



Βιοκλιματική θερινή κατοικία στην Κέα. Αρχιτεκτονική μελέτη: Φαίδρα Ματζιάρακη & Victor Gonzalez Marti, Μπέττυ Τσαούση. © Δημήτρης Κλεάνθης

ΦΥΣΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ & ΔΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΟΧΗ ΕΩΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΡΑ ΟΙ ΦΥΣΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΕΝΑ ΑΠΟ ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ. ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΣΕ ΦΥΣΙΚΗ ΜΟΡΦΗ Ή ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΟΙ, ΕΝΩ ΜΕ ΤΗ ΣΩΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΕΠΙΔΕΙΞΟΥΝ ΥΨΗΛΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΟΝΤΑΣ ΕΝΑ ΑΠΟ ΤΑ ΠΙΟ "ΠΡΑΣΙΝΑ" ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Τα πετρώματα είναι συμπαγή υλικά, τα οποία αποτελούνται από ένα ή περισσότερα ορυκτά. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διακρίνονται σε πυριγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή. Στην επιφάνεια της γης εκτιμάται ότι τα πετρώματα είναι σε ποσοστό 5% πυριγενή, 4% μεταμορφωμένα, 75% ιζηματογενή ενώ το υπόλοιπο 16% καλύπτεται από πάγους. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι λίθοι είναι ιζηματογενούς προέλευσης

λόγω της μεγάλης ποικιλίας και της εύκολης εξόρυξης και εργασιμότητάς τους. Πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα λόγω της ποικιλίας και της υψηλής αισθητικής τους έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για δόμηση και διακόσμηση.

Το γεωλογικό περιβάλλον, μέσα στο οποίο δημιουργήθηκε κάθε τύπος λίθου, προδιαγράφει τα χαρακτηριστικά του και τις ιδιότητές του. Στις συνθήκες που αυτός ο λίθος γεν-



Το γεγονός ότι οι περισσότερες κατασκευές σε διάφορες ιστορικές περιόδους έγιναν με τοπικά υλικά, οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα υλικά ήταν δοκιμασμένα στις συνθήκες του τόπου, στον οποίο υπήρχαν.

νήθηκε και υπάρχει βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον, ενώ ο ρυθμός διάβρωσής του είναι σταθερός. Δεν είναι τυχαίο και ούτε μόνο θέμα κόστους το γεγονός ότι οι περισσότερες κατασκευές σε διάφορες ιστορικές περιόδους έγιναν με τοπικά υλικά. Τα υλικά ήταν δοκιμασμένα στις συνθήκες του τόπου, στον οποίο υπήρχαν. Υπάρχει ο κίνδυνος ένας λίθος να διαβρωθεί με επιταχυνόμενους ρυθμούς, όταν βρεθεί σε ένα διαφορετικό περιβάλλον (π.χ. διαφορετική υγρασία και θερμοκρασία), αφού τόσο η ορυκτολογία του, όσο και φυσικές - μηχανικές ιδιότητές του, όπως το πορώδες και η αντοχή του, μπορεί να επηρεαστούν. Το φαινόμενο της φθοράς της πέτρας στο φυσικό περιβάλλον είναι κυρίως φαινόμενο προσαρμογής ή αναπροσαρμογής των πετρωμάτων στις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα τη μετατροπή των υπαρχόντων ορυκτών σε άλλα σταθερότερα, σε σχέση με την ατμόσφαιρα. Τα περισσότερα πετρώματα σχηματίζονται σε πολύ υψηλότερες συνθήκες

πίεσης και θερμοκρασίας από αυτές που επικρατούν στην επιφάνεια της γης. Η παρουσία οξυγόνου οδηγεί σε οξειδωση, ενώ η παρουσία υγρασίας σε ενυδάτωση ή διάλυση. Αυτή η αναπροσαρμογή μπορεί να επιφέρει διόγκωση του κρυσταλλικού πλέγματος. Αν συγκριθούν ίδιας σύστασης πετρώματα, η ανθεκτικότητά τους επηρεάζεται από το μέγεθος και τη συνάφεια των κόκκων τους και το πορώδες του λίθου. Έτσι, στην περίπτωση δύο ασβεστολίθων, αυτοί θα παρουσιάσουν διαφορετική συμπεριφορά σε διάβρωση ανάλογα με την υφή και το πορώδες. Επίσης, είναι γνωστό ότι πετρώματα με ίδιο μέγεθος κόκκων είναι πιο ανθεκτικά σε σχέση με αυτά που περιέχουν τόσο μεγάλους κόκκους, όσο και μικρότερους. Οι φυσικοί λίθοι αποτελούν βασικό υλικό για την κατασκευή ορισμένων τεχνικών έργων. Στη δόμηση χρησιμοποιούνται χωρίς προηγουμένως να υποστούν οποιαδήποτε φυσική ή χημική μετατροπή. Σε μερικές μόνο περιπτώσεις υφίστανται μηχανικές κατεργασίες,

για να αποκτήσουν τις επιθυμητές διαστάσεις και κατάλληλο σχήμα, ανάλογα με τις ανάγκες του έργου. Διατηρούν, επομένως, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των πετρωμάτων, από τα οποία προέρχονται.

Ιδιότητες

Η φυσική πέτρα είναι ένα από τα παλαιότερα δομικά υλικά. Θεωρείται ένα **διαχρονικό** οικοδομικό υλικό, καθώς η χρήση της ήταν συνεχής από την προϊστορική εποχή μέχρι και σήμερα. Οι τοικοποιίες όλων των τύπων και κάθε ιστορικής περιόδου βασίζονταν σε πέτρες, συνήθως τοπικής προέλευσης για να είναι εύκολη η μεταφορά τους. Οι φυσικοί λίθοι είναι αναμφισβήτητα ένα από τα πιο **"πράσινα"** διαθέσιμα υλικά. Λατομούνται απευθείας από τη γη και στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό δεν απαιτεί καμιά επεξεργασία ή μεταβολή εκτός από την κοπή, το πριόνισμα και το τελείωμα. Το γεγονός ότι τα πέτρινα κτίρια, από χιλιάδες χρόνια, εξακο-



Οι ακατέργαστοι λίθοι από τα λατομεία ονομάζονται αργοί.



Ανάλογα με το επίπεδο επεξεργασίας τους, οι λίθοι μπορεί να είναι τυκτοί, ημιλαξευτοί ή λαξευτοί.



Οι φυσικοί λίθοι μπορούν επίσης να διαμορφωθούν σε πλάκες με μικρό πάχος.



Οι φυσικοί λίθοι μπορούν να υποστούν κατεργασίες για να αποκτήσουν τις επιθυμητές διαστάσεις και κατάλληλο σχήμα, ανάλογα με τις ανάγκες του έργου.

λουθούν να στέκονται, αποδεικνύουν την υψηλή **ανθεκτικότητά** τους. Τα περισσότερα είδη λίθων απαιτούν **μικρή συντήρηση** και διατηρούν την **αισθητική** του υλικού. Ανάλογα με το είδος τους, οι λίθοι χαρακτηρίζονται από κατώτερο όριο ζωής τα 200 χρόνια.

Οι φυσικοί δομικοί λίθοι παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα, μικρό πορώδες και υδατο-απορρόφηση, μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, μικρή διαπίδωση υδρατμών, μεγάλες μηχανικές αντοχές και υψηλή αντοχή στον παγετό, στην υψηλή θερμοκρασία και στα διαβρωτικά αέρια, καθώς και υψηλές τιμές σκληρότητας και δυναμικών ελαστικών σταθερών.

Οι φυσικοί δομικοί λίθοι χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τοίχων, σε τοίχους αντιστήριξης, σε όψεις κτιρίων, σε ανοίγματα, σε κάλυψη στεγών, σε υπαίθριους χώρους. Παρόλο που οι φυσικοί λίθοι αντικαταστάθηκαν από νέα σύγχρονα υλικά, θεωρούνται ακόμη και σήμερα αναντικατάστατοι στην κατασκευή αισθητικών και ανθεκτικών κατα-

σκευών με ιδιαίτερο χαρακτήρα. Το κόστος, το βάρος και η χρονική απαίτηση για την επεξεργασία τους είναι τα βασικά μειονεκτήματα απέναντι σε άλλα υλικά.

Διάβρωση

Όλα τα υλικά, όμως, ακόμη και οι λίθοι, είναι επιδεκτικά στη διάβρωση. Ο ρυθμός, η μορφή και η ένταση της φθοράς που θα εμφανίσουν, ποικίλλουν και αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται από τον ίδιο το λίθο, από την κατασκευή και από το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργεί. Παράγοντες ανθεκτικότητας της κατασκευής είναι η τεχνολογία της, ο σχεδιασμός και η επιλογή των υλικών.

Οι διαδικασίες διάβρωσης ασκούν πιέσεις στα οικοδομικά υλικά (φυσικές, χημικές, μηχανικές), οι οποίες, υπό ορισμένους όρους ή μετά από έναν ορισμένο χρόνο, οδηγούν στη φθορά. Η διάβρωση είναι η λίγο πολύ βαθμιαία αύξηση της φθοράς, καθώς επίσης και η μείωση της ποιότητας των λίθων (μείωση

της αντοχής, αύξηση της διαπερατότητας, αλλοίωση χρωματική). Οι αλλοιώσεις στα υλικά ξεκινούν συνήθως από την εξωτερική τους επιφάνεια και συνεχίζονται προς το εσωτερικό της δομής, διότι η εξωτερική επιφάνεια είναι εκτεθειμένη στο περιβάλλον.

Η φθορά μπορεί να οριστεί ως μια μορφή υποβάθμισης (αποσύνθεσης) του λίθου, η οποία γίνεται εμφανής σε μια ορισμένη στιγμή και ποικίλλει σε ένταση, από τον αποχρωματισμό μέχρι την απώλεια συνοχής. Ο βαθμός ή η ένταση, με την οποία εκδηλώνεται η φθορά, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αρχική ποιότητα του υλικού. Η φθορά μπορεί να είναι ένα αισθητικό αλλά και λειτουργικό θέμα. Η διαδικασία διάβρωσης δεν είναι εξ ορισμού ίδια με την αιτία της φθοράς.

Η διάβρωση μπορεί να οφείλεται σε:

- εξωγενείς τάσεις, όταν εξωτερικοί παράγοντες ασκούν φορτία,
- ενδογενείς τάσεις, που είναι αποτέλεσμα χρόνιας λειτουργίας και από διάφορους λόγους (άλατα, παγετός) μπορεί εσωτερι-

ΕΙΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥΣ

Πυριγενή	Σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση μαγματικής ύλης, η οποία ανέρχεται με διάφορους τρόπους στην επιφάνεια της γης ή κοντά σ' αυτήν. Γενικά, είναι πετρώματα ομογενή. Χαρακτηριστικά δομικά πετρώματα αυτής της κατηγορίας είναι ο γρανίτης και η κίσηρη.
Ιζηματογενή	Σχηματίστηκαν από την καθίζηση διαλυμένου υλικού και συνήθως εμφανίζονται διατεταγμένα σε στρώσεις διαφορετικού πάχους. Τα κυριότερα ιζηματογενή πετρώματα, από τα οποία προέρχονται φυσικοί δομικοί λίθοι, είναι ο ασβεστόλιθος, ο τραβερτίνης, ο δολομίτης και οι ψαμμίτες.
Μεταμορφωσιγενή	Σχηματίστηκαν από τη μερική ή ολική μεταμόρφωση πυριγενών ή ιζηματογενών πετρωμάτων υπό την επίδραση διάφορων εξωτερικών παραγόντων, όπως η θερμότητα, η πίεση, το νερό κ.ά. Τα κυριότερα μεταμορφωσιγενή πετρώματα, από τα οποία προέρχονται φυσικοί δομικοί λίθοι, είναι τα μάρμαρα και οι κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ

Αργοί λίθοι	Ακατέργαστοι λίθοι από τα λατομεία ή πρόχειρα επεξεργασμένοι από τον τεχνίτη στο εργοτάξιο για την καλύτερη προσαρμογή τους στην κατασκευή.
Τυκτοί λίθοι	Λίθοι με χονδροειδή επεξεργασία στα λατομεία για την απόκτηση κανονικού σχήματος. Μπορεί να κατεργάζονται και από τεχνίτες στο εργοτάξιο. Παρουσιάζουν επίπεδες έδρες στην ορατή επιφάνεια στις κατασκευές (γωνιόλιθοι).
Ημιλαξευτοί λίθοι	Λίθοι που λαξεύονται στο εργοτάξιο ώστε οι επιφάνειες, που θα είναι ορατές, να είναι επίπεδες.
Λαξευτοί λίθοι	Λίθοι με επιμελημένη λάξευση στο εργοτάξιο, ώστε να ομαλοποιηθούν τελείως οι επίπεδες επιφάνειες. Χρησιμοποιούνται σε μνημεία και σε κατασκευές στις οποίες οι επιφάνειες δεν επικρίνονται για αισθητικούς λόγους.
Πλάκες	Λίθοι από σχιστολιθικά πετρώματα με φυσικές επιφάνειες σχισμού ή σχισμού με μηχανικά μέσα. Οι δύο διαστάσεις των πλακών είναι πολύ μεγαλύτερες από το πάχος τους.



Βαθιά κυψελιδική διάβρωση σε επιφάνεια τοιχοποιίας.



Η αστική ατμόσφαιρα δημιουργεί ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα, που επιταχύνουν τη φθορά των κατασκευών από πέτρα, ενώ σπουδαίος παράγοντας φθοράς είναι και το νερό.

κά να ασκηθούν τάσεις ικανές να φθείρουν το υλικό.

Υπάρχουν γενικά διαφορετικές συνθήκες, χωρίς τις οποίες τίποτα δεν μπορεί να συμβεί, παρά την παρουσία της διαδικασίας.

Όσον αφορά στα υλικά, μαλακοί πορώδεις λίθοι διαβρώνονται πιο γρήγορα και συντηρούνται δυσκολότερα σε σχέση με τους σκληρούς χαμηλού πορώδους λίθους.

Το τρίπτυχο **αιτία, μηχανισμός, αποτέλεσμα** μελετάται και αναλύεται στις περιπτώσεις προσέγγισης της παθολογίας.

Έρευνες αποδεικνύουν ότι τις τελευταίες δεκαετίες τα υλικά των κτιρίων δέχονται ιδιαίτερη επιβάρυνση από το περιβάλλον με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν έντονο ρυθμό αποσάθρωσης. Η επιβάρυνση οφείλεται σε ρυπαντές, που προέρχονται από τη βιομηχανία, την κυκλοφορία των οχημάτων και τους καυστήρες οικιακής χρήσης. Αυτοί οι ρυπαντές είναι:

- αιωρούμενα σωματίδια (αιθάλη, σκόνη),
- CO και CO₂ που προέρχονται από καυσαέρια,
- SO₂ που προέρχεται από καυσαέρια και βιομηχανικά αέρια,
- NO_x από βιομηχανικά αέρια και καυσαέρια,
- NH₃ από βιομηχανικά αέρια,
- υδρογονάνθρακες από καυσαέρια και βιομηχανικά αέρια.

Η ατμόσφαιρα των αστικών κέντρων δημιου-

ΑΙΤΙΕΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ

Οι αιτίες αποσάθρωσης διαχωρίζονται στις κατηγορίες που αφορούν στους ίδιους τους λίθους, στην ατμόσφαιρα, στο νερό, στον ανθρώπινο παράγοντα.

Πιο συγκεκριμένα, οι πιο συνηθισμένες αιτίες αποσάθρωσης είναι οι εξής:

- Βλάβες κατά την εξόρυξη και την κατεργασία του λίθου (ρωγμές).
- Καιρικές συνθήκες: Μονόπλευρη θέρμανση από τον ήλιο, εποχιακές θερμοκρασιακές διαφορές, ύγρανση και ξήρανση, διαστέλλουν και συστέλλουν τα πετρώματα λόγω διαφορετικού συντελεστή θερμικής διαστολής των ορυκτών που συνθέτουν το λίθο, δημιουργώντας ρηγματώσεις. Η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα του πετρώματος περιορίζει την αύξηση της θερμοκρασίας μόνο εξωτερικά με δημιουργία ρωγμών στην επιφάνεια.
Παράδειγμα: Μεταβολή θερμοκρασίας από 20°C σε 60°C στο χαλαζία δημιουργεί τάση 54 MPa.
- Άλατα. Νερό που μεταφέρει άλατα, όταν εξατμιστεί από το λίθο, αποθέτει τα άλατα. Η επανάληψη του φαινομένου δημιουργεί τάσεις στο πέτρωμα με συνέπεια το θρυμματισμό του.
- Άνεμος. Δρα μηχανικά με αποτέλεσμα τη δημιουργία σπηλαιώσεων σε λίθους.
- Νερό με μορφή βροχής ή/και ανερχόμενης υγρασίας δρα διαλυτικά στα πετρώματα. Ο βαθμός επίδρασής του εξαρτάται από την ευκολία, με την οποία εξατμίζεται το νερό από τη δομή του υλικού και, βέβαια, από τις ουσίες που μεταφέρει το νερό κατά τη διέλευσή του.
- Η μόλυνση της ατμόσφαιρας από καυσαέρια (π.χ. SO₂ που μετατρέπεται σε H₂SO₄ και είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό), υδρατμούς και άλλους ρύπους.
- Βιολογική αποσάθρωση. Οι μικροοργανισμοί δρουν μηχανικά και χημικά με αποτέλεσμα την απότριψη του λίθου. Οικογένειες οργανισμών είναι τα βακτήρια, οι μύκητες, οι λειχήνες, τα βρύα, τα ανώτερα φυτά (κισσός, δέντρα).
- Πυρκαγιές και γενικότερα φυσικές καταστροφές.
- Οξειδωμένα μεταλλικά στοιχεία (συνδέσεις, στηρίγματα).
- Ακατάλληλο συνδετικό κόνιαμα ή επαφή με ακατάλληλα υλικά.
- Ο χρόνος και κατ' επέκταση η παλαιώση.
- Κακοτεχνίες (π.χ. γρήγορος ρυθμός κατασκευής πριν από την οριστικοποίηση των παραμορφώσεων της κατασκευής με αποτέλεσμα μέρος αυτών να μεταφέρεται στην επένδυση).
- Η εγκατάλειψη και η έλλειψη μέτρων προστασίας.



Ανάμεσα στα μέτρα, που πρέπει να λαμβάνονται πριν από τη δόμηση είναι η επιλογή του κατάλληλου λατομείου και η περιορισμένη χρήση εκρηκτικών υλών. Στη φωτογραφία το λατομείο του Διόνυσου.

γεί ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα (π.χ. όξινη βροχή), που επιταχύνουν τη φθορά των κτιρίων από πέτρα, πολλαπλάσια σε σχέση με αυτήν σε αγροτικό περιβάλλον. Η χημική διαδικασία της διάβρωσης ενισχύεται από μηχανική θραύση, που οδηγεί σε ταχεία διεύρυνση της επιφάνειας των ορυκτών σε επαφή με το οξυγόνο και την υγρασία, επιταχύνοντας τη χημική αλλοίωση των ορυκτών.

Γενικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η φθορά της πέτρας είναι αποτέλεσμα χημικών και ηλεκτροχημικών δράσεων σε συνδυασμό με την ανάπτυξη μηχανικών τάσεων. Οι μηχανικές τάσεις είναι δυνατόν να προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου ή να δημιουργούνται στο εσωτερικό του δομικού υλικού (πήξη νερού, κρυστάλλωση αλάτων κτλ.)

Για παράδειγμα, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας καταστρέφουν τη συνοχή μεταξύ των κρυστάλλων του ασβεστίτη στο μάρμαρο (φυσική δράση), διευκολύνοντας την προσβολή από όξινα διαλύματα (χημική δράση), ενώ συγχρόνως εκδηλώνεται και εν ξηρώ προσβολή από το SO₂ (ηλεκτροχημική δράση). Η κατάσταση της ατμόσφαιρας (καιρικές συνθήκες), σε συνδυασμό με τη θέση της επιφάνειας, παίζουν καθοριστικό ρόλο για το ποιο από τα δύο τελευταία φαινόμενα επικρατεί.

Ειδικότερα, τα φαινόμενα της διάβρωσης της πέτρας ελέγχονται:

- από την πέτρα, δηλαδή το είδος του πετρώματος, την ορυκτολογική σύνδεση, τον ιστό, την υφή, τον τρόπο λατόμησης και επεξεργασίας και τις πιθανές προηγούμενες κατεργασίες,
- από το περιβάλλον και τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες, όπως από το βαθμό υγρασίας και την επαφή με το νερό της βροχής, από τους ανέμους μιας περιοχής, από το ποσοστό των ρύπων, από την ηλιακή ακτινοβολία, από την παρουσία διαλυτών αλάτων, από τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις (ημερήσιες και ετήσιες),
- από το έδαφος και συγκεκριμένα από το είδος του εδάφους και την παρουσία υπόγειων νερών ή τη γειτνίαση με τη θάλασσα,
- από τη θέση της πέτρας στην κατασκευή,
- από τη θέση της κατασκευής στο περιβάλλον,
- από τα γειτονικά υλικά,
- από το μέγεθος των λίθινων δοκιμίων (κλίμακα),
- από τον προσανατολισμό της κατασκευής,
- από τις ασκούμενες τάσεις.

Το νερό αποτελεί σπουδαιότατο παράγοντα φθοράς της πέτρας στις κατασκευές, καθώς

συμμετέχει με άμεσο ή έμμεσο τρόπο σε χαρακτηριστικά φαινόμενα (μεταφορά αλάτων, άσκηση πιέσεων, χημικές αλλαγές).

Κάποιες μορφές χαρακτηρίζουν συγκεκριμένα είδη λίθου (τα γρανιτικά πετρώματα χαρακτηρίζονται από αποφλοιώσεις και χαλάρωση της δομής), ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να συνυπάρχουν διαφορετικές μορφές φθοράς.

Η μορφή που έχουν οι διαβρωμένοι λίθοι ποικίλλει. Εξαρτάται από το είδος του λίθου, αφού σε ίδιες συνθήκες, διαφορετικής σύστασης λίθου μπορεί να παρουσιάσουν διαφορετικής μορφής φθορά, π.χ. ο άνεμος δημιουργεί τυπικές κοιλότητες στη δομή των λίθων (ιδιαίτερα των μαλακών). Οι πιο συχνά εμφανιζόμενες μορφές φθοράς στους λίθους είναι:

- η απώλεια υλικού,
- οι ρωγμές,
- η κυψέλωση,
- ο αποχρωματισμός,
- οι επικαθίσεις,
- η ανάπτυξη μικροοργανισμών,
- οι εξανθίσεις και τα άλατα,
- η χαλάρωση της δομής,
- οι αποφλοιώσεις,
- η απολέπιση.

Οι ιδιότητες των λίθων που επηρεάζονται από



Ο περιβάλλον χώρος των "HIDEOUT SUITES" στην Ίο διαμορφώνεται με τσιμεντοκονίαμα, κυβόλιθους και πέτρες, που χρησιμοποιούνται στην κυκλαδίτικη αρχιτεκτονική. Αρχιτεκτονική μελέτη: GFRA Architecture. Φωτογραφία: Παναγιώτης Βουμβάκης.

τους παραπάνω παράγοντες είναι αρχικά το πορώδες, αφού, σύμφωνα με τον Rodrigues, ανάλογα με το βαθμό διάβρωσης βρέθηκε ότι σε πέτρωμα με αρχικό πορώδες (υγιές δείγμα λατομείου) μικρότερο του 1% μπορεί να παρουσιάζει 2% - 5% σε παλαιά κατασκευή. Η αντοχή του λίθου μειώνεται, καθώς η συνοχή των κρυστάλλων χαλαρώνει και ταυτόχρονα αυξάνεται η διαπερατότητα του λίθου, επιτρέποντας τους φθοροποιούς παράγοντες να διεισδύουν όλο και βαθύτερα στη δομή του.

Έλεγχοι

Οι έλεγχοι στους φυσικούς λίθους που θα έχουν δομική εφαρμογή αφορούν στον προσδιορισμό των ιδιοτήτων που πρέπει να έχουν οι λίθοι, για να μπορέσουν να ανταποκριθούν κατά τον καλύτερο τρόπο στις ειδικές συνθήκες και στους ιδιαίτερους εξωτερικούς παράγοντες που επικρατούν στην περιοχή, στην οποία θα εκτελεστεί το έργο. Επίσης πρέπει να βρεθούν αυτοί οι λίθοι και να ελεγχθεί αν έχουν τις απαιτούμενες ιδιότητες. Αυτές οι ιδιότητες αφορούν στο πορώδες και στην πυκνότητα των λίθων, στο ειδικό βάρος, στην υδατοαπορροφητικότητα, στην αντοχή σε θλίψη και σε παγετό, στην αντοχή σε κρούση και τριβή (σκληρότητα), στο χρώμα,

καθώς και σε ειδικές απαιτήσεις, όπως αντοχή σε οξεία, σε πυρκαγιά κ.ά.

Γενικά, οι έλεγχοι αξιολογούν την καταλληλότητα μιας συγκεκριμένης πέτρας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Η αντοχή της πέτρας ελέγχεται για να προσδιοριστεί η αντοχή της σε θραύση και κάμψη. Η πυκνότητα ή το ειδικό βάρος δοκιμάζεται για να σχεδιάσει ένα σύστημα υποστήριξης ικανό να φέρει το βάρος της πέτρας. Η ποσότητα νερού που απορροφά η πέτρα (ρυθμός απορρόφησης) θα βοηθήσει στον προσδιορισμό της αντοχής της πέτρας στη χρώση και τη συμπεριφορά στην ψύξη. Η αντοχή στη φθορά και η ολίσθηση της πέτρας είναι καθοριστικής σημασίας για τις εφαρμογές δαπέδων. Προσπάθειες συσχέτισης της μορφής της παθολογίας με το πορώδες που παρουσιάζουν οι λίθοι έγιναν από τον Fitzner, απ' όπου προκύπτει ότι λίθοι που χαρακτηρίζονται από μεγάλο όγκο μεγάλων πόρων και μικρό όγκο μικρών πόρων φαίνονται πιο ανθεκτικοί σε διαδικασίες αποσάθρωσης, που οφείλονται στην υγρασία. Στον ορισμό κριτηρίων για κατηγοριοποίηση των λίθων χρησιμοποιήθηκε τόσο το ολικό πορώδες, όσο και η αναλογία μεγάλων / μικρών πόρων. Βάσει αυτού προκύπτει ότι η αποσάθρωση ελέγχεται από τα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων του πορώδους.

Έτσι, λίθοι με υψηλό ολικό πορώδες, που χαρακτηρίζονται από μεγάλους πόρους, είναι ανθεκτικοί στην κρυστάλλωση αλάτων στη δομή τους αλλά είναι επιδεκτικοί σε κύκλους ψύξης - απόψυξης, όταν οι πόροι κορεστούν από νερό. Σε λίθους που χαρακτηρίζονται από υψηλό ολικό πορώδες, μεγάλο ποσοστό μεγάλων πόρων αλλά και υψηλό ποσοστό μικρών πόρων καταγράφονται συνδυασμοί διάβρωσης, αφού είναι επιρρεπείς τόσο σε κρυστάλλωση αλάτων, όσο και σε κύκλους ψύξης - απόψυξης. Λίθοι με μικρό έως μέτριο ολικό πορώδες, με μεγάλη αναλογία μικρών πόρων και μικρότερη αναλογία σε μεγάλους πόρους είναι πολύ ανθεκτικοί σε διαβρωτικούς παράγοντες. Από τα παραπάνω φαίνεται ο σημαντικός ρόλος της δομής των λίθων στην ανθεκτικότητα.

Επιλογή

Στο παρελθόν, οι επιλογές για φυσικό λίθο περιοριζόνταν στα διαθέσιμα τοπικά υλικά. Σήμερα, ωστόσο, η παγκόσμια αγορά δίνει σειρά επιλογών και έχει καταστήσει τη διαδικασία επιλογής πιο περίπλοκη, με πολλούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η αντοχή σε πολλές περιπτώσεις είναι καθοριστικός παράγοντας, ειδικά για τα κτίρια



Αναστήλωση και αποκατάσταση ερειπωμένου, μεγαλιθικού, διώροφου κτίσματος του 18ου αιώνα, ανατολικά της Μάνης. Αρχιτεκτονική μελέτη / επίβλεψη: Έλενα Ζερβουδάκη. Εταιρεία z-level. Φωτογραφία: Μπάμπης Λουιζίδης.

που είναι υψηλότερα από δύο ορόφους. Η εξωτερική πέτρα, επίσης, πρέπει να καλύπτει αρκετές απαιτήσεις συμπεριλαμβανομένου του φορτίου βαρύτητας, του φορτίου ανέμου, των σεισμικών φορτίων, του υδρατμού, της ψύξης - απόψυξης, της ελαστικής παραμόρφωσης και θερμικής διαστολής και συστολής. Η απορρόφηση (ή το πορώδες) της πέτρας είναι ένας άλλος βασικός παράγοντας, που θα επηρεάσει τη μακροζωία, την αντοχή και την εμφάνισή τους με την πάροδο του χρόνου. Στην περίπτωση εφαρμογής του λίθου εσωτερικά, ο μεγαλύτερος παράγοντας που επηρεάζει τη διαδικασία επιλογής είναι εάν η πέτρα θα χρησιμοποιηθεί σε κατακόρυφη ή οριζόντια εφαρμογή.

Οι λίθοι, όταν ενσωματωθούν σε έργο, υφίστανται την επιρροή των διαφόρων εξωτερικών παραγόντων, που προκαλούν αποσύνθεση και γρήγορη γήρανση σ' αυτούς και κατά συνέπεια συντελούν στη φθορά και στην καταστροφή του έργου. Πρέπει, επομένως, εκτός από την προσεκτική επιλογή των πιο κατάλληλων λίθων, να ληφθούν και διάφορα προστατευτικά μέτρα για τη διατήρησή τους σε όσο το δυνατόν καλύτερη κατάσταση. Αυτά τα προστατευτικά μέτρα λαμβάνονται είτε πριν να γίνει η δόμηση των λίθων είτε κατά τη δόμηση τους είτε μετά (συντήρηση).

Τα μέτρα, που πρέπει να λαμβάνονται πριν από τη δόμηση και μετά απ' αυτήν είναι τα εξής:

- Περιορισμένη χρήση εκρηκτικών υλών κατά την εξόρυξη.
- Επιλογή του κατάλληλου λατομείου.
- Ξήρανση των λίθων.
- Επεξεργασία της ορατής επιφάνειας.
- Ορθή τοποθέτηση κατά τη δόμηση.
- Συντήρηση (τακτικοί καθαρισμοί της επιφάνειας, απομάκρυνση των υδάτων που λιμνάζουν, κυρίως σε πλάκες, επικάλυψη των λίθων με διάφορα λάδια και ρητίνες).

Για την κατασκευή ενός έργου ο τεχνικός οφείλει να γνωρίζει τις ιδιότητες των λίθων που θα χρησιμοποιηθούν. Ο προσδιορισμός των απαιτούμενων ιδιοτήτων γίνεται με τη βοήθεια των προδιαγραφών ή, αν δεν υπάρχουν προδιαγραφές, με άλλους τρόπους που βασίζονται κυρίως στην εμπειρία του τεχνικού. Κατόπιν πρέπει να γίνει έρευνα για την εύρεση λίθων με τις ιδιότητες που καθορίστηκαν, κυρίως από τις απαιτήσεις του έργου ή στην περίπτωση που αντικαθίστανται υφιστάμενοι λίθοι, γνωρίζοντας τις ιδιοότητές τους. Γι' αυτό το σκοπό χρειάζεται να εξετασθούν τα υπάρχοντα στην περιοχή του έργου λατομεία, να ερευνηθεί αν υπάρχουν παραπλήσια έργα με αυτό που πρόκειται να εκτελεσθεί και, τέλος,



Ερευνητές του ETH Zurich και του MIT δημιούργησαν την εγκατάσταση "Rock Print", η οποία επεκτείνει τη χρήση 3D εκτύπωσης σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές, εισάγοντας τη ρομποτική κατασκευή. © Gramazio Kohler Research.

να εξετασθούν εργαστηριακά οι λίθοι, ιδίως όταν προέρχονται από νέο λατομείο.

Οι υπεύθυνοι ενός έργου πρέπει να εξετάσουν πολλούς παράγοντες κατά την επιλογή της φυσικής πέτρας. Για κάθε λιθοδομή που είναι εκτεθειμένη στις καιρικές συνθήκες, ειδικά όταν πρόκειται να μείνει ανεπίχριστη, πρέπει να χρησιμοποιούνται υγιείς και ανθεκτικές πέτρες. Οι λίθοι δομούνται ανάλογα με τα νερά τους (στην κατεύθυνση των νερών οι πέτρες είναι λιγότερο ανθεκτικές σε πίεση και σχίζονται ευκολότερα). Οι λίθοι πρέπει να αρμολογούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην υπάρχουν ούτε στο εξωτερικό ούτε στον πυρήνα της λιθοδομής συνεχείς αρμοί. Φυσικά, η αισθητική είναι συνήθως το πρώτο κριτήριο, και οι αισθητικές προτιμήσεις συχνά οδηγούν στην επιλογή του χρώματος, της υφής και του τελειώματος. Μέγεθος, πάχος και ανθεκτικότητα επίσης ελέγχονται. Άλλο πρακτικό ζήτημα περιλαμβάνει την προσφορά και τη διαθεσιμότητα της πέτρας και φυσικά το κόστος. Η αντιστοίχιση της σωστής πέτρας με την εφαρμογή είναι κρίσιμη. Οι περισσότερες εφαρμογές φυσικής πέτρας παρουσιάζουν αποτυχίες, επειδή συνδυάστηκε ένα φυσικό υλικό με μια ακατάλληλη εφαρμογή. Οι κατάλληλες δοκιμές και προδιαγραφές μπορούν να μετριάσουν τα περισσότερα από

αυτά τα προβλήματα. Ως προστατευτικά μέτρα αναφέρονται ο **προσεκτικός χειρισμός** κατά την εξόρυξη και λάξευση και η **ορθή επιλογή** του πετρώματος, ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση των λίθων.

Πιστοποιημένα προϊόντα

Η εξασφάλιση της ποιότητας ενός προϊόντος, όπως του δομικού λίθου, πετυχαίνεται σε ένα σημαντικό βαθμό με την πιστοποίηση των υλικών, που βασίζονται σε κανονισμούς και διεθνείς νόρμες. Αυτός ο έλεγχος εξασφαλίζει ότι το προϊόν λειτουργεί όπως αναμένεται. Αυτά τα πρότυπα (ASTM, EN, ΕΛΟΤ) βοηθούν στην οργάνωση της βιομηχανίας και προστατεύουν τους τελικούς χρήστες από την αποτυχία των προϊόντων. Οι κανονισμοί ορίζουν τις απαιτήσεις, στις οποίες το προϊόν πρέπει να ανταποκρίνεται (φυσικές και μηχανικές ιδιότητες), και εξηγούν ποιες μέθοδοι δοκιμής θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση αυτών των ιδιοτήτων. Επίσης περιγράφουν τα πρωτόκολλα δοκιμών που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ορισμένων ιδιοτήτων των λίθων, όπως την αντοχή σε θλίψη και κάμψη, την απορρόφηση νερού, την αντοχή στον αέρα, την αντίσταση στην τριβή και τα συστήματα αγκύρωσης.

Οι πέτρες κάθε περιοχής, αφού ελεγχθούν ως προς τα κριτήρια καταλληλότητάς τους, συνδυάζονται θαυμάσια με πολλά υλικά, όπως είναι το εμφανές σκυρόδεμα, το μέταλλο κτλ. Πρέπει, ωστόσο, να επιδιώκονται κατασκευαστικά εύκολες λύσεις. Η ποιότητα των λίθων, η γεωμετρία τους, το βάρος τους, οι κλίσεις του εδάφους, ο τρόπος στερέωσης των λίθων και το δέσιμό τους, η διάταξη των γωνιών και τα τελειώματα με κατάλληλες επιφάνειες είναι μερικά βασικά κριτήρια, που εφαρμόζουν εξειδικευμένοι τεχνίτες, οι οποίοι γνωρίζουν τα μυστικά της πέτρας.

Οι περισσότεροι άνθρωποι συμφωνούν ότι η ομορφιά και η ανθεκτικότητα κατατάσσονται στις κορυφαίες ιδιότητες της φυσικής πέτρας. Αλλά η φυσική πέτρα έχει άλλα οφέλη βιωσιμότητας, ειδικά όταν εξετάζεται ολόκληρος ο κύκλος ζωής. Η φυσική πέτρα μερικές φορές θεωρείται ως μια πιο ακριβή επιλογή, αλλά γίνεται ανταγωνιστική από πλευράς κόστους κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της, καθώς έχει μακρά διάρκεια ζωής και απαιτεί λιγότερη συντήρηση από πολλές άλλες επιλογές. Η φυσική πέτρα είναι 100% ανακυκλώσιμη και μπορεί είτε να διασωθεί και να ενσωματωθεί σε άλλα έργα είτε να θρυμματιστεί και να χρησιμοποιηθεί ως γέμισμα. Η τεχνική της προσομοίωσης φυσικής



Επένδυση πέτρας σε εσωτερικό τοίχο σε νεόδμητη κατοικία στη Μύκονο. Αρχιτεκτονική μελέτη: Zoumboulakis architects. Φωτογραφία: Ιωάννα Νικολαρεϊζή.

πέτρας με **τεχνητό λίθο** (χρήση αδρανών, φυσικών ή οργανικών συνδετικών κονιών) είναι παλαιά και συζητείται ευρέως, λόγω των προβλημάτων που προκύπτουν κατά τις επεμβάσεις σε πέτρινα μνημεία. Η τοποθέτηση ενός τεχνητού προϊόντος σε επαφή με ένα φυσικό υλικό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα με το χρόνο, καθώς μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο η προστασία των αυθεντικών λίθων.

Η περίπλοκη νομοθεσία σχετικά με το άνοιγμα των "αρχαίων" λατομείων ή το άνοιγμα νέων, το υψηλό κόστος των λίθων και η έλλειψη επιδέξιων τεχνιτών είναι μόνο λίγα από τα προβλήματα που οδηγούν σε εναλλακτικές λύσεις. Η παραγωγή πέτρινων κομματιών χαμηλού κόστους με προκαθορισμένες ιδιότητες και προβλέψιμη συμπεριφορά αποτελεί μια ελκυστική εναλλακτική λύση, αν μπορεί να αποδειχθεί ότι τα κριτήρια συμβατότητας μπορούν να είναι έγκυρα. Για να επιτευχθεί συμβατότητα, όσον αφορά στα αισθητικά και λειτουργικά κριτήρια, απαιτείται λεπτομερής μελέτη της δομής, των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων λίθων σε σχέση με των υφιστάμενων. Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά της νέας πέτρας θα μπορούσαν να προσαρμοστούν στα παλαιά με χειρωνακτική επεξεργασία. Σ' αυτήν την περίπτωση επίσης είναι απαραίτητη η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των εν λόγω τεμαχίων στο εργοτάξιο.

Νέες προοπτικές

Σήμερα, δίνεται η δυνατότητα στους αρχιτέκτονες να αποφύγουν το φυσικό λίθο, εάν αισθάνονται ότι η δημιουργικότητά τους περιορίζεται, όταν χρησιμοποιείται φυσική πέτρα στο σύγχρονο σχεδιασμό. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, διερευνάται η αξία της χρήσης διαφόρων τελειωμάτων και νέων τεχνολογιών κατασκευής για την επίτευξη των αισθητικών τους στόχων. Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι μια τεχνική κατασκευής υλικών, στην οποία μια δομή είναι χτισμένη στρώμα με στρώμα με διάφορα υλικά εκτύπωσης, με βάση ένα τρισδιάστατο (3D) μοντέλο δεδομένων. Την τελευταία δεκαετία, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για την τρισδιάστατη εκτύπωση σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού, λόγω των πλεονεκτημάτων που έχει αυτή η μέθοδος σε σχέση με την παραδοσιακή, όπως η δυνατότητα κατασκευής γεωμετρίας ελεύθερης μορφής, η ταχύτητα κατασκευής και η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, το υλικό και το κόστος εργασίας. Σήμερα υπάρχουν πολλές ερευνητικές ομάδες και βιομηχανίες που εργάζονται στο θέμα με επιτυχημένες εφαρμογές. Ίσως η μεγαλύτερη πρόκληση του τρισδιάστατου λίθου είναι η επιτυχή εκτύπωση, που σημαίνει ότι η τυπωμένη δομή έχει τις επιθυμητές ιδιότητες σχήματος και υλικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Prikryl R, **New natural stone for the reconstruction of Charles Bridge in Prague**, International Conference Heritage, Weathering and Conservation Madrid, Spain, σελ.23-30, 2006.
- Arnold A., **Methodology of the study on decay, weathering and conservation of monuments**, Lecture notes international course on the technology of stone conservation, 1995.
- Fitzner B., **Porosity properties and weathering behavior of natural stones - methodology and examples**, Proceedings second course on stone material in monuments: diagnosis and conservation, σελ. 43 - 53, Heraklion, Crete, 24-30 May 1993.
- Fitzner B., **Porosity analysis. A method for the characterization of building stones in different weathering states**, The engineering geology of ancient works, monuments and historical sites, preservation and protection, Αθήνα, 1988.
- Ashurst John, Ashurst Nicolas, **Practical building conservation**, volume I σελ. 38-42, 1988.
- Papachristoforou M., Mitsopoulos V., Stefanidou M, **Workability in 3D printing concrete**, Procedia Structural Integrity PROSTRIO41 S2452-3216(18)30071-4.
- Stefanidou M., **Approaches to the problem of limestone replacement**, Limestone in the built environment: present day challenges for the preservation of the past, Geological Society of London, 331(1) σελ. 113-117 Publishing House, UK, 2010.
- Stefanidou M., Pacht V., Papayianni I., **Design and testing of artificial stone for the restoration of stone elements in monuments and historic buildings**, Construction and building materials, vol.93, σελ. 957-965, 2015.
- Yingchuang building technique Shanghai Co.Ltd. WinSun, από την ιστοσελίδα <http://www.winsun3d.com/En/Contact/>, 2019.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ΣΤΟ "ΚΤΙΡΙΟ"

- **Αγκυρώσεις φυσικών λίθων στις όψεις. Υλικά & εφαρμογές.**
Τεύχος 10/2018, σελ. 79.
- **Επένδυση όψης με επικάλυψη πέτρας: Επιλογή, κατασκευή, συντήρηση.**
Τεύχος 7/2016, σελ. 81.
- **Το μάρμαρο στα δάπεδα. Ποιότητα, επιλογή, τοποθέτηση, συντήρηση.**
Τεύχος 1/2016, σελ. 59.
- **Οι φυσικοί λίθοι ως υλικά δόμησης.**
Τεύχος 3/2008, σελ. 85.
- **Τοίχοι από πέτρα. Νέες & παραδοσιακές τεχνικές δόμησης.**
Τεύχος 19/2007, σελ. 65

ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

- στον **"ΟΔΗΓΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 2020"** και
- στην ιστοσελίδα www.ktirio.gr