



Η ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΛΟΓΩ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΗΣ**

Οι κοινωνίες, τα οικοσυστήματα και το περιβάλλον εκτίθενται μόνιμα σε πολλούς φυσικούς και ανθρωπογενείς κινδύνους (σεισμούς, καταγίδες, πλημμύρες, ερημοποίηση, πυρκαγιές, βιομηχανικούς κινδύνους και πρόσφατες πανδημίες). Σ' αυτές τις συνθήκες τόσο οι πολύπλοκες κοινωνίες μας, όσο και το δομημένο και φυσικό μας περιβάλλον, παρά την τεχνολογική πρόοδο που σημειώθηκε τον περασμένο αιώνα, γίνονται πολύ εύθραυστα και ευάλωτα.

Η γήρανση και η φθορά των υλικών είναι βασικές διαδικασίες στη διαρκή μετατροπή της ύλης. Όσον αφορά στα ανόργανα υλικά, οι καιρικές συνθήκες είναι η κυρίαρχη φυσική διαδικασία γήρανσης. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει μετασχηματισμό χημικών ενώσεων και προκαλείται από αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες. Η γήρανση των υλικών συνεπάγεται αλλαγές της αρχικής κατάστασης, αλλά δεν περιλαμβάνει απαραίτητα μόνο φθορά ή υποβάθμιση. Η γήρανση (ωρίμανση) μπορεί επίσης να σημαίνει σχηματισμό νέων ουσιών και σταθεροποίηση. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό το αποτέλεσμα είναι



επιθυμητό. Η γήρανση του ασβέστη για παράδειγμα οδηγεί σε ενανθράκωση, μηχανισμό που προσδίδει θετικές ιδιότητες στα υλικά.

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες επηρεάζουν τις ισορροπημένες αλλαγές λόγω της αυξημένης κατανάλωσης πόρων και του συνεχώς επιταχυνόμενου ρυθμού του κύκλου εργασιών. Στις ημέρες μας το παράδοξο είναι ότι έχουμε να αντιμετωπίσουμε τις επιπτώσεις των ενεργειών μας. Πρώτη φορά η ανθρωπότητα βλέπει τις συνέπειες των πράξεων των ίδιων γενεών και όχι των προηγούμενων. Η ταχύτητα και ο ρυθμός που καταναλώνουμε φυσικούς πόρους, κινούμαστε, μεταφέρουμε και ζούμε, αποτυπώνει τις συνέπειές του στο φυσικό και στο δομημένο περιβάλλον. Βίαια φαινόμενα, όπως πλημμύρες, ισχυροί άνεμοι, πυρκαγιές, ξηρασίες λαμβάνουν χώρα σε παγκόσμια κλίμακα με αυξανόμενο ρυθμό και συχνότητα. Οι κύκλοι διάβρωσης, οι οποίοι αποτυπώθηκαν στα υλικά των μνημείων και των ιστορικών κτιρίων που μελετήθηκαν συστηματικά, τώρα είναι πιο συχνό και πιο βίαιο. Τα "μαλακά" παραδοσιακά υλικά αυτών των κατασκευών αλλά και τα σύγχρονα υλικά των νέων κατασκευών καλούνται να λειτουργήσουν σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Αυτή την παράμετρο δεν την λάμβαναν υπόψη οι μέχρι τώρα σχεδιασμοί. Ανάμεσα στα άλλα, λοιπόν, το

βίαιο περιβάλλον, που ανθρωπογενείς παράγοντες διαμόρφωσαν, επιδρά άμεσα στα υλικά και αλλάζει το ρυθμό γήρανσης, μιας και οι κύκλοι διάβρωσης πολλαπλασιάζονται στο χρονικό διάστημα, κατά το οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι κατασκευές.

Πορεία της φθοράς στον χρόνο

Όλα τα δομικά υλικά είναι επιρρεπή στην αποσάθρωση, όμως το καθένα σε διαφορετικό βαθμό. Οι διαδικασίες αποσάθρωσης ασκούν πιέσεις στα υλικά (φυσικές, χημικές, μηχανικές), οι οποίες υπό ορισμένους όρους ή μετά από ορισμένο χρόνο οδηγούν στη φθορά. Τα οικοσυστήματα βρίσκονται σε ευαίσθητη ισορροπία με το περιβάλλον. Η φθορά είναι συνάρτηση του χρόνου και των συνθηκών. Τα παραδείγματα είναι πλέον πολλά: αρχαιολογικοί χώροι έχουν ήδη υποβληθεί σε θαλάσσιες παλινδρομήσεις, που τροποποίησαν εν μέρει το τοπίο και οδήγησαν σε μηχανική αποσύνθεση και χημική αλλοίωση των δομικών υλικών. Γι' αυτόν τον λόγο, αν και πολλές από αυτές τις δομές έχουν επιβιώσει στο πέρασμα των αιώνων, ο αυξημένος βαθμός ευάλωσης έχει οδηγήσει σε αυξανόμενη ανησυχία για τη διατήρησή τους. Σε παγκόσμια κλίμακα καταγράφονται καταστροφές των κτιρίων και συχνά απώλεια ανθρώπινου κεφαλαίου.

Οι αιτίες που συντελούν σ' αυτά τα φαινόμενα δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας καταγραφής, αλλά είναι γνωστό ότι μόνο στην Ευρώπη ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και για το 36% των εκπομπών του φαινομένου του θερμοκηπίου. Γι' αυτόν τον λόγο, αρκετές οδηγίες έχουν εγκριθεί για την υποστήριξη πολιτικών που στοχεύουν στην προώθηση της βιωσιμότητας στις κατασκευές. Σ' αυτόν τον όρο εμπεριέχονται οι έννοιες σε όλο τον κύκλο ζωής των υλικών και των κατασκευών (από την επιλογή των πρώτων υλών και τον τρόπο μεταφοράς τους μέχρι την ενεργειακή απόδοση και το τέλος της ζωής των κατασκευών). Τα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου έχουν γίνει ένα κρίσιμο θέμα λόγω της παγκόσμιας επίδρασής τους και της συμβολής τους στην κλιματική αλλαγή.

Περιβάλλον και κλιματικές συνθήκες ως παράγοντες φθοράς

Οι κλιματικές καταπονήσεις, στις οποίες υπόκεινται τα κτίρια, μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες: Ηλιακή ακτινοβολία (π.χ. υπεριώδης (UV), ορατή (VIS) και κοντά στο υπέρυθρο (NIR)), υπέρυθρη θερμική ακτινοβολία περιβάλλοντος (IR). Η αυξημένη θερμοκρασία που προκύπτει από αυτήν την ακτινοβολία και που αυξάνει τον ρυθμό των αντιδράσεων της χημικής αποδόμησης, καθώς και τον ρυθμό της σήψης από βιολογικά αίτια, οι υψηλές και οι χαμηλές θερμοκρασίες, οι μεταβολές / κύκλοι θερμοκρασίας, το νερό (π.χ. υγρασία, σχετική υγρασία αέρα, βροχή), οι φυσικές καταπονήσεις (π.χ. φορτία χιονιού, πλημμύρες, σεισμοί), ο άνεμος, η ρύπανση (π.χ. αέρια και σωματίδια στον αέρα), οι μικροοργανισμοί, το οξυγόνο και ο χρόνος (καθορίζουν την επίδραση για να λειτουργήσουν όλοι οι παραπάνω παράγοντες) είναι μερικές ακόμη κατηγορίες.

Τα υλικά και οι κατασκευές που εκτίθενται σε κλιματικές συνθήκες θα κληθούν να λειτουργήσουν σε ποικίλους συν-

1. Πολλά από τα χαρακτηρισμένα διατηρητέα κτίρια είναι εγκαταλελειμμένα και βρίσκονται υπό κατάρρευση, με ανεπανόρθωτες φθορές συναρτήσες του χρόνου και των συνθηκών.



δυσασμούς των παραπάνω παραγόντων έκθεσης. Στις πραγματικές συνθήκες έκθεσης η κλιματική επίδραση μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το προστιθέμενο άθροισμα των μεμονωμένων παραγόντων έκθεσης. Από μελέτες σε υλικά και κατασκευές που λειτούργησαν σε διαφορετικά κλίματα προκύπτει ότι αυτό που καταγράφεται ως αποτέλεσμα είναι ο συνδυασμός του κλίματος και των κτιρίων ή των υλικών.

Τα τελευταία χρόνια καταβάλλονται προσπάθειες για την πρόληψη ή την επιβράδυνση της φυσικής γήρανσης και της αποδόμησης των υλικών, ώστε να διατηρείται σταθερή η ποιότητά τους με λήψη κατάλληλων μέτρων. Η ανθεκτικότητα των υλικών έναντι των κλιματικών συνθηκών έχει άμεση επίδραση τόσο στην οικονομία, όσο και στην ασφάλεια καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός κτιρίου ή μιας κατασκευής. Η ανθεκτικότητα όμως ισορροπεί με τη βιωσιμότητά τους και την προστασία του περιβάλλοντος. Υπάρχουν και εφαρμόζονται διάφορες στρατηγικές για την προστασία των υλικών από την υποβάθμιση, π.χ. με χρήση ειδικών χρωμάτων, με επιφανειακές επεξεργασίες, με εμποτισμούς, με σταθεροποιητές υπεριώδους ακτινοβολίας κτλ. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει μια στρατηγική για ανθεκτικά υλικά με χρήση φιλικών προς το περιβάλλον και το χρήστη πρακτικών.

Τα δομικά υλικά επηρεάζονται κυρίως από χημικούς, βιολογικούς και φυσικούς παράγοντες. Το περιβάλλον παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς συμβάλλει τόσο στον ρυθμό, όσο και στην ένταση των αντιδράσεων που πυροδοτούνται στην επιφάνειά τους, αλλά λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της δομής τους, προκαλώντας αλλαγές στον ιστό και στα επί μέρους συστατικά, προκαλώντας αλλαγές σε βασικές ιδιότητες, όπως στο πορώδες και στην αντοχή, που οδηγούν σε αλλαγές της συμπεριφοράς τους στην κατασκευή. Ιστορικά και αρχαιολογικά ευρήματα οφείλουν σε σημαντικό βαθμό τη διατήρησή τους σε συνθήκες που απέτρεψαν ή καθυστέρησαν τους μηχανισμούς φθοράς. Οι συνηθέστερες μορφές με τις οποίες αποτυπώνεται η φθορά στα υλικά είναι:

- αλλοίωση του χρώματος,
- βιολογικές αποθέσεις στην επιφάνεια και μαύρη κρούστα,
- απότριψη της δομής,
- ρηγματώσεις,
- απώλεια συνοχής,
- απώλεια υλικού,
- καταρρεύσεις.

Ιστορικά, μεγάλη συζήτηση για την επίπτωση του περιβάλ-

2.
Εμφανείς φθορές στα κονιάματα και στα επιχρίσματα του Μεγάρου Λόγγου πριν από τις εργασίες αποκατάστασης.
©Γεωργία Ασλανίδου.



Ανθεκτικότητα υλικών και διαχείριση υφιστάμενης κατάστασης

Πού βρισκόμαστε αυτή τη στιγμή; Πολλές από τις υποδομές της κοινωνίας έχουν υπερβεί τη λειτουργική τους ζωή για την οποία είχαν σχεδιαστεί ή βρίσκονται κοντά στο τέλος της. Τα ερωτήματα που τίθενται για τα υλικά αυτών των κατασκευών είναι επίσης πολλά. Ποια κριτήρια ή ιδιότητες χρειάζονται για τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τι έχει συμβεί με τα υλικά κατά τα χρόνια λειτουργίας των κατασκευών; Έχουν γίνει αλλαγές στις ιδιότητες των υλικών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη λειτουργικότητα της δομής; Υπάρχουν συγκεκριμένες προκλήσεις σε σχέση με τα παλαιά υλικά;

Μια παράταση ζωής των υλικών και επομένως των κατασκευών μπορεί να είναι εφικτή μόνο εάν είναι τεκμηριωμένο ότι η ασφάλεια μπορεί να διατηρείται σε επαρκώς υψηλό επίπεδο ανά πάσα στιγμή.

Σε μια τέτοια εκτίμηση πρέπει να καλύπτονται τα ακόλουθα βασικά στοιχεία:

- Τεκμηρίωση ανθεκτικών (στιβαρών) υλικών.
- Χαρτογράφηση της φθοράς (υποβάθμισης) σε πολλές θέσεις των κατασκευών.
- Δοκιμές υλικών, προκειμένου να ληφθούν βασικές πληροφορίες για τις ιδιότητές τους.
- Εφαρμογή μιας υγιούς μεθοδολογίας για την αξιολόγηση της ευρωστίας των υλικών.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), που δημιουργήθηκε το 1988, είναι ένας από τους οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την παροχή ολοκληρωμένων αξιολογήσεων της κατάστασης της επιστημονικής, τεχνικής και κοινωνικοοικονομικής γνώσης για την κλιματική αλλαγή, τις αιτίες της, τις πιθανές επιπτώσεις, και στρατηγικές απόκρισης, καθώς και προειδοποιήσεις για την κλιματική αλλαγή.

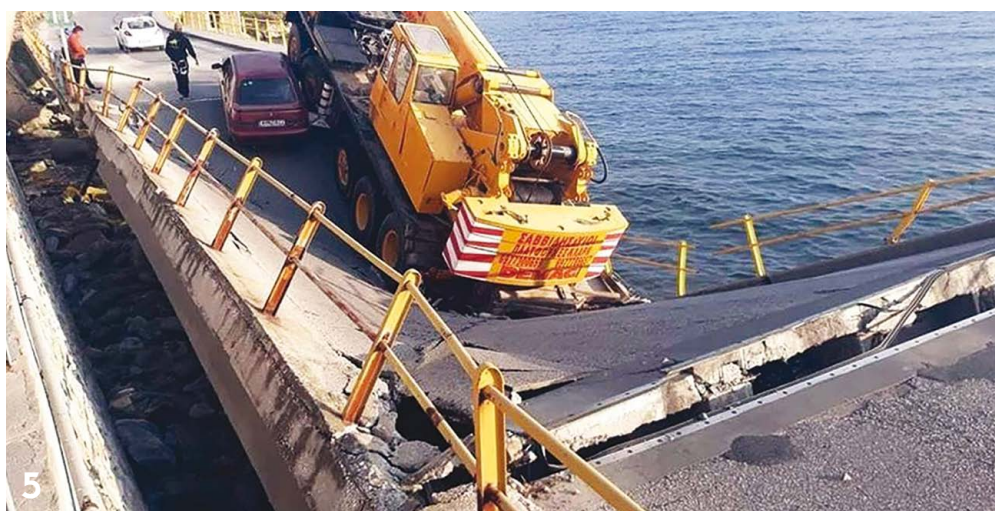
Η κλιματική αλλαγή αντιπροσωπεύει ένα εξέχον ερευνητικό θέμα τα τελευταία χρόνια και οι κλιματικές επιπτώσεις σε πόλεις και κατασκευές έχουν ιδιαίτερη σημασία που πρόσφατα αναγνωρίστηκε. Η αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου είναι δύσκολη λόγω ανεπαρκούς γνώσης, αδυναμίας υπολογισμού του πραγματικού κόστους της απώλειας ή της ζημιάς και τις επιπτώσεις των κινδύνων. Υπό αυτήν την έννοια, η ανθεκτικότητα νοείται ως η ικανότητα για αντιμετώπιση και ανάκαμψη από επιθετικά εξωτερικά γεγονότα, για παράδειγμα, κινδύνους και επιπτώσεις καταστροφών, όπως σεισμών, συγκρούσεων και μετεωρολογικών γεγονότων που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή. Η έρευνα κινείται σε διαφορετικές διευθύνσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η κατανόηση της υφιστάμενης κατάστασης, που είναι η πρώτη προτεραιότητα, απαιτεί καταγραφές (monitoring). Σε μια πρώτη προσέγγιση, με βάση τις τρέχουσες παρακολουθήσεις, σήμερα χρησιμοποιείται η τεχνητή νοημοσύνη για να προβλέψει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις σε διαφορετικά σενάρια.

Στο ερώτημα αν και πώς γερνούν τα υλικά, η απάντηση είναι θετική αλλά ο τρόπος και ο ρυθμός είναι διαφορετικός, πάντα σε συνάρτηση με το περιβάλλον έκθεσης και τη φύση του υλικού. Οι ιδιότητες των υλικών και οι συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ο συνδυασμός που καθορίζει τη μορφή, τον ρυθμό και το αποτέλεσμα της επίδρασης του χρόνου στα υλικά και επομένως στις κατασκευές. Η επιλογή των επί μέρους συστατικών για τα σύνθετα υλικά

λοντος στις κατασκευές και στα υλικά έγινε –σε τοπικό όμως επίπεδο– σε πόλεις, οι οποίες μετά τη βιομηχανική επανάσταση και στα μέσα περίπου του 2ου αιώνα είχαν καταγράψει αλλοιώσεις σε προσόψεις κτιρίων, κυρίως λίθινων. Οι τρόποι αντιμετώπισης και οι μεθοδολογίες προσέγγισης είναι πολλές στη βιβλιογραφία. Παρόλο που δεν υπάρχουν αρκετές εμπεριστατωμένες και στοχευμένες μελέτες των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα υλικά και στα κτίρια τα τελευταία χρόνια, ώστε να προκύψουν γενικές προτάσεις για τη λήψη μέτρων προστασίας τους, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι ο ρυθμός και ίσως η μορφή της φθοράς τους να είναι διαφορετικά λόγω βίαιων κλιματικών φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Για μια τέτοια μελέτη πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Δεδομένα κλιματικής αλλαγής και ατμοσφαιρικής ρύπανσης (π.χ. συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα, περιεκτικότητα σε μεθάνιο και υδρατμούς).
- Ανάλυση της σύστασης των υλικών που είναι εκτεθειμένα σ' αυτό το περιβάλλον, ώστε να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί φθοράς.
- Σύγκριση με υφιστάμενα δεδομένα από βάσεις μελέτης υλικών.
- Πρόταση δέσμης άμεσων και έμμεσων μέτρων προστασίας.

3. Η γήρανση και η φθορά των υλικών αποτελούν βασικές διαδικασίες στη διαρκή μετατροπή της ύλης στο πέρασμα του χρόνου, προερχόμενες είτε από κλιματικές καταπονήσεις είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.



και η εφαρμογή τους είναι ο βασικός πυρήνας, που ορίζει την ποιότητα τους.

Το περιβάλλον, μέσα στο οποίο θα λειτουργήσουν τα υλικά και κυρίως οι εναλλαγές του περιβάλλοντος, είναι καθοριστική παράμετρος για την ανθεκτικότητά τους. Σημαντικό είναι το παράδειγμα σε υλικά, όπως τα κονιάματα, οι πλίνθοι και οι λίθοι, που αποτελούν τα συστατικά της τοικοποιίας και έχουν μελετηθεί μετά από έκθεση χιλιετιών από ερευνητές σε διάφορα μέρη του κόσμου. Μπορεί αυτή η μελέτη να αποτελέσει μια πολύτιμη βάση δεδομένων για τη μορφή και την πορεία της συμπεριφοράς των υλικών στο χρόνο.

Φθορά των κονιαμάτων

Στην περίπτωση των κονιαμάτων, έχουν καταγραφεί εκείνα τα μικροδομικά χαρακτηριστικά, που καθορίζουν την ανθεκτικότητά τους στον χρόνο. Σ' αυτές τις περιπτώσεις το πορώδες, η κατανομή των κενών χώρων στη δομή, η διασύνδεση τους και φυσικά η μορφή και η σύσταση των δομικών τους μονάδων είναι καθοριστικοί παράγοντες για την ανθεκτικότητα των υλικών. Επίσης από τη μελέτη των κονιαμάτων προκύπτει ότι υλικά παρόμοια σύστασης και δομής, όταν λειτουργούν σε διαφορετικά περιβάλλοντα, μπορεί να

αποκτήσουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Αυτό αποτυπώνεται τόσο στην αντοχή τους, όσο και στη μορφή και σε άλλες ιδιότητες, όπως η σκληρότητα, το πορώδες, η συνάφειά τους με γειτονικά υλικά ή το χρώμα τους.

Είναι χαρακτηριστικό το παράδειγμα κονιαμάτων βασισμένων σε ασβέστη και φυσική ποζολάνη, που χρησιμοποιήθηκαν ως συνδετικά υλικά σε συνεργασία με λίθους για κατασκευή γεφυριών και εκτέθηκαν σε "σκληρό" ορεινό περιβάλλον με υγρασία και παγετό. Αυτά τα κονιάματα δύσκολα αποκολλήθηκαν από την τοικοποιία και όταν ελέγχθηκαν, κατέγραψαν θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη από 6 MPa, ενώ παραμένουν απολύτως λειτουργικά. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η δομή καταγράφεται εξαιρετικά συνεκτική και δευτερογενείς ανακρυσταλλώσεις του ασβεστιτικού υλικού συντελούν σ' αυτό το αποτέλεσμα. Από αυτό το παράδειγμα καταδεικνύεται ο καθοριστικός ρόλος που έχει το περιβάλλον στις διαδικασίες σε συνδυασμό με τη σύσταση των υλικών. Αν και φυσικοχημικά και βιολογικά φαινόμενα μέσα στο σύστημα πόρων μπορεί να μεγεθύνουν τις ρωγμές και να βλάψουν τη συνολική δομή, δεν προκαλούν πάντα φθορά (π.χ. σε πορώδη υλικά, όπως τα ασβεστοκονιάματα) και μερικές φορές βελτιώνουν τη συμπεριφορά αυτών των υλικών, μειώνοντας την ικανότητά τους να προσροφούν νερό

4. Φθορές (καταρρεύσεις τμημάτων των τοικοποιιών, αποκολλήσεις λίθων κτλ.) σε διάφορα τμήματα των οχυρώσεων του Κάστρου της Κορώνης, λόγω και των θαλάσσιων παλινδρομήσεων, ενώ εντοπίζονται πολλαπλά, δομοστατικά προβλήματα.

5. Η οξείδωση του οπλισμού της γέφυρας οδήγησε στην υποχώρηση του οδοστρώματος και στην κατάρρευση τμήματος της γέφυρας στην Εθνική Οδό Καβάλας - Ξάνθης.



6.
 Η αποσάθρωση του σκυροδέματος και η διάβρωση του χαλύβδινου οπλισμού αποτελούν τις πιο κρίσιμες απειλές για την ανθεκτικότητα των κατασκευών.
 ©Joel Goodman.



7.
 Ιδιαίτερη σημασία έχει η επιλογή των θερμομονωτικών υλικών, καθώς συνήθως είναι ευαίσθητα σε αστοχίες, που σχετίζονται με τη διείσδυση νερού και την υγρασία.

8.
 Η διάβρωση των λίθων σε μνημειακές και ιστορικές κατασκευές σχετίζεται με πολλές διαφορετικές φυσικοχημικές διεργασίες, που λαμβάνουν χώρα τόσο διαδοχικά, όσο και σε συνέργεια.





λόγω της "λιθοποίησης", που μπορεί να υποστούν μέσω διαδικασιών διάλυσης και επανακρυστάλλωσης του ασβεστίτικού υλικού που περιέχουν.

Κίνδυνοι έκθεσης του σκυροδέματος

Για κατασκευές από σκυρόδεμα σε θαλάσσιο περιβάλλον, που θεωρείται ιδιαίτερα εκθρικό, δεν είναι η αποσάθρωση του ίδιου του σκυροδέματος αλλά μάλλον η διάβρωση του ενσωματωμένου χαλύβδινου οπλισμού και των προεντεταμένων τενόντων, που αποτελεί την πιο κρίσιμη απειλή για την ανθεκτικότητα και τη μακροπρόθεσμη απόδοση αυτών των υλικών. Αν αποτραπεί ή επιβραδυνθεί η διεύδυση χλωρίου στο σκυρόδεμα, τότε ο ενσωματωμένος χάλυβας προστατεύεται αποτελεσματικά από τη διάβρωση με ηλεκτροχημική παθητικοποίηση του αλκαλικού σκυροδέματος. Συνιστάται να υπάρχει συστηματική παρακολούθηση του ρυθμού διεύδυσης χλωρίου στις κατασκευές και κυρίως για κατασκευές που πλησιάζουν τη διάρκεια ζωής του σχεδιασμού τους. Η ενανθράκωση του σκυροδέματος είναι μια τυπική κατάσταση γήρανσης και μελέτες βεβαιώνουν την επιτάχυνσή του σε περιβάλλον πλούσιο σε CO₂.

Διάβρωση και κόπωση του χάλυβα

Ο κύριος μηχανισμός υποβάθμισης των μεταλλικών κατασκευών είναι η διάβρωση και η κόπωση. Η διάβρωση είναι ένας μηχανισμός που μπορεί να παρακολουθηθεί με προγραμματισμένη επιθεώρηση. Προκαλεί

κυρίως τοπικές βλάβες στη δομή και δεν προκαλεί σημαντική μείωση του συνολικού επιπέδου ασφαλείας, εφόσον παρέχεται έλεγχος και συντήρηση και γίνονται οι κατάλληλες ενέργειες.

Η κόπωση ως βασικός μηχανισμός υποβάθμισης είναι αποτέλεσμα αρκετών προκλήσεων. Σήμερα τα προγράμματα ανάλυσης επιτρέπουν τη διεξαγωγή λεπτομερούς ανάλυσης κόπωσης. Παράμετροι, όπως η θερμική επεξεργασία, ο τύπος χάλυβα, το πάχος του χάλυβα, η συντήρηση που γίνεται και το είδος των φορτίων που δέχεται, μπορούν να επηρεάσουν τον χρόνο που χρειάζεται για να συμβεί μια πιθανή θραύση.

Φθορές από διάβρωση στους λίθους

Η διάβρωση των λίθων στα φυσικά περιβάλλοντα είναι πολύπλοκη, αλλά έχει μελετηθεί εκτενώς εξαιτίας της ευρείας χρήσης λίθων σε μνημειακές και ιστορικές κατασκευές. Σχετίζεται με πολλές διαφορετικές φυσικοχημικές διεργασίες, που λαμβάνουν χώρα τόσο διαδοχικά, όσο και σε συνέργεια.

Διόγκωση κατά τη διάρκεια κύκλων διαβροχής - ξήρανσης, χημική διάλυση ορυκτών και φθορά λόγω θερμικής διαστολής δημιουργούν ρωγμές, που μπορούν να δράσουν ταυτόχρονα στις καιρικές συνθήκες και στην έκθεση σε άλατα. Η συμβολή του ανέμου στη διάσπαση των λίθων αποτελεί επίσης σημαντικό περιβαλλοντικό παράγοντα φθοράς με ποικίλους μηχανισμούς δράσης (μηχανικούς, χημικούς και βιολογικούς).

9. Η διάβρωση και η κόπωση του χάλυβα αποτελούν μηχανισμούς υποβάθμισης των μεταλλικών κατασκευών.



Αλλαγές στη δομή των πλίνθων

Οι πλίνθοι είναι τεχνητά δομικά υλικά, που όταν εκτεθούν σε καιρικές συνθήκες, σταδιακά επέρχεται φθορά. Επιφανειακά μπορεί να υπάρχει αποχρωματισμός και βιολογικές επικαλύψεις, αλλά αυτή η διαδικασία προκαλεί την ορυκτολογική, φυσική διάσπαση των κρυσταλλικών τους πλεγμάτων, επιτρέποντας ιοντική μετανάστευση για παραγωγή νέων ορυκτών με τάση εισόδου σε νέα θερμοδυναμική ισορροπία με το περιβάλλον. Δημιουργούνται νέες ενώσεις, που οδηγούν σε ρηγμάτωση, σπότριψη και μείωση των αντοχών των πλίνθων.

Ο χαρακτηρισμός των ικνών των καιρικών συνθηκών σε πλίνθους από μνημειακές κατασκευές και από ιστορικά κτίρια είναι κρίσιμος κατά τις δραστηριότητες καθαρισμού και συντήρησης, για να αποφευχθεί περαιτέρω φθορά και απώλεια του υλικού. Η ορυκτολογική σύσταση, η θερμοκρασία έψησης των πλίνθων, οι καιρικές συνθήκες και η θέση τους στην κατασκευή μαζί με τα φορτία που δέχονται καθορίζουν τη μορφή και τον βαθμό της διάβρωσης των πλίνθων.

Υγρασία: Ο μεγάλος εχθρός των μονωτικών υλικών

Μεταξύ όλων των μελετημένων κλιματικών παραγόντων γήρανσης, τα υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας φαίνεται να έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στη θερμική απόδοση αυτών των υλικών.

Η ιδιότητα, που συνήθως μετράται σ' αυτήν την περίπτωση,

είναι η θερμική αγωγιμότητα. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο συνδυασμός διαφορετικών συνθηκών, όπως έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία που εναλλάσσεται με υψηλά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας, οδηγεί σε μεγαλύτερη αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας σε σχέση με την απλή έκθεση σε υψηλή υγρασία. Γενικώς, όμως, η έκθεση σε υψηλά επίπεδα υγρασίας, ακόμη και όταν συνδυάζεται με άλλα καιρικά φαινόμενα, είναι πάντα υπεύθυνη για τις αλλαγές στη θερμική αγωγιμότητα.

Η γήρανση του ξύλου

Όταν το ξύλο εκτίθεται στο εξωτερικό περιβάλλον, η επιφάνειά του θα έχει ένα φυσικό φαινόμενο γήρανσης, με αποτέλεσμα μη αναστρέψιμες αλλαγές στη φυσική και στη χημική του δομή. Υπάρχουν πολλές πολύπλοκες διαδικασίες για γήρανση επιφάνειας ξύλου. Οι κύριοι παράγοντες γήρανσης είναι η υπεριώδης ακτινοβολία, η υγρασία, η θερμοκρασία και η έκθεση σε οξυγόνο, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ειδικές διεργασίες αποδόμησης, όπως σε φωτοχημική και φωτοφυσική οξειδωση. Η φωτοαποδόμηση εκδηλώνεται με μια αρχική αλλαγή του χρώματος της επιφάνειας, ακολουθούμενη από απώλεια γυαλάδας, τραχύτητα και ρωγμές. Η παρουσία ρωγμών ανοίγει έναν ευνοϊκό δρόμο για τη φυσική γήρανση με την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων στο ξύλο από την επιφάνεια μέχρι το βάθος της δομής και επιδεινώνει την υποβάθμιση των συνολικών ιδιοτήτων του ξύλου, όπως την παραμόρφωση και τη μείωση της αντοχής.

10.
Η ορυκτολογική σύσταση, η θερμοκρασία έψησης των πλίνθων, οι καιρικές συνθήκες και η θέση τους στην κατασκευή μαζί με τα φορτία που δέχονται καθορίζουν τη μορφή και τον βαθμό της διάβρωσης των πλίνθων.

11.
Η υγρασία, η θερμοκρασία και η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία είναι οι κύριοι παράγοντες γήρανσης του ξύλου.
©Wikimedia Commons.



Επιταχυνόμενη γήρανση στο εργαστήριο

Σε πολλά εργαστήρια γίνεται έλεγχος της μορφής και του ρυθμού φθοράς των υλικών με χρήση ειδικών θαλάμων που ρυθμίζουν κυρίως παραμέτρους, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία (UV), η θερμοκρασία και η υγρασία.

Οι δοκιμές γήρανσης των υλικών συνήθως περιλαμβάνουν κύκλους ψύξης - απόψυξης, αυξημένη θερμοκρασία, υψηλά επίπεδα υγρασίας και έκθεση σε κύκλους υψηλών επιπέδων υπεριώδους ακτινοβολίας, που εναλλάσσονται με υψηλές θερμοκρασίες και επίπεδα υγρασίας. Διάφορες ιδιότητες των δομικών υλικών πρέπει να ελέγχονται και να αξιολογούνται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την ολοκλήρωση των κύκλων της επιταχυνόμενης γήρανσης.

Παραδείγματα των ιδιοτήτων, που πρέπει να αξιολογηθούν σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια, μπορεί να είναι: οπτική αξιολόγηση (συμπεριλαμβανομένης της χρήσης μικροσκοπίων), μετρήσεις χρώματος (χρήση χρωματομέτρου), μηχανικές δοκιμές (π.χ. αντοχή σε εφελκυσμό, αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε διάτμηση, αντίσταση στην κρούση), αντοχή σε συνάφεια (π.χ. επιστρώσεις επιφανειών και κοκκοποίηση σε υποστρώματα), πορώδες, υδατοαπορρόφηση, διαπερατότητα ατμών, ανακλαστικότητα, τραχύτητα. Η ανάπτυξη μιας δεδομένης ιδιότητας με τον χρόνο μπορεί να είναι δύσκολο ή αδύνατο να προβλεφθεί. Τόσο μεγάλες, όσο και μικρές αλλαγές στις ιδιότητες μπορεί να συμβούν στην αρχή, κατά τη διάρκεια και στο τέλος του χρόνου γήρανσης και η εξέλιξη μπορεί να ακολουθήσει διαφορετικές πορείες, π.χ. τόσο γραμμικά, όσο και εκθετικά. Αν δηλαδή μια ιδιότητα μετράται μόνο πριν και μετά τη γήρανση,

πολύτιμες πληροφορίες για την αντίσταση στη γήρανση μπορεί να χαθούν. Επιπλέον, ανάλογα με την απαιτούμενη διάρκεια ζωής μπορεί επίσης να έχει μεγάλο ενδιαφέρον να γνωρίζει κανείς πόσο άνω από το επίπεδο αστοχίας μπορεί να είναι μια ιδιότητα καθ' όλη τη διάρκεια της επιθυμητής ζωής. Κρίσιμες ιδιότητες των υλικών και η ανθεκτικότητά τους στις κλιματικές καταπονήσεις μπορεί να καταγραφούν σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με το φυσικό κλίμα, με την επιταχυνόμενη γήρανση σε ελεγχόμενες συνθήκες. Αυτή η μεθοδολογία μπορεί να συμβάλει σε μείωση του κόστους, μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την προώθηση της βιωσιμότητας στον κατασκευαστικό κλάδο.

Μέτρα αντιμετώπισης του ευάλωτου των υλικών

Για την ανάπτυξη στρατηγικών διατήρησης, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τις φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στα υλικά, όταν εκτίθενται στην ατμόσφαιρα, τον τρόπο λειτουργίας τους και τον βαθμό, στον οποίο μπορούν να αντιμετωπιστούν. Τα μέτρα αντιμετώπισης μπορεί να διαχωριστούν σε άμεσα και έμμεσα.

Τα έμμεσα μέτρα έναντι της έκθεσης στις καιρικές συνθήκες και κατ' επέκταση της γήρανσης μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- Αποφυγή στην άμεση έκθεση στο περιβάλλον.
- Προστασία των εκτεθειμένων τμημάτων.
- Κλιματική προσαρμογή, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών αλλαγών.

12. Ειδικά διαμορφωμένος θάλαμος για επιτάχυνση της διάβρωσης, δοκιμάζοντας τις αντοχές των υλικών.
©National Research Council Canada.



13. Η πρόσοψη ενσωματώνει φωτοκαταλυτικές μονάδες (3D krypton modules), οι οποίες έχουν την ικανότητα να καθαρίζουν τον αέρα μέσω του φωτοκαταλυτικού τους υλικού.
©David Cardelús (courtesy of Naturgy).

- Συντήρηση σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.
- Αντικατάσταση σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.
- Προστασία του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά στα άμεσα μέτρα προστασίας, αυτά αφορούν στα ίδια υλικά και στα χαρακτηριστικά που τους προσδίδουμε (engineered properties). Η έρευνα προχωρά σε δύο κατευθύνσεις, που αφορούν από τη μια στην ανάπτυξη καινοτόμων υλικών, όπως τα αυτό-ίσιμα, και από την άλλη μελετάται η προστασία με επικαλύψεις των συμβατικών υλικών. Με τεχνικές, όπως η νανοτεχνολογία, η αλκαλική ενεργοποίηση, η αυτό-ίση, η χρήση ενεργών πληρωτικών υλικών (filler) και επικαλύψεων με σκοπό την αύξηση της επιτελεστικότητας, τη μείωση του κόστους συντήρησης και τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των υλικών, μπορεί να συντελέσει ο κατασκευαστικός κλάδος στη γενικότερη προσπάθεια της εξοικονόμησης πόρων και ενέργειας με υλικά αποδοτικά, φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, που θα υπηρετούν το σκοπό τους χωρίς υψηλές ανάγκες συντήρησης και θα ανακυκλώνονται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό.

Με βάση τα προαναφερθέντα, ένα βήμα πίσω στο χρόνο σχετικά με την καλή γνώση των υλικών κατασκευής και μια ματιά στα μελλοντικά κλιματικά σενάρια αποτελεί επιτακτική ανάγκη τόσο για τη διαφύλαξη των αρχαιολογικών χώρων, όσο και για την προστασία των σύγχρονων κατασκευών. Το περιβάλλον πάντα επεμβαίνει στις κατασκευές και στην ανθεκτικότητά τους. Ευθύνη και μέριμνα των ανθρώπων, που ασχολούνται σε οποιοδήποτε στάδιο στον κύκλο εργασιών της κατασκευής είναι να έχουν σύμμαχο το περιβάλλον και να λειτουργούν οι κατασκευές σε ισορροπία με αυτό. Η ανάπτυξη που φέρνει η κατασκευή σε έναν τόπο πρέπει να γίνει με σεβασμό στο περιβάλλον και για το στάδιο που βρίσκεται τώρα ο πλανήτης, τα σωστικά μέτρα οφείλουν να είναι ταχύτερα και αποτελεσματικά. Τα υλικά γερνούν, αλλά, αν αναπτύξουμε ανθεκτικά υλικά σε ένα υγιές περιβάλλον, η διαδικασία ωρίμανσης των υλικών θα είναι ελεγχόμενη και φυσιολογική, χωρίς ιδιαίτερο κόστος για τον άνθρωπο και τη φύση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- E. Smidt, M. Schwanninger, J. Tintner and K. Böhm, **Ageing and deterioration of materials in the environment - Application of multivariate data analysis.**
- Rolf H Hinderaker, Erik Hørlund, Gerhard Ersdal, Øystein Sævik, **Draft: ageing of materials**, proceedings of OMAE '08, 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering June 15-20, 2008, Estoril, Portugal.
- Fabio Sitzia, Manuel J.H. Peters, Carla Lisci, **Climate change and its outcome on the archaeological areas and their building materials. The case study of Tharros (Italy)**, Digital applications in archaeology and cultural heritage 25, 2022, e00226.
- C. Sabbioni, M. Cassar, P. Brimblecombe, J. Tidblad, R. Kozłowski, M. Drd'acký, C. Saiz-Jimenez, T. Grøntoft, I. Wainwright, X. Arino, **Global climate change impact on built heritage and cultural landscapes**, in: **International Conference on Heritage, Weathering and Conservation**, Taylor & Francis, Madrid, Spain, 2006, pp. 395–401.
- ECEEE, **Amending directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and directive 2012/27/EU on energy efficiency**, Official Journal of the European Union. European Commission, 2018.
- Bjørn Petter Jelle, **The role of accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory**, 7th Nordic Conference on Construction Economics and Organization, 2013.
- Wegger, E., B. P. Jelle, E. Sveipe, S. Grynning, A. Gustavsen, R. Baetens and J. V. Thue, **Ageing effects on thermal properties and service life of vacuum insulation panels**, Journal of Building Physics, 2011, 35, 128-167.
- D. (EU), 2018/844 of the E. P. and of the Council, **Amending directive 2010/31/EU on energy performance of buildings and directive 2012/27/EU on energy efficiency**, European Commission, 2018.
- EN ISO 4628-1, **Paints and varnishes. Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part I: General introduction and designation system**, 2003.
- Supriya Mahesh Patil, A.K.Kasthurba, Mahesh V.Patil, **Characterization and assessment of stone deterioration on Heritage Buildings Case Studies in Construction Materials**, volume 15, December 2021, e00696.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ΣΤΟ "ΚΤΙΡΙΟ"

- **Κονιάματα για αποκαταστάσεις ιστορικών κτιρίων. Σύγχρονα και παραδοσιακά υλικά.** Τεύχος 2/2021, σελ. 95.
- **Φυσικοί λίθοι στα κτίρια. Επιλογή με περιβαλλοντικά & δομικά κριτήρια.** Τεύχος 5/2020, σελ. 51.
- **Η υγρασία στα δομικά υλικά.** Τεύχος 4/2020, σελ. 85.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ & ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΡΘΡΑ

στην ιστοσελίδα www.ktirio.gr