τους αέριους ρύπους (προθήκες, ειδικά δωμάτια) γ) σε δράσεις που συνδέονται με την παρακολούθηση επικίνδυνων ρύπων και δημιουργία προειδοποιήσεων σε περιπτώσεις υπερβάσεων προκαθορισμένων ορίων. Λόγω των ιδιοτήτων που έχουν οι χώροι έκθεσης, υπάρχουν απαιτήσεις σχετικά με το μέγεθος, την εμφάνιση και τη λειτουργία (χαμηλά επίπεδα θορύβου) των συστημάτων παρακολούθησης με αποτέλεσμα αυτά να περιορίζονται στη χρήση παθητικών αισθητήρων μικρού μεγέθους (Blades, 2004, Grzywacz, 2006. Σημαντικά μειονεκτήματα παρόμοιων συστημάτων είναι α) η ακρίβεια που παρέχουν αναφορικά με τις συγκεντρώσεις αέριων ρύπων, β) η έλλειψη δυνατοτήτων συνεχούς καταγραφής δεδομένων, γ) η έλλειψη δυνατότητας μετάδοσης των τιμών των αέριων ρύπων. Τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί σημαντικά οι δυνατότητες ενσύρματης και ασύρματης μετάδοσης μεγάλου όγκου δεδομένων, ενώ υπάρχει η τάση της δικτύωσης μεγάλου αριθμού συσκευών και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο της λειτουργίας τους μέσω αποστολής πληροφοριών που συλλέγουν (Internet of things). Οι εξελίξεις αυτές επηρεάζουν και τον τρόπο με τον οποίο μελετάται η ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους και έχουν πολλαπλασιαστεί οι προσπάθειες δημιουργίας σύγχρονων συστημάτων παρακολούθησης που

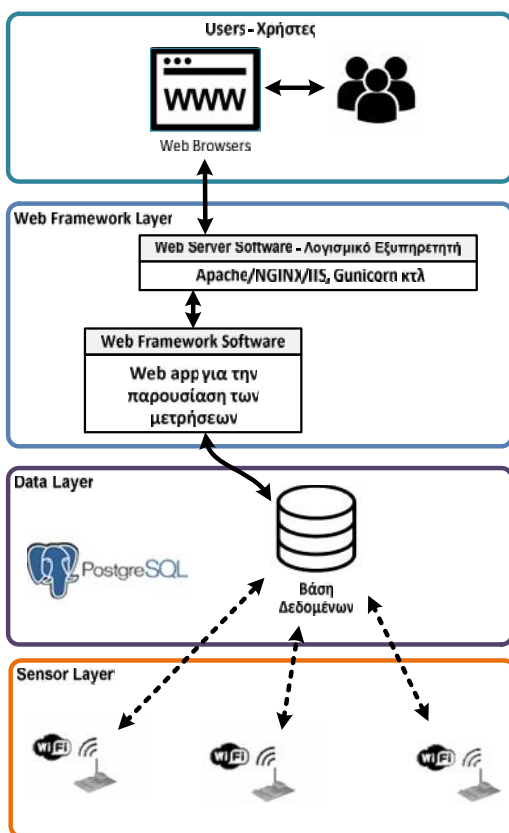
εκμεταλλεύονται τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις (Schieweck, 2018). Επιπλέον έχουν αναπτυχθεί σύγχρονοι αισθητήρες χαμηλού κόστους και μικρού μεγέθους με δυνατότητες συνεχούς καταγραφής δεδομένων και αποστολής σε πραγματικό χρόνο (Kumar et al., 2016, Morawska et al., 2018). Τα συστήματα παρακολούθησης που αναπτύχθηκαν στην πράξη ΜΟΥΣΕΙΑ II εκμεταλλεύονται τις σύγχρονες τεχνολογίες και αποτελούν καινοτόμες λύσεις που δεν έχουν εφαρμοστεί σε άλλους εκθεσιακούς χώρους σε Ελλάδα και Κύπρο. Πιο συγκεκριμένα αναπτύχθηκαν παράλληλα δύο συστήματα (από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου και το Πολυτεχνείο Κρήτης) τα οποία έχουν εγκατασταθεί στο Βυζαντινό Μουσείο (BM) και στο ΙΜΚ. Τα δύο συστήματα στηρίζονται στη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και στην αποθήκευση τους σε βάσεις δεδομένων, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Η διαφορά των δύο συστημάτων έγκειται στο είδος των αισθητήρων που χρησιμοποιούν. Το σύστημα του ΤΕΠΑΚ χρησιμοποιεί δοσιμετρικούς σωλήνες αλλαγής χρώματος για την παρακολούθηση των σημαντικότερων αέριων ρύπων. Στο σύστημα του Πολ. Κρήτης έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες χαμηλού κόστους για την παρακολούθηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων και βασικών αέριων ρύπων. Μελλοντικά θα γίνει τοποθέτηση και των δύο συστημάτων και στα δύο μουσεία. Βασική καινοτομία του συστήματος του ΤΕΠΑΚ είναι ο τρόπος καταγραφής της μεταβολής των συγκεντρώσεων με χρήση κάμερας υψηλής ευκρίνειας και η δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και μέσω κινητού τηλεφώνου των περιβαλλοντικών συνθηκών και των τιμών των αέριων ρύπων εντός του BM.

Στο σύστημα του ΙΜΚ χρησιμοποιούνται αισθητήρες των οποίων η λειτουργία στηρίζεται είτε στη μεταβολή κάποιας ηλεκτρικής ιδιότητας (χωρητικότητας, αγωγιμότητας, αντίστασης) και την παραγωγή ηλεκτρικού σήματος για την παρακολούθηση των αέριων ρύπων, είτε στην ανίχνευση της σκεδαζόμενης μονοχρωματικής ακτινοβολίας για την παρακολούθηση των μεταβολών της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι αέριοι ρύποι που καταγράφονται είναι οι ολικές πτητικές οργανικές ενώσεις (TVOCs) και η φορμαλδεΐδη (HCHO). Ειδικά για τα TVOCs, οι δειγματοληψίες που προηγήθηκαν έδειξαν συγκεντρώσεις υψηλότερες των 100 ppb με αποτέλεσμα να κρίνεται απαραίτητη η παρακολούθησή τους. Οι επιπτώσεις της HCHO σε ευπαθή υλικά έχουν αποτυπωθεί σε πολλές μελέτες (Brimblecombe 1990, Sharif-Askari, H. και Abu-Hijleh, B., 2018). Επιπλέον παρακολουθείται και καταγράφεται το CO₂, το οποίο δεν αποτελεί ρύπο αλλά συνδέεται σε επιβαρυμένο εσωτερικό περιβάλλον, ειδικά για τους εργαζόμενους σε αυτό (Satish et al., 2012). Καταγράφονται επίσης οι τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Για τους υπόλοιπους αέριους ρύπους που δύναται να απαντηθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις σε εσωτερικά περιβάλλοντα, είτε δεν υπήρχαν διαθέσιμοι ανάλογοι αισθητήρες (π.χ. οξικό και μυρμηκικό οξύ), είτε τα κατώτερα όρια ανίχνευσης των υπαρχόντων αισθητήρων ήταν υψηλότερα από τις συνήθεις συγκεντρώσεις στο ΙΜΚ (οξείδια του αζώτου, SO₂, NH₃, H₂S). Το πρόβλημα αυτών των ρύπων θα αντιμετωπιστεί μελλοντικά με την ενσωμάτωση του συστήματος παθητικών αισθητήρων του BM.

Η αξιολόγηση των αισθητήρων με πρότυπα όργανα σε εργαστηριακούς χώρους του ΙΜΚ έδειξε ότι αποτυπώνουν με ακρίβεια την τάση των μεταβολών των συγκεντρώσεων των ρύπων. Απαιτείται διόρθωση

στις τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, η οποία θα παρέχεται από το Πολ. Κρήτης μέσω προγραμματισμένων εξαμηνιαίων μετρήσεων με φορητά όργανα στο ΙΜΚ. Οι διορθώσεις γίνονται άμεσα στη βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται όλες οι τιμές.

Η χρήση της πλατφόρμας Arduino για την υλοποίηση του συστήματος, παρείχε σταθερότητα στη λειτουργία και εξαιρετική επικοινωνία των κόμβων με τους αισθητήρες με τον εξυπηρετητή (server) όπου συλλέγονται οι τιμές. Σημαντικό ρόλο στην εξαιρετική ασύρματη σύνδεση έπαιξε και η εκτεταμένη αναβάθμιση του ασύρματου δικτύου στους εσωτερικούς χώρους του μουσείου, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της πράξης. Ο κόμβος αισθητήρων που τοποθετήθηκε εκτός του μουσείου παρέχει και την εικόνα του εξωτερικού περιβάλλοντος, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με άμεσες πρωτοβουλίες του προσωπικού του ΙΜΚ για την προστασία των εκθεμάτων από την αέρια ρύπανση.



Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική διαδικτυακού συστήματος ποιότητας αέρα, μορφή βάσεων δεδομένων και αλληλεπίδραση με τους χρήστες του συστήματος.

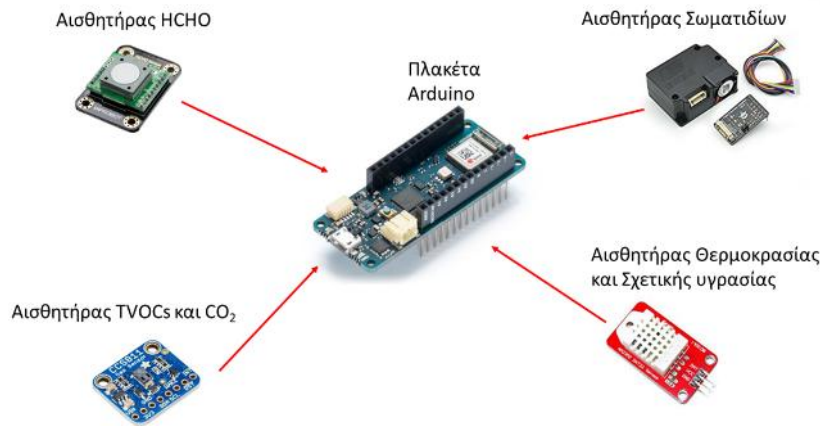
Τέλος η χρήση καμερών με λογισμικό αποτύπωσης του αριθμού των επισκεπτών σε συγκεκριμένους χώρους του μουσείου βοηθάει στη σύνδεση της κίνησης των επισκεπτών με στιγμιαίες μεταβολές των τιμών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και των πτητικών οργανικών ενώσεων. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στην άμεση διαχείριση των επισκεπτών εντός του μουσείου και στη μείωση των βραχυχρόνιων επεισοδίων ρύπανσης, τα οποία δεν ήταν δυνατό να ανιχνευθούν με χρήση παλαιότερων τεχνολογιών.

5.3.6 Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης ποιότητας του αέρα στο ΙΜΚ.

Πριν την εγκατάσταση του συστήματος παρακολούθησης πραγματοποιήθηκε εκτενής αναβάθμιση του ασύρματου δικτύου στους εσωτερικούς χώρους του ΙΜΚ. Πιο συγκεκριμένα αναβαθμίστηκαν/δημιουργήθηκαν 14 σημεία πρόσβασης (access points) με σύγχρονο εξοπλισμό σε διάφορα σημεία των κτιρίων και 2 στο εξωτερικό περιβάλλον για να εξασφαλιστεί η ασύρματη κάλυψη σε όλους τους χώρους, καθώς και η απρόσκοπτη αποστολή δεδομένων από τους κόμβους του συστήματος παρακολούθησης. Παρέχεται επιπλέον, μέσω της αναβάθμισης, η δυνατότητα χρήσης φορητών συσκευών (κινητά, tablets, φορητοί Η/Υ) τόσο από το προσωπικό (για την παρακολούθηση του συστήματος), όσο και από τους επισκέπτες (για ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο). Εγκαταστάθηκαν 2 κάμερες με σύγχρονο λογισμικό στις αίθουσες Καλοκαιρινού και El Greco για την καταγραφή των επισκεπτών και τη συσχέτιση τους με τα επίπεδα ρύπανσης σε κάθε χώρο. Υπενθυμίζεται ότι τα δεδομένα της καταγραφής των επισκεπτών στην είσοδο δεν μπορούν να συνδεθούν άμεσα με τις συγκεντρώσεις των ρύπων, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία για τους χώρους που βρίσκονται οι επισκέπτες και τους χρόνους παραμονής σε αυτούς. Μελλοντικά θα εγκατασταθούν κάμερες και σε άλλες αίθουσες. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες συλλέγονται, επεξεργάζονται και αποθηκεύονται σε σταθμό εργασίας που εγκαταστάθηκε στον τελευταίο όροφο της νέας πτέρυγας του ΙΜΚ.

Έχουν εγκατασταθεί συνολικά 6 κόμβοι (εικόνα 6.4) που ο καθένας αποτελείται από:

- Πλακέτα Arduino πάνω στην οποία έχει γίνει η σύνδεση όλων των αισθητήρων μέτρησης αέριων και σωματιδιακών ρύπων. Η πλακέτα περιλαμβάνει επιπλέον μπαταρία, κάρτα μνήμης και τις απαραίτητες θύρες σύνδεσης με τα υπόλοιπα εξαρτήματα.
- Αισθητήρα μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων SEN0177 (DFRobot).
- Αισθητήρα μέτρησης φορμαλδεΐδης SEN0231 (DFRobot).
- Αισθητήρα μέτρησης ολικών πτητικών οργανικών ενώσεων (TVOCs) και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), CCS811 (Adafruit).
- Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας.



Εικόνα 13: Στοιχεία των κόμβων που εγκαταστάθηκαν στο IMK.

Οι κόμβοι εγκαταστάθηκαν στην αίθουσα Καλοκαιρινού, στην αίθουσα El Greco, στο χώρο της εθνογραφικής συλλογής, στην αίθουσα Πορταλάκη, στην αποθήκη φύλαξης έργων τέχνης και στο χώρο του εξωτερικού καφέ (εικόνα 6.5). Μελλοντικά και ανάλογα με την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται θα εγκατασταθούν και άλλοι κόμβοι σε άλλους χώρους του IMK. Επιπλέον θα εγκατασταθούν και τα συστήματα μέτρησης αέριων ρύπων με παθητικούς αισθητήρες που βρίσκονται στο ΒΜ και θα συνδεθούν με τον εξυπηρετητή του IMK. Οι θέσεις των κόμβων μέσα στους χώρους του IMK παρουσιάζονται στις παρακάτω κατόψεις των κτιρίων του μουσείου.

5.4. Εγκατάσταση μέτρων προστασίας των εκθεμάτων εντός των προθηκών

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 IMK. Οι βελτιώσεις που περιγράφονται παρακάτω θα αποτελέσουν οδηγό για την εφαρμογή ανάλογων μέτρων και στις υπόλοιπες αίθουσες του IMK. Η μελέτη για τη βελτίωση των υφιστάμενων προθηκών και τη μετατροπή τους σε μικροκλιματικές έγινε από το προσωπικό του IMK, 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 IMK. 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 τοποθετήθηκαν 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 υπάρχων 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 κυτίο 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 αντανακλάσεις 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.

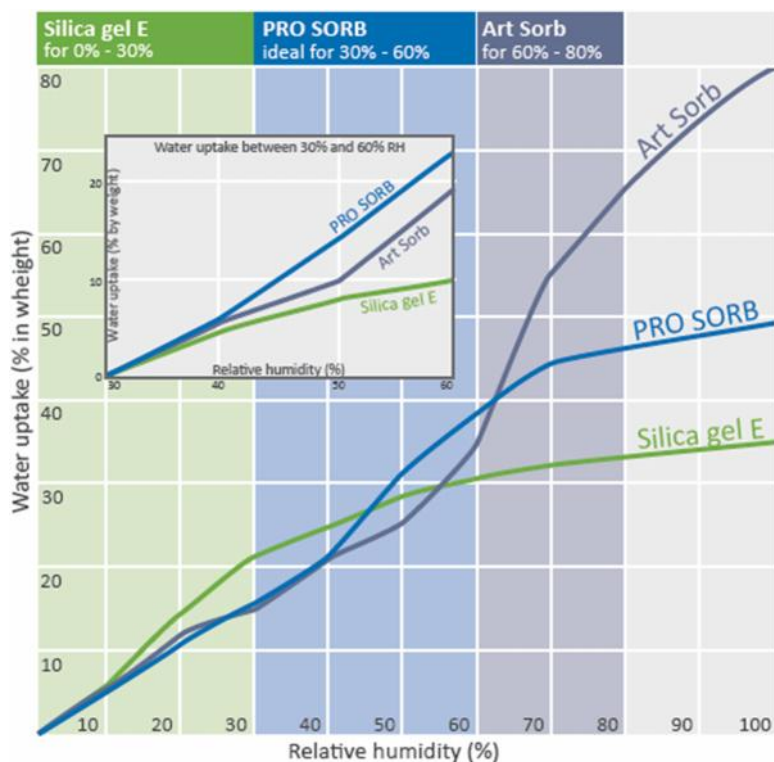
5.4.6 Ρυθμιστές της υγρασίας

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 1: 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 0,3m³ απαιτούνται περίπου 2,4 πλακίδια.



Εικόνα 14: 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.

5.5 Συμπεράσματα.

Συμπερασματικά αναφέρουμε πως τα μέτρα που λήφθηκαν βελτιώνουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του ΙΜΚ καθώς:

- Ο έλεγχος της σχετικής υγρασίας εντός των προθηκών μειώνει σημαντικά τις συγκεντρώσεις επικίνδυνων μικροοργανισμών που ευνοούνται από υψηλά επίπεδα υγρασίας.
- Το αναβαθμισμένο σύστημα κλιματισμού μειώνει την εισροή σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον και συμβάλλει στον έλεγχο της σχετικής υγρασίας στον 2^ο και στον 3^ο όροφο του μουσείου.
- Η τοποθέτηση συστημάτων απορρόφησης των επικίνδυνων πτητικών οργανικών ενώσεων εντός των προθηκών σε συνδυασμό με τη χρήση υλικών χαμηλών εκπομπών μειώνουν αισθητά το κίνδυνο φθοράς των ευπαθών υλικών.
- Η τοποθέτηση αεροστεγών ταινιών στην προθήκη των πινάκων του El Greco μειώνει την εισροή μικρών σωματιδίων και την επικάθηση τους στα εκθέματα.
- Το σύστημα παρακολούθησης με αισθητήρες χαμηλού κόστους δίνει τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης σε περιπτώσεις υπερβάσεων ορίων και αναγνώρισης βραχυχρόνιων επεισοδίων ρύπανσης που στο παρελθόν δεν ήταν ανιχνεύσιμα. Επιπλέον παρέχεται η δυνατότητα παρακολούθησης αέριων ρύπων με χρήση δοσιμετρικών σωλήνων μέσω του συστήματος του BM.
- Η αναλυτική αποτύπωση του μικροβιακού φορτίου στον αέρα των εσωτερικών χώρων του ΙΜΚ αλλά και πάνω σε πραγματικά εκθέματα από διαφορετικά υλικά παρέχει ένα χρήσιμο εργαλείο στους συντηρητές για τη σωστή επιλογή διεργασιών προστασίας και διατήρησης εκθεμάτων από ευπαθή υλικά. Επιπλέον το συμπέρασμα ότι η πλειονότητα των μικροοργανισμών προέρχεται από τον άνθρωπο και το εξωτερικό περιβάλλον βοηθάει στην ορθότερη διαχείριση του αριθμού των επισκεπτών και του χρόνου παρουσίας τους σε κάθε χώρο σε συνδυασμό με τη λειτουργία των ιονιστών.

Ειδικότερα η εγκατάσταση του συστήματος παρακολούθησης καθιστά το ΙΜΚ πρότυπο όσον αφορά την παρακολούθηση των επιπέδων της αέριας ρύπανσης, όχι μόνο σε μουσεία, αλλά γενικότερα σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Η μελλοντική σύνδεση και άλλων χώρων έκθεσης στην κοινή βάση δεδομένων θα βοηθήσει σημαντικά στην ανάπτυξη κοινών στρατηγικών προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς σε Ελλάδα και Κύπρο και θα ανοίξει νέους δρόμους συνεργασίας ανάμεσα στις επιστημονικές κοινότητες των δύο κρατών.

6 Βιβλιογραφία

Blades, N. (2004). Pollutants in the Museum Environment-Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage.

Brimblecombe, P. (1990). The composition of museum atmospheres. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 24(1), 1-8.

Din, S. M., Husin, N. B. M., Othman, R., & Bagul, A. H. B. P. (2016). A Review of the Literature on the Effect of Airborne Particulates Matter Towards Museum Visitors and Museum Artefact. *World Applied Sciences Journal*, 34(12), 1659-1666.

Grzywacz, C. M. (2006). Monitoring for gaseous pollutants in museum environments. Getty Publications.

Kumar, P., Skouloudis, A. N., Bell, M., Viana, M., Carotta, M. C., Biskos, G., & Morawska, L. (2016). Real-time sensors for indoor air monitoring and challenges ahead in deploying them to urban buildings. *Science of the Total Environment*, 560, 150-159.

Morawska, L., Thai, P. K., Liu, X., Asumadu-Sakyi, A., Ayoko, G., Bartonova, A., ... & Williams, R. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?. *Environment international*, 116, 286-299.

Que, Z. L., Wang, F. B., Li, J. Z., & Furuno, T. (2013). Assessment on emission of volatile organic compounds and formaldehyde from building materials. *Composites Part B: Engineering*, 49, 36-42.

Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental health perspectives*, 120(12), 1671-1677.

Schieweck, A., Uhde, E., Salthammer, T., Salthammer, L. C., Morawska, L., Mazaheri, M., & Kumar, P. (2018). Smart homes and the control of indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 705-718.

Settimo, G., Manigrasso, M., & Avino, P. (2020). Indoor air quality: A focus on the European legislation and state-of-the-art research in Italy. *Atmosphere*, 11(4), 370.

Sharif-Askari, H., & Abu-Hijleh, B. (2018). Review of museums' indoor environment conditions studies and guidelines and their impact on the museums' artifacts and energy consumption. *Building and Environment*, 143, 186-195.

Clausen, C.A. Bacterial associations with decaying wood: a review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 1996, 37:101–107.

Diaz-Herraiz, M., Jurado, V., Cuezva, S., Laiz, L., Pallecchi, P., Tiano, P., Sanchez-Moral, S., Saiz-Jimenez, C. Deterioration of an Etruscan tomb by bacteria from the order Rhizobiales. *Scientific Reports*, 2014, 4:3610.

Hospodsky, D., Qian, J., Nazaroff, W.W., Yamamoto, N., Bibby, K., Rismani-Yazdi, H., Peccia, J. Human occupancy as a source of indoor airborne bacteria. *PLoS One*, 2012, 7(4): e34867.

Kasmanas, J.C., Bartholomäus, A., Corrêa, F.B., Tal, T., Jehmlich, N., Herberth, G., von Bergen, M., Stadler, P.F., Carvalho, A.C.P.L.F., Nunes da Rocha, U. HumanMetagenomeDB: a public repository of curated and standardized metadata for human metagenomes. *Nucleic Acids Research*, 2021, 49(D1): D743-D750.

Li, Q., Zhang, B., Yang, X., Ge, Q. Deterioration-associated microbiome of stone monuments: structure, variation, and assembly. *Applied and Environmental Microbiology*, 2018, 84(7), e02680-17.

López-Miras, M.dM., Martín-Sánchez, I., Yebra-Rodríguez, A., Romero-Noguera, J., Bolívar-Galiano, F., et al. Contribution of the microbial communities detected on an oil painting on canvas to its biodeterioration. *PLoS ONE*, 2013, 8(11): e80198.

Brimblecombe, P. 1990. The composition of museum atmospheres. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 24, 1-8.

Camuffo, D. (1998) *Microclimate for Cultural Heritage*, Amsterdam, Elsevier.

Pavlogeorgatos, G. (2003). Environmental parameters in museums. *Building and Environment*, 38, 1457-1462.

Sciurpi, F., Carletti, C., Cellai, G. & Pierangioli, L. (2015). Environmental monitoring and microclimatic control strategies in “La Specola” museum of Florence. *Energy and Buildings*, 95, 190-201.

Tétrault, J., Cano, E., van Bommel, M., Scott, D., Dennis, M., Barthés-Labrousse, M-G., Minel, L., and Robbiola, L (2003). Corrosion of Copper and Lead by Formaldehyde, Formic and Acetic Acid Vapours. *Studies in Conservation* 47 247-250.

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