

# ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΩΝ-ΕΚΘΕΣΙΑΚΩΝ ΧΩΡΩΝ, ΜΟΥΣΕΙΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ

(Α΄ μέρος)

**Ευγενία Σταματοπούλου**

Περιβαλλοντικός Μουσειολόγος  
Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης

Τα κτήρια που στεγάζουν πολιτιστικές χρήσεις (εκθεσιακοί χώροι, μουσεία, ιστορικά κτήρια) είναι κατασκευές με σχεδιαστικές ιδιαιτερότητες που πρέπει να συνδυάζουν τις βέλτιστες συνθήκες τόσο για την προστασία των αντικειμένων όσο και για τη διατήρηση του κελύφους και την άνεση του κοινού. Απαιτείται λεπτομερής και αναλυτικός σχεδιασμός του εσωτερικού περιβάλλοντός τους, που ορίζεται ως βιοκλιματικός σχεδιασμός.

**Σ**ύμφωνα με τον ορισμό του Διεθνούς Συμβουλίου Μουσείων, το Μουσείο είναι «ένα ίδρυμα μόνιμο, μη κερδοσκοπικό, στην υπηρεσία της κοινωνίας και της ανάπτυξής της, ανοικτό στο κοινό. Το Μουσείο κάνει έρευνες σχετικές με τα υλικά τεκμήρια του ανθρώπου και του περιβάλλοντός του, τα συλλέγει, τα διατηρεί, τα δημοσιεύει και ιδίως τα εκθέτει για μελέτη, παιδεία, ψυχαγωγία» (άρθρο 3 του Καταστατικού).<sup>1</sup>

## Πολιτιστικοί χώροι, μουσεία, συλλογές και εσωτερικό περιβάλλον

Μια πιο διευρυμένη έννοια του μουσείου περιλαμβάνει κάθε πολιτιστικό χώρο με τους προαναφερθέντες στόχους, ο οποίος μπορεί να στεγάζεται σε διαφορετικούς τύπους κτηρίων. Μια γενική κατηγοριοποίηση των κτηρίων που στεγάζουν συλλογές ή λειτουργούν με πολιτιστικές χρήσεις είναι: α) Κτήρια που έχουν κατασκευαστεί εξ αρχής για τη χρήση μουσείου και συνεπώς έχουν όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές (εικ. 2), και β) Κτήρια που έχουν επαναχρησιμοποιηθεί, δηλαδή των οποίων η αρχική κατασκευή δεν είχε τη χρήση μουσείου ή πολιτιστικού χώρου (εικ. 1).

Ο ρόλος των «κτηρίων-μουσείων» είναι να διαφυλάσσουν και να προστατεύουν τα αντικείμενα αλλά και να είναι ελκυστικά για το κοινό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω λεπτομερούς και αναλυτικού σχεδιασμού του εσωτερικού τους περιβάλλοντος που ορίζεται ως βιοκλιματικός σχεδιασμός.

Οι ιδεατές περιβαλλοντικές συνθήκες για τη διατήρηση, την προστασία και την ανάδειξη των συλλογών ενός «κτηρίου-μουσείου» συχνά διαφέρουν κατά πολύ από αυτές για τη διατήρηση του κελύφους ή για τις συνθήκες που απαιτούνται για την άνεση του κοινού. Στο σχεδιασμό του εσω-

τερικού περιβάλλοντος αυτών των κατασκευών ακολουθείται στρατηγική πρακτικών που, εκτός των περιβαλλοντικών παραμέτρων, συνδυάζει στοιχεία για την άνεση του κοινού, τη σταθερότητα του κελύφους καθώς και την προστασία και τη διατήρηση των μουσειακών αντικειμένων. Στόχος του σχεδιασμού του εσωτερικού περιβάλλοντος του μουσείου ή της μελέτης βελτιστοποίησης του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι η εξισορρόπηση των αναγκών, με ρεαλιστικό όμως τρόπο, πραγματοποιώντας όπου χρειάζεται ελεγχόμενους συμβιβασμούς. Η μελέτη σχεδιασμού ή και βελτιστοποίησης του εσωτερικού περιβάλλοντος των «κτηρίων-μουσείων» κινείται σε τρεις άξονες: α) Εκτίμηση απαιτήσεων του κτηρίου (κατηγοριοποίηση του κτηρίου, περιβαλλοντικές συνθήκες διατήρησης του κελύφους), β) Εκτίμηση απαιτήσεων της συλλογής (είδος αντικειμένων, κατάσταση συλλογής, περιβαλλοντικές συνθήκες διατήρησης), γ) Εκτίμηση αναγκών του κοινού (αριθμός και ροή επισκεπτών, περιβαλλοντικές συνθήκες άνεσης).

Τα κτήρια-μουσεία, ανάλογα με τον υφιστάμενο έλεγχο του εσωτερικού τους περιβάλλοντος, ανήκουν σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μη τροποποιημένα κτήρια, δηλαδή κτήρια τα οποία δεν έχουν υποστεί κατασκευαστικές ή ηλεκτρομηχανολογικές επεμβάσεις με σκοπό τη βελτιστοποίηση του εσωτερικού τους περιβάλλοντος.
- Προσαρμοσμένα κτήρια, δηλαδή κτήρια των οποίων το εσωτερικό περιβάλλον έχει μελετηθεί καταλλήλως και έχουν εξοπλιστεί με τα απαραίτητα για τη βελτιστοποίησή τους.
- Παλαιά, κοινά κτήρια, με πολλές κατασκευαστικές ατέλειες και χρήση ευπαθών ή ευτελών υλικών.
- Κτήρια (παλαιά ή νέα) κατασκευασμένα εξ αρχής ως χώροι για πολιτιστικές χρήσεις, δηλαδή κατασκευές που ακο-

λουθούν συγκεκριμένες προδιαγραφές για το εσωτερικό περιβάλλον σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

### Εσωτερικό περιβάλλον και προληπτική συντήρηση

Ως εσωτερικό περιβάλλον μουσείου ορίζεται το σύνολο των παραμέτρων που εξασφαλίζουν τη διατήρηση, την προστασία και τη διαφύλαξη των συλλογών. Οι παράμετροι που καθορίζουν το περιβάλλον του μουσείου και επηρεάζουν το κέλυφος, τη συλλογή αλλά και την άνεση του κοινού είναι: α) Οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής όπου βρίσκεται το «κτήριο-μουσείο», β) Η δομή και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτηρίου καθώς και η ύπαρξη σταθερών συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος, γ) Ο τεχνικός εξοπλισμός, όπου υπάρχει εγκαταστημένος, και η διασφάλιση μέσω αυτού σταθερών συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος (θέρμανση, ύγρανση, αερισμός, φωτισμός), δ) Το είδος, η κατάσταση διατήρησης και η χρήση της συλλογής, ε) Ο ανθρώπινος παράγοντας σε σχέση με τη χρήση του «κτηρίου-μουσείου» (κτήρια επισκέψιμα ή κλειστά).



1. Το Μουσείο της Πόλεως των Αθηνών, γνωστό και ως «Παλιό Παλάτι». Το κτήριο ήταν η οικία του Σταματίου Δεκόζη Βούρου, όπου το 1836-1843 διέμεινε το βασιλικό ζεύγος Όθωνα-Αμαλίας.

Η προληπτική συντήρηση περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες και τις πρακτικές που αποσκοπούν στη διατήρηση σε σταθερή φυσική κατάσταση του κελύφους και του περιεχομένου του, καθώς και στη μείωση της ταχύτητας φθοράς ή την ολική αποτροπή της φθοράς.

Η αντίληψη ότι το κτήριο είναι μια στατική δομή, της οποίας το εσωτερικό περιβάλλον είναι μη μεταβλητό και ότι ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός λειτουργεί πάντοτε κατά τον βέλτιστο τρόπο είναι λανθασμένη. Το κτήριο μπορεί να αποτελέσει παράγοντα είτε φθοράς είτε διατήρησης για τα αντικείμενα που στεγάζονται σε αυτό. Η έλλειψη συστηματικής συντήρησης του κελύφους και η φυσική εγκατάλειψη του κτηρίου και των λειτουργιών του οδηγούν στην αστάθεια του εσωτερικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα το εσωτερικό περιβάλλον να λειτουργήσει ως φθοροποιός παράγοντας.

Η καθοδική πορεία διατήρησης του κελύφους είναι αργή και μπορεί να διαρκέσει αρκετά χρόνια χωρίς τα σημάδια φθοράς στα αντικείμενα να είναι εμφανή. Παρ' όλα αυτά, η διάβρωση των αντικειμένων είναι συσσωρευτική, αυξάνεται

προοδευτικά και μπορεί να φτάσει σε επίπεδα μη αναστρέψιμα. Αντίθετα, το κτήριο που διατηρεί σε σταθερές συνθήκες το εσωτερικό περιβάλλον συμβάλλει στη μακροχρόνια διατήρηση των συλλογών ή και του ίδιου του διακόσμου του. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή σταθερότητα, απαιτείται συστηματικός έλεγχος και τεχνικές εφαρμογές στο κέλυφος, που προϋποθέτουν όμως την κατανόηση των λειτουργιών του ως ρυθμιστή του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο συστηματικός έλεγχος εφαρμόζεται στο κέλυφος, στο περιεχόμενο (συλλογές και διάκοσμος) και στις λειτουργίες του κτηρίου.

Ο συστηματικός έλεγχος των παραγόντων φθοράς ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:<sup>2</sup>

- Αποφυγή: Οι πηγές φθοράς πρέπει να αποφεύγονται. Αποφυγή του προβλήματος σημαίνει εντοπισμό του αιτίου στη βάση του και άμεση λύση στην πηγή του.
- Φραγή: Στάδιο πρακτικού ελέγχου με εφαρμογή λύσεων περιορισμού ή αναχαίτισης των αιτιών φθοράς στο κέλυφος και το περιεχόμενό του. Για παράδειγμα, τα

πετάσματα φωτιάς λειτουργούν ως φραγή στη φωτιά, τα πετάσματα υδρατμών (vapor barrier) λειτουργούν ως φραγή στην υγρασία ή σε άλλους μολυντές.

- **Εντοπισμός:** Στην περίπτωση που ο φθοροποιός παράγοντας δεν είναι δυνατό να αποφευχθεί, να περιοριστεί ή να αναχαιτιστεί, πρέπει να εντοπιστεί είτε άμεσα είτε έμμεσα (δηλαδή εκ των αποτελεσμάτων του). Για παράδειγμα, ο ακατάλληλος φωτισμός ενός χώρου ή των αντικειμένων μιας συλλογής μπορεί να διαπιστωθεί είτε με τις απαραίτητες μετρήσεις είτε με την εξέταση των αποτελεσμάτων που επιφέρει στα φωτοευαίσθητα αντικείμενα.

- **Αντίδραση:** Ο εντοπισμός του φθοροποιού παράγοντα ακολουθείται από σειρά λύσεων και πρακτικών που σκοπό έχουν να δώσουν λύση στο πρόβλημα που δημιουργείται. Είναι εξίσου απαραίτητο όσο και σημαντικό να οργανώνονται εκ των προτέρων οι διαδικασίες και οι πρακτικές αντίδρασης στο πρόβλημα, δεδομένου ότι συχνά ο βαθμός επικινδυνότητας του φθοροποιού παράγοντα αυξάνεται ανάλογα με το χρόνο εφαρμογής των επιλεγμένων λύσεων.

- **Ανάκτηση / Θεραπεία:** Η διαδικασία αυτή δεν είναι προληπτική, έρχεται όμως να συμπληρώσει τον έλεγχο όταν τα προηγούμενα στάδια δεν έχουν αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η διαδικασία αυτή είναι ενεργητική και συμπεριλαμβάνει πρακτικές συντήρησης και αποκατάστασης του κελύφους και του περιεχομένου του.

### Παράμετροι περιβάλλοντος μουσείου και καθορισμός επιθυμητών επιπέδων

Οι παράμετροι που καθορίζουν και επηρεάζουν το περιβάλλον ενός χώρου όπου φυλάσσονται συλλογές ή που περιέχεται ιστορικός και άλλος πολιτιστικός διάκοσμος (εκκλησίες, ιστορικά κτήρια) είναι οι ακόλουθες: α) θερμοκρασία, β) υγρασία, γ) αερισμός, δ) ακτινοβολία.

Αυτές οι παράμετροι δρουν ως φθοροποιόι παράγοντες στη δομή και στο περιεχόμενο του κτηρίου. Ο μηχανισμός της φθοράς είναι μια συνάρτηση της σχέσης μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων του κτηρίου και αυτών του περιεχομένου του και των παραμέτρων του περιβάλλοντος. Ο μηχανισμός μπορεί να εκφραστεί ως εξής: Μηχανισμός φθοράς =  $f$  (ιδιότητες, περιβάλλον).<sup>3</sup>

Σε αυτόν τον μηχανισμό, οι ιδιότητες που συμπεριλαμβάνουν τα χημικά, θερμικά, μηχανικά και άλλα χαρακτηριστικά του κτηρίου και του περιεχομένου του είναι μοναδικές για κάθε υλικό ή για σύνθεση υλικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνδέονται άμεσα με τον τρόπο που αντιδρούν σε σχέση με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Αντίστοιχα, τα στοιχεία που ορίζουν το περιβάλλον (θερμοκρασία, υγρασία, ακτινοβολία, αερισμός) συμβάλλουν ενεργητικά στο μηχανισμό αυτό.

Ο μηχανισμός φθοράς είναι εξωθερμική διαδικασία, που μπορεί να αναπαραχθεί γραμμικά με μια προοδευτικά φθίνουσα καμπύλη προόδου τύπου  $S$ . Σύμφωνα με αυτή την κα-

μπύλη, όταν δεν πραγματοποιείται συνεισφορά ενέργειας στο σύστημα από εξωτερικούς παράγοντες, τότε η περιεχόμενη στο σύστημα ενέργεια μειώνεται προοδευτικά σε συνάρτηση με το χρόνο. Το σημαντικό χαρακτηριστικό της καμπύλης προόδου  $S$  είναι ότι έχει επιταχυνόμενη πορεία μέχρι ενός σημείου στο οποίο και σταθεροποιείται, ενώ στη συνέχεια η καμπύλη εξισορροπεί και φθίνει στο άπειρο.

Ο μηχανισμός φθοράς μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις: αρχική, επιταχυνόμενη και επιβραδυνόμενη φάση. Η αρχική φάση φθοράς είναι αυτή που προκαλείται στο κτήριο ή στο αντικείμενο αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του. Ο βαθμός και η διάρκεια αυτής της πρώτης φάσης φθοράς εξαρτάται από τις ιδιότητες των υλικών, την ποιότητα της κατασκευής και την επιθετικότητα του περιβάλλοντος. Η επιταχυνόμενη φάση φθοράς ξεκινάει από το σημείο εμφάνισης αστοχίας ορισμένων υλικών ή συνόλου υλικών. Η αστοχία αυτή έχει συσσωρευτικά αποτελέσματα τα οποία εκφράζονται ως φθίνουσα πορεία της σταθερότητας του συστήματος με μεγαλύτερη ταχύτητα ως ένα σημείο σταθεροποίησης. Η φάση της επιβραδυνόμενης φθοράς, που ξεκινάει από αυτό το χαρακτηριστικό σημείο σταθεροποίησης και διαρκεί περισσότερο χρόνο, χαρακτηρίζεται από σταθερά φθίνουσα πορεία που συνεπάγεται την ολική καταστροφή ή αδυναμία ανάκτησης του υλικού ή του συστήματος.

Σημαντικό σημείο στην καμπύλη φθοράς είναι το σημείο ημι-ζωής του συστήματος, δηλαδή το σημείο όπου αρχίζει η σταθεροποίηση της φθίνουσας πορείας της καμπύλης. Το σημείο ημι-ζωής του υλικού ή του συστήματος χαρακτηρίζει το καταναλωμένο ποσοστό της «ενσωματωμένης ενέργειας» (δηλαδή της ενέργειας που απαιτείται για να παραχθεί ένα προϊόν και να μεταφερθεί στη θέση κατασκευής του κτηρίου). Η έναρξη του σημείου ημι-ζωής του συστήματος μπορεί να γίνει μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την έναρξη της κατασκευής του κτηρίου μόνο εάν σχεδιαστεί ή βελτιστοποιηθεί το εσωτερικό περιβάλλον του.

Κάθε κτήριο χαρακτηρίζεται εσωτερικά από θερμικές ζώνες. Οι θερμικές ζώνες δημιουργούνται βάσει τριών κριτηρίων:

1. Θερμικά δεδομένα του χώρου (θερμικά κέρδη και απώλειες του χώρου, προσανατολισμός, φυσικός φωτισμός, διαπερατότητα ανοιγμάτων).

2. Δεδομένα χρήσης και λειτουργίας του χώρου (αριθμός ατόμων που καταλαμβάνουν το χώρο, ροή ατόμων).

3. Εγκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού θέρμανσης-ψύξης.

Ως μέση θερμοκρασία ενός χώρου ορίζεται το σύνολο κάθε επιφανειακής θερμοκρασίας πολλαπλασιασμένη επί την αντίστοιχη επιφάνεια. Η επιφανειακή θερμοκρασία μιας τοιχοποιίας εξαρτάται από τα υλικά κατασκευής της, από τη θέση της σχετικά με τη δομή του κελύφους (εξωτερική ή εσωτερική τοιχοποιία), από το εάν είναι μονωμένη ή όχι, από το εάν έχει ανοίγματα (πόρτες και παράθυρα), το είδος της περατότητάς τους κ.ά.).



Συγχρόνως, η θερμοκρασία ενός χώρου επηρεάζεται από τον ανθρώπινο παράγοντα, δηλαδή από τον αριθμό των ανθρώπων που επισκέπτονται ή εργάζονται στο χώρο και από το είδος της εργασίας που εκτελούν σε αυτόν. Κάθε άνθρωπος παράγει πλεόνασμα θερμότητας που οφείλεται στη λειτουργία του μεταβολισμού κατά την οποία η τροφή που καταναλώνεται μετατρέπεται σε ενέργεια. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για τις δραστηριότητες του ανθρώπινου οργανισμού. Έτσι μέσω της λειτουργίας του μεταβολισμού αποδίδεται από τον άνθρωπο στο περιβάλλον του ποσότητα θερμότητας (από μεταφορά, εκπομπή, εξάτμιση, αναπνοή και λοιπές εκκρίσεις).

Κάθε ανθρώπινος οργανισμός παράγει ελάχιστη ποσότητα θερμικής ενέργειας είτε είναι σε κατάσταση νάρκης (περίπου 250 Btu/hr δηλαδή 75 Watt) είτε είναι ξύπνιος αλλά στατικός (400 Btu/hr δηλαδή 120 Watt). Όταν αυξάνεται η δραστηριότητα του ανθρώπινου οργανισμού τότε αυξάνεται και το επίπεδο παραγωγής ενέργειας και άρα θερμότητας. Για παράδειγμα, για μια ελαφριά εργασία ο ανθρώπινος οργανισμός παράγει 650 Btu/hr δηλαδή 190 Watt, ενώ για μια βαριά εργασία 2400 Btu/hr δηλαδή 700 Watt.

Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει μία και μοναδική θερμοκρασία (όπως και υγρασία) όπου ο άνθρωπος νιώθει άνετα. Ο ανθρώπινος οργανισμός αισθάνεται άνετα σε ευρύτερη περιοχή επιπέδων θερμοκρασίας. Πολυετείς έρευνες που έγιναν σε μεγάλο αριθμό ανθρώπων από την American Society of Refrigeration Air Conditioning Engineers κατέληξαν ότι υπάρχει ζώνη άνεσης που αντιστοιχεί σε συνδυασμούς θερμοκρασίας και υγρασίας. Η ζώνη αυτή αντικατοπτρίζει τις απαντήσεις ποσοστού 80% του πληθυσμού της μελέτης. Εξετάζοντας τη ζώνη άνεσης, παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται άνετα σε υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας μόνο εάν τα επίπεδα υγρασίας είναι χαμηλά. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται, τα ανεκτά επίπεδα υγρασίας παραμένουν μέσα στη ζώνη άνεσης.

Μέχρι πρότινος, στο σχεδιασμό βελτιστοποίησης της θερμοκρασίας λαμβάνονταν ως θερμοϋγρασιακά επίπεδα για το χειμώνα οι 20-24 °C και 35-40% σχετική υγρασία και αντίστοιχα για το καλοκαίρι οι 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.<sup>4</sup>

Η υγρασία στο εσωτερικό ενός κτηρίου εξαρτάται από την ποσότητα των υδρατμών που εμπεριέχονται μέσα στο χώρο σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και εκφράζεται από την έννοια της σχετικής υγρασίας (relative humidity). Η σχετική υγρασία είναι η σχέση μεταξύ των υδρατμών που εμπεριέχονται στον αέρα, με το βάρος υδρατμών που θα περιείχε ο αέρας αν ήταν κορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία και στην ίδια βαρομετρική πίεση. Σε έναν κλειστό χώρο η ποσότητα των υδρατμών δεν είναι ομοιογενώς κατανομημένη (εικ. 3). Όπως φαίνεται στα σχήματα 1-5 της εικόνας 3, έχουμε τις ακόλουθες διαφορετικές περιπτώσεις κατανομής υγρασίας στο χώρο: Στο σχήμα 1 απεικονίζεται η «ιδεώδης» κατάσταση, όπου έχουμε έναν ομοιογενή χώρο απολύτως κλειστό και κενό από αντικείμενα. Σε αυτή την περίπτωση η απόλυτη υγρασία και, κατά συνέπεια, και η σχετική υγρασία θα είναι κατανομημένες ομοιογενώς. Στο σχήμα 2 απεικονίζεται η περίπτωση όπου η επιφανειακή θερμοκρασία ενός τοίχου είναι χαμηλότερη από τους τρεις άλλους. Η ποσότητα των υδρατμών στο χώρο δεν θα αλλάξει, θα μεταβληθεί όμως η κατανομή στο χώρο της σχετικής υγρασίας. Η σχετική υγρασία θα αυξηθεί κοντά στην περιοχή του ψυχρού τοίχου επειδή σε αυτή την περιοχή η απόλυτη υγρασία θα είναι μεγαλύτερη και πιθανόν να πλησιάζει και στο σημείο δρόσου. Στο σχήμα 3 απεικονίζεται η περίπτωση όπου τα υλικά του τοίχου είναι υγροσκοπικά. Τα υγροσκοπικά υλικά, δηλαδή αυτά που έχουν την ιδιαιτερότητα να απορροφούν και να εκβάλλουν υγρασία στο περιβάλλον έως ότου δημιουργηθεί ισορροπία μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας τους και αυτής του περιβάλλοντος, δημιουργούν μεταβολές στην ομοιογενή κατανομή της υγρασίας στο χώρο. Στο σχήμα 4 απεικονίζεται η πιο συνηθισμένη περίπτωση μεταβολής της



2. Το Νέο Μουσείο της Ακρόπολης.

ομοιογένειας της υγρασίας του χώρου, που οφείλεται στις εναλλαγές του αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν αδιαπέραστοι χώροι. Ο αέρας εισβάλλει μέσα στο εσωτερικό του μουσείου από τα ανοίγματα του χώρου (παράθυρα, πόρτες, υπερώα κ.ά.), μέσα από την ίδια την τοιχοποιία καθώς και εξαιτίας της παρουσίας του κοινού που παράγει, λόγω της αναπνοής, ποσότητα υδρατμών. Τέλος, στο σχήμα 5 απεικονίζεται περίπτωση πιο κοντινή στην πραγματικότητα, όπου ο χώρος δεν είναι κενός αλλά είναι εξοπλισμένος με προθήκες ή άλλα συστήματα έκθεσης και αποθήκευσης των αντικειμένων. Σε αυτή την περίπτωση, λόγω της διάταξης του εξοπλισμού δημιουργείται παρεμπόδιση της κυκλοφορίας του αέρα, τοπικές μεταβολές της θερμοκρασίας, τοπικές μεταβολές της σχετικής υγρασίας λόγω της υγροσκοπικότητας των υλικών και συνεπώς ανομοιογένεια στην απόλυτη υγρασία και κατ' επέκταση ανομοιογένεια της σχετικής υγρασίας.

Ο αερισμός είναι η διαδικασία πρόσθεσης ή αφαίρεσης αέρα σε ένα χώρο, είτε με φυσικά είτε με μηχανικά μέσα, ώστε να διατηρείται η ατμόσφαιρα σε ανεκτά επίπεδα καθαρότητας και ποιότητας. Ο αέρας που χρησιμοποιείται σε αυτή τη διαδικασία προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο αερισμός είναι απαραίτητος σε έναν κλειστό χώρο για τον έλεγχο της συγκέντρωσης αέριων ρύπων που δυσχεραίνουν την άνεση του κοινού. Ο αερισμός στα μουσεία είναι ελεγχόμενος, δηλαδή παρέχει στο εσωτερικό του κτηρίου την κατάλληλη ποσότητα φρέσκου αέρα ώστε να επιτυγχάνεται η άνεση του κοινού και η μείωση αέριων μολυντών που προέρχονται είτε από ακατάλληλα κατασκευαστικά υλικά είτε από τις χρήσεις του χώρου (indoor pollution). Παράλληλα, ο ελεγχόμενος αερισμός επιτρέπει να εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου ποσότητα αέρα από τον οποίο έχουν κατακρατηθεί ρύποι και μολυντές που προέρχονται από την εξωτερική ατμόσφαιρα (outdoor pollution). Ο αερισμός λειτουργεί επίσης ως ρυθμιστής της υπερθέρμανσης ενός χώρου το καλοκαίρι ή των αυξημένων επιπέδων σχετικής υγρασίας το χειμώνα.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι προϊόντα καύσης για θέρμανση ή βιομηχανικές δραστηριότητες. Οι κυριότεροι ρύποι είναι τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα οξειδία του θείου (SO<sub>x</sub>), οι υδρογονάνθρακες, το υδρόθειο (H<sub>2</sub>S) και το όζον (O<sub>3</sub>).

Στους χώρους που δεν έχουν σύστημα καθαρότητας αέρα, τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων στο εσωτερικό του κτηρίου είναι τα ίδια με αυτά στο εξωτερικό περιβάλλον. Παρατηρείται μικρότερη συγκέντρωση στο εσωτερικό νιτρικού οξέως και όζοντος, λόγω της απορρόφησής τους από τις επιφάνειες του κτηρίου. Παρ' όλα αυτά, για παράδειγμα τα επίπεδα του όζοντος στο εσωτερικό ενός μουσείου μπορεί να φτάνουν έως και το 70% του όζοντος στο εξωτερικό περιβάλλον, κυρίως όταν σε αυτά τα κτήρια εφαρμόζεται φυσικός αερισμός ή εξαναγκασμένος αερισμός χωρίς τη χρήση φίλτρων.

Οι ρύποι που ανιχνεύονται στο εσωτερικό των μουσείων και προέρχονται από τα κατασκευαστικά υλικά είναι κυρίως οργανικοί αέριοι ρύποι (volatile organic compounds), όπως το οξικό οξύ, το μυρμηκικό οξύ και η φορμαλδεΐδη. Επειδή τα προϊόντα αυτά έρχονται συχνά σε επαφή με τα μουσειακά αντικείμενα και λόγω του ότι η συγκέντρωσή τους μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη σε κλειστά συστήματα (όπως προθήκες, ερμάρια, βιβλιοστάσια, κ.ά.) η φθορά που δημιουργούν είναι μεγαλύτερη.<sup>5</sup>

Ο παράγοντας της ακτινοβολίας που επιδρά στη διαμόρφωση του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι ο φυσικός φωτισμός που προέρχεται από τα ανοίγματα και ο τεχνητός φωτισμός χρήσης του χώρου με την προσφορά ενέργειας (κυρίως θερμικής) που μεταβάλλει τα επίπεδα υγρασίας του χώρου. Οι προαναφερθέντες παράμετροι αποτελούν παράγοντα φθοράς για τα μουσειακά αντικείμενα προκαλώντας γεμικυμαινόμενες μηχανικές και φυσικοχημικές μεταβολές.

### Ιστορική αναδρομή στην προτυποποίηση των επιπέδων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, αερισμού για μουσειακές συλλογές

Τα πρότυπα επίπεδα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και αερισμού ενός μουσείου έχουν αλλάξει από τον 18ο αιώνα έως σήμερα. Αυτό οφείλεται τόσο στην εξέλιξη της επιστήμης όσο και της τεχνολογίας που είναι στη διάθεση των επιστημόνων για την καταγραφή και τη μελέτη των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Η ανάγκη καθορισμού πρότυπων επιπέδων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας οφείλεται κυρίως στην απαίτηση για την καλή λειτουργία των πρώτων συστημάτων θέρμανσης με ατμό. Επειδή τα πρώτα θερμαινόμενα κτήρια είχαν και αυτά μουσειακές χρήσεις έχουμε καταγραφές ότι στη δεκαετία του 1920 τα προτεινόμενα επίπεδα θερμοκρασίας στα μουσεία ήταν 13 °C, που, αν και αρκετά χαμηλά, θεωρούνταν ικανοποιητικά τόσο για την άνεση του κοινού όσο και για τη διατήρηση των συλλογών. Την περίοδο αυτή, ο αερισμός και η ψύξη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες επιτυγχάνεται με το άνοιγμα των παραθύρων στα υπερώα, ενώ ο σκιασμός του χώρου γίνεται με τη χρήση φωτοφρακτών (παντζούρια, κουρτίνες).

Οι πρώτες προσπάθειες συστηματικής προτυποποίησης των επιπέδων θερμοκρασίας και υγρασίας για τη διατήρηση των μουσειακών συλλογών αναφέρονται το 1935 από τον J. MacIntyre στο άρθρο του «Some notes on atmospheric humidity in relation to works of art».<sup>6</sup> Ο MacIntyre, αφού παρατήρησε τις φθορές που προκλήθηκαν σε σχέδια της συλλογής της National Gallery of London μετά την εγκατάσταση στο χώρο συστήματος κλιματισμού θέρμανσης, κατόπιν συστηματικών μελετών παραθέτει τα ακόλουθα:

1. Εξηγεί τη διαδραστική σχέση μεταξύ σχετικής υγρασίας (Σ.Υ.) και θερμοκρασίας.
2. Περιγράφει τους περιορισμούς των διαθέσιμων με-

τρητικών οργάνων υγρασίας / θερμοκρασίας όπως, π.χ., οι θερμοϋγρογράφοι, στην καταγραφή ακραίων μετρήσεων (πολύ χαμηλών ή πολύ υψηλών επιπέδων θερμοκρασίας).

3. Σημειώνει ότι τα κλιματιστικά συστήματα (της εποχής) μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες υγρασίας σε ευρύ φάσμα τιμών, από 60-90% Σ.Υ. και όχι σε πιο περιορισμένα όρια.

4. Καθορίζει την επίδραση του κελύφους του κτηρίου στη δυνατότητα δημιουργίας εσωτερικού περιβάλλοντος μέσω της απορρόφησης υγρασίας από τα υλικά κατασκευής του.

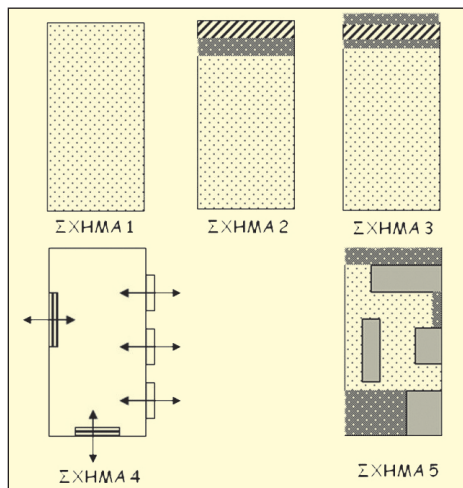
Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, η εξέλιξη της τεχνολογίας που αφορά τη θέρμανση, την ύγρανση και την ψύξη των χώρων (κυρίως των εργοστασίων) κάνει ταχύτατα άλματα. Συγχρόνως, ορισμένα από τα συστήματα νέας τεχνολογίας τοποθετούνται σε μουσεία, βιβλιοθήκες και χώρους όπου φυλάσσονται αρχαιολογικά συλλογές. Τα πρότυπα επίπεδα εσωτερικού περιβάλλοντος που ορίζονται, βασίζονται κυρίως στις συνθήκες άνεσης του κοινού και όχι σε συνθήκες για τη διατήρηση των μουσειακών αντικειμένων. Παρ' όλα αυτά, στον επιστημονικό χώρο έχει γίνει εμφανής η φθοροποιός δράση των δύο αυτών παραγόντων του εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασίας και υγρασίας) στα μουσειακά αντικείμενα και έχουν αρχίσει να πραγματοποιούνται συστηματικές μελέτες και έρευνες σε δείγματα.

Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών συμπεριλαμβάνονται το 1956 στην έκδοση του βιβλίου του H. Plenderleith *Conservation of Antiquities and Works of Art* που αποτέλεσε για τουλάχιστον δύο δεκαετίες το πιο έγκυρο κείμενο μουσειακής πρακτικής.<sup>7</sup> Σε αυτό το βιβλίο προτείνονται για πρώτη φορά πρότυπα επίπεδα σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας για τη διατήρηση των μουσειακών συλλογών ανάλογα με το είδος τους. Πιο συγκεκριμένα, ο καθηγητής Plenderleith αναφέρει ότι τα οργανικά υλικά διατηρούνται σε επίπεδα 50% Σ.Υ. και σημειώνει ότι σε επίπεδα χαμηλότερα του 40% επέρχεται ξήρανσή τους.

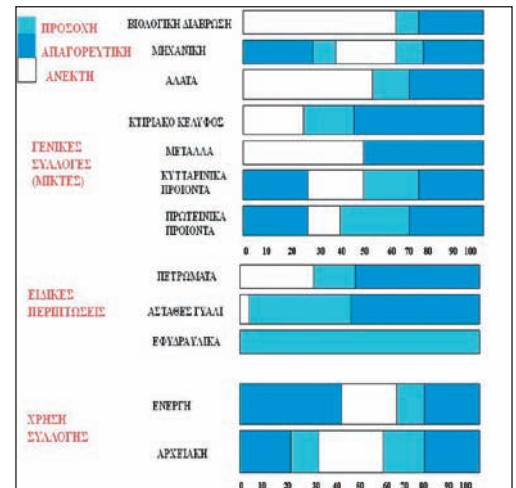
Στα τέλη του 1950 εκδίδεται από το περιοδικό *Museum* του International Council of Museum (ICOM) τεύχος που περιλαμβάνει άρθρα με τα αποτελέσματα των μελετών των περιβαλλοντικών παραμέτρων σε σχέση με τη διατήρηση των συλλογών. Στο τεύχος αυτό, παρατίθενται οι μελέτες εκτίμησης μετρητικών συστημάτων (θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας) διαφόρων μουσείων, όπου και όταν υπήρχαν. Στο ίδιο τεύχος, συγκεντρώνονται στοιχεία για τις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος, τις οποίες τα διάφορα μουσεία που συμμετείχαν

στην έρευνα διατηρούσαν στους χώρους τους. Από τα συγκεντρωμένα δεδομένα προέκυψε ότι τα περισσότερα μουσεία, αν και πρότειναν 50-60% Σ.Υ., είχαν την τάση να διατηρούν ευρύτερο φάσμα τιμών (40-70% Σ.Υ.). Η απόκλιση αυτή από τα «θεωρητικά» επίπεδα οφειλόταν είτε στη μειωμένη απόδοση των μετρητικών οργάνων με τα οποία ήταν εξοπλισμένα τα μουσεία είτε γιατί υπήρχε ανικανότητα των υφιστάμενων κλιματιστικών συστημάτων να μπορούν να διατηρούν τις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος σε μικρότερα φάσματα τιμών.

Μεγάλες αλλαγές στις μουσειακές πρακτικές σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες γίνονται τη δεκαετία του 1970 λόγω της ενεργειακής κρίσης. Αυτές οι αλλαγές καταγράφονται στο βιβλίο του G. Thomson, *The Museum Environment*,<sup>8</sup> όπου δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη μέτρηση και στον έλεγχο των συνθηκών παρά στον καθορισμό πρότυπων επιπέδων εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο Thomson αναφέρεται για πρώτη φορά στην έννοια του *Μικροκλίματος*, δηλαδή στη δημιουργία σταθερών συνθηκών μέσα σε κλειστά συστήματα (όπως π.χ. οι προθήκες). Στο βιβλίο αυτό, που ορισμένοι επιστήμονες θεωρούν έργο αναφοράς μέχρι σήμερα, ο συγγραφέας αναφέρει: «έχουμε περιορισμένη γνώση ως προς το γιατί οι εσωκλιματικές συνθήκες στα μουσεία μεταβάλλονται και σε ποιους παράγοντες οφείλονται αυτές οι μεταβολές. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να δημιουργήσουμε ένα πλαίσιο Προληπτικής Συντήρησης παράλληλα με το αντικείμενο των ερευνών μας [...]. Το ερώτημα του κατά πόσον πρέπει να είναι σταθερή η σχετική υγρασία, ώστε να μη δημιουργούνται μηχανικές καταπονήσεις στα αντικείμενα, παραμένει προς το παρόν αναπάντητο. Ο καθορισμός φάσματος μεταβολών στο  $\pm 4$  ή  $\pm 5\%$  Σ.Υ. αφορά περισσότερο τις δυνατότητες του συστήματος κλιματισμού του χώρου να διατηρεί αυτές τις μεταβολές παρά στο ότι γνωρίζουμε τα αποτελέσματα τέτοιων μικρών μεταβολών στα αντικείμενα».



3. Στα σχήματα 1-5 απεικονίζονται οι διαφορετικές περιπτώσεις κατανομής υγρασίας στο χώρο.



4. Πρότυπες ζώνες σταθερότητας σχετικής υγρασίας.



Ο G. Thomson αναφέρει επίσης ότι η σχετική υγρασία δεν πρέπει να ξεπερνάει τα επίπεδα του 50-55% Σ.Υ. Παρ' όλα αυτά, τα επόμενα χρόνια, και ιδιαίτερα τη δεκαετία του 1980, το θέμα του καθορισμού των πρότυπων επιπέδων υγρασίας και θερμοκρασίας συζητείται διεθνώς, ιδιαίτερα δε η σχέση της μείωσης της φθοράς των μουσειακών συλλογών από τα ακατάλληλα επίπεδα συγχρόνως με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τα εγκαταστημένα κλιματιστικά συστήματα.

Το 1986, επανεκδίδεται το βιβλίο του G. Thomson, *The Museum Environment*. Σε αυτή την έκδοση, ο Thomson συμπληρώνει τις κατηγορίες επιπέδων σχετικής υγρασίας ανάλογα με το είδος των αντικειμένων. Συγχρόνως, παραθέτει δύο κατηγορίες εσωτερικού περιβάλλοντος:

Κατηγορία 1: 50-55% ± 5% Σ.Υ. καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου που εφαρμόζεται σε νέες κατασκευές μουσείων ή σε επανάχρηση παλαιών κτηρίων ως μουσείων εξοτλισμένων με κλιματιστικά συστήματα.

Κατηγορία 2: 40-70% Σ.Υ. που εφαρμόζεται τοπικά σε κλειστά συστήματα (όπως προθήκες) με τη χρήση μικρών κινητών μονάδων ύγρανσης / ξήρανσης της ατμόσφαιρας.

Στη δεκαετία του 1990, τα προτεινόμενα επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας των μουσείων επανεξετάστηκαν από διεθνείς οργανισμούς. Ο Stefan Michalski, σε έρευνα που διενέργησε στο Canadian Conservation Institute, αποτελέσματα της οποίας ανακοίνωσε το 1993 σε διεθνές συνέδριο, συμπέρανε τα ακόλουθα:<sup>9</sup>

Μικρές 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 ± 15% Σ.Υ. από μία μέση περιοχή τιμών, επηρεάζει με πολύ αργό ρυθμό τα περισσότερα υδροσκοπικά αντικείμενα.

Φθορά στα υδροσκοπικά αντικείμενα εμφανίζεται σε περιοχή τιμών Σ.Υ. < 25% και >75%.

Το 1994, οι D. Erhardt και M. Mecklenburg, σε άλλο διεθνές συνέδριο, παραθέτουν μια γραφική αναπαράσταση της δυσκολίας καθορισμού πρότυπων επιπέδων σχετικής υγρασίας και καταλήγουν ότι τα επίπεδα που ισχύουν διεθνώς στα περισσότερα μουσεία (40-60% Σ.Υ.) είναι ικανοποιητικά και δεν αποτελούν αίτιο για μηχανικές καταπονήσεις, χημική δραστηριότητα και βιολογική διάβρωση των συλλογών (εικ. 4).<sup>10</sup>

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η κωδικοποίηση πρότυπων σχετικής υγρασίας, σε επίπεδα της τάξεως του 55-60% και αργότερα του 55% ± 5%, έχουν μεταβληθεί σε ζώνες μεταβολών (ημερήσια και ετήσια). Ανάλογα με το σύνολο της συλλογής καθορίζεται ένα μέσο επίπεδο σχετικής υγρασίας και στη συνέχεια ανάλογα με το κέλυφος και το κλιματιστικό σύστημα, αναφερόμαστε πλέον σε επιτρεπές ζώνες μεταβολών που δεν θα πρέπει να ξεπερνούν ± 10% Σ.Υ. ημερησίως. Συγχρόνως, δίνεται ιδιαίτερη προ-

σοχή στις συχνές μικρές μεταβολές (μικρότερες του ± 10% ημερησίως), ενώ για ειδικές περιπτώσεις, που απαιτούνται ακόμα πιο σταθερές συνθήκες, χρησιμοποιούνται συνθήκες μικροκλίματος.

#### ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

<sup>1</sup> ICOM, Code of Ethics for Museums, 2006.

<sup>2</sup> Preservation Framework, Canadian Conservation Institute, <http://www.cci-icc.gc.ca/tools/framework/>

<sup>3</sup> S. Harris, «A system approach to building assessment», *Standards for Preservation and Rehabilitation, ASTM STP 1258*, S. Kelley, American Society for Testing and Materials, 1996, σ. 137-148.

<sup>4</sup> M. Ryhl-Svendsen / L. Aasbjerg Jensen / T. Padfield, «Does a standard temperature need to be constant?», *Going Green Conference, April 2009, British Museum* (<http://www.conervationphysics.org> επίσκεψη 2/1/2010).

<sup>5</sup> Ευγενία Σταματοπούλου, «Εκθεση και αποθήκευση μουσειακών αντικειμένων. Επιλογή και χρήση κατάλληλων κατασκευαστικών υλικών», *Αρχαιολογία και Τέχνες* 86 (2003), σ. 59-63.

<sup>6</sup> J. MacIntyre, *Some Notes on Atmospheric Humidity in Relation to Works of Art*, Courtauld Institute of Art, London 1934 or 1935 (αναφορά στο A.P. Laurie, «Atmospheric humidity and works of art», *Museum Journal* 35 (1935), σ. 51-52).

<sup>7</sup> H. Plenderleith, *Conservation of Antiquities and Works of Art*, OUP, New York 1956.

<sup>8</sup> G. Thomson, *The Museum Environment*, Butterworths, London 1978.

<sup>9</sup> St. Michalski, «Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values», *ICOM Committee for Conservation, 10th Triennial Meeting, Washington DC, Preprints*, τόμ. 2, 1993, σ. 624-629.

<sup>10</sup> D. Erhardt / M. Mecklenburg, «Relative humidity re-examined», στο A. Roy / P. Smith (επιμ.), *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research, Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994*, London 1994, σ. 28-31.

### Bioclimatic Design of Art Galleries, Museums and Historical Buildings

Evgenia Stamatopoulou

The design of the indoor environment of edifices housing cultural uses, such as art galleries, museums and historical buildings, requires specialization and interdisciplinary cooperation, since it has to combine the best conditions, appropriate not only for the protection of the works of art but also for the conservation of the buildings themselves and the visitors' comfort.

Therefore, the parameters affecting the stability of the system are studied, its deterioration mechanism and its various interrelations are defined and explained, and, finally, a methodology for the optimum bioclimatic design is proposed.

Furthermore, a survey of the course of standardizing the proper temperature, relative humidity and ventilation for the museum collections is presented as well as the parameters that have influenced their configuration.

Finally, several active or passive methods for the control and management of the indoor environment of the "museum-building" are proposed.

E.S.