

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ
ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ
Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.**

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ
ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΩΝ ΔΟΜΗΜΑΤΩΝ**



Αθήνα, Ιούλιος, 2026

Η Τεχνική Οδηγία αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Εμβληματικού Ερευνητικού Έργου «Πρότυπη Διεπιστημονική Ανάπτυξη και Μεταφορά Τεχνογνωσίας και Συνεργασίας στην Αποκατάσταση Εμβληματικών Μνημείων και Ανάδειξη Αξιών του Χριστιανισμού σε Διάλογο με την Κοινωνία (Το Εύλογον)» με συνεργασία του ΤΕΕ και του ΕΜΠ. Το Εύλογον χρηματοδοτείται από το «ΤΠΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ – Γ. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 2021-2025» και υλοποιείται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας Καινοτομίας. Το πόνημα της Ο.Ε. του ΤΕΕ σε συνεργασία με τη Διεπιστημονική ομάδα του ΕΜΠ συζητήθηκε σε δημόσιο διάλογο, παρουσιάστηκε και αξιολογήθηκε από το Εθνικό Δίκτυο του Εύλογον (3^η Συνάντηση 9/7/2026) και τροποποιήθηκε με βάση τις προτάσεις που υπεβλήθησαν.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΤΟΤΕΕ)

«ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΩΝ

ΔΟΜΗΜΑΤΩΝ»

Ομάδα Εργασίας

Ο.Ε. που συνέταξε την ΤΟΤΕΕ «Κατευθυντήριες Οδηγίες Πρότυπης Διεπιστημονικής Μεθοδολογίας για την Αποκατάσταση Μνημείων και Διατηρητέων Δομημάτων», στο πλαίσιο του έργου *Το Εύλογον*, σύμφωνα με την υπ. αριθμ. Α15/Σ34/2025 Απόφαση και την υπ. αριθμ. τροποποίηση Α14/Σ41/2025 της Διοικούσας Επιτροπής του ΤΕΕ:

Αμαλία Ανδρουλιδάκη, Δρ. Αρχιτέκτονας Μηχανικός (Εθελοντικά) – Επίτιμη Πρόεδρος ΟΕ
Κωνσταντίνος Κούρταλης, Πολιτικός Μηχανικός – Προεδρεύων ΟΕ
Κωνσταντίνα Σιούντρη, Αρχιτέκτονας Μηχανικός
Θεόδωρος Πάνου, Αρχιτέκτονας Μηχανικός
Λουσία Καράπιττα, Πολιτικός Μηχανικός
Αλέξανδρος Νικολαΐδης, Μηχανολόγος Μηχανικός
Ελένη Αγγελακοπούλου, Δρ. Χημικός Μηχανικός
Ελισάβετ Τσιλιμαντού, Δρ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός
Κωνσταντίνος Αποστολόπουλος, Δρ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός
Κωνσταντίνος Βασιλειάδης, ΕΚΠΑ-MSc ΕΜΠ
Παγώνα Μαραβελάκη, Καθ. Σχ ΑΜ, Πολυτεχνείο Κρήτης (Εθελοντικά)

Επιστημονικά Υπεύθυνη

Αντωνία Μοροπούλου, Ομότ. Καθ. Σχ. Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Α' Αντιπρόεδρος ΔΕ ΤΕΕ
Επιστημονικά Υπεύθυνη του έργου ΕΥΛΟΓΟΝ

Συνεργάστηκαν

Ανδρέας Γεωργόπουλος, Ομότ. Καθ. Σχ. Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών -
Μηχανικών Γεωπληροφορικής ΕΜΠ
Χαράλαμπος Μουζάκης, τ. Καθ. Σχ. Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
Κυριάκος Λαμπρόπουλος, Επ. Καθ. Σχ. Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ
Μαρία Αποστολοπούλου, Δρ. Χημικός Μηχανικός
Στέργιος Ρουμελιώτης, Χημικός Μηχανικός

Υποστήριξη

Λιάνα Αναγνωστάκη, Δ/ση Δημοσίων Σχέσεων, Διεθνών και Ευρωπαϊκών Θεμάτων
Ομάδα Εργασίας για την Τεχνική και Οργανωτική Υποστήριξη του ΤΕΕ για το έργο ΕΥΛΟΓΟΝ

Επιμέλεια Έκδοσης

Κυριάκος Λαμπρόπουλος, Επ. Καθ. Σχ. Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Αξιολόγηση - Εφαρμογή

Εθνικό Δίκτυο για την αξιοποίηση της Πρότυπης Διεπιστημονικής Μεθοδολογίας του ΕΥΛΟΓΟΝ στο οποίο μετέχουν το ΕΜΠ στο πλαίσιο του Προγράμματος Εύλογον και το ΤΕΕ ως οργανισμός, καθώς και για τη συμμετοχή όλων των Ε.Ε.Ε. οι κλαδικοί, επιστημονικοί και επαγγελματικοί Σύλλογοι των Μηχανικών, οι Εργοληπτικές και Μελετητικές Οργανώσεις, Φορείς – χρήστες, Φορείς Έρευνας, Καινοτομίας και Ποιότητας, το Ελληνικό Τμήμα του ICOMOS (Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών), το Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς της Ελληνικής Εταιρείας Περιβάλλοντος και Πολιτισμού, τα Πολυτεχνεία και οι Πολυτεχνικές Σχολές της χώρας.

©2026 Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας

Τα δικαιώματα της παρούσας έκδοσης ανήκουν στο Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Απαγορεύεται η με οποιονδήποτε τρόπο ανατύπωση, καταχώριση σε σύστημα αποθήκευσης και επανάκτησης ή μετάδοσης μέρους ή του συνόλου του βιβλίου αυτού, χωρίς την έγγραφη άδεια του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, στο πλαίσιο της συμμετοχής του στο συγχρηματοδοτούμενο έργο «*Πρότυπη Διεπιστημονική Ανάπτυξη και Μεταφορά Τεχνογνωσίας και Συνεργασίας στην Αποκατάσταση Εμβληματικών Μνημείων και Ανάδειξη Αξιών του Χριστιανισμού σε Διάλογο με την Κοινωνία (Το Εύλογον)*», με την υπ' αριθμ. Α82/Σ11/2025 απόφαση της Διοικούσας Επιτροπής του και τις Α14/Σ23/2025 και Α13/Σ34/2025 σχετικές συμπληρώσεις και τροποποιήσεις, ενέκρινε με την υπ' αριθμ. Α15/Σ34/2025 απόφαση της Δ.Ε. του Τ.Ε.Ε. τη σύσταση και συγκρότηση της Ομάδας Εργασίας (Ο.Ε.) για τις ανάγκες του έργου «Το Εύλογον» με αντικείμενο την τυποποίηση των πρότυπων διεργασιών της διεπιστημονικής και ψηφιακής μεθοδολογίας του Εύλογον και τη διατύπωση προδιαγραφών των απαραίτητων μελετών, καθώς και την εκτέλεση και παρακολούθηση της ποιότητας των έργων αποκατάστασης.

Η Ο.Ε. ανέλαβε να επεξεργαστεί τις πρότυπες διεργασίες που έχουν ήδη εφαρμοστεί στο πλαίσιο του έργου και αφορούν στη διεπιστημονική μεθοδολογία της αειφόρου διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, αξιοποιώντας την τεχνογνωσία και τη συνεργασία των εταίρων του έργου σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Στόχος ήταν οι διεργασίες αυτές να τυποποιηθούν ώστε να ανταποκρίνονται βέλτιστα σε εφαρμογές μελετών και έργων αποκατάστασης, καλύπτοντας ειδικότερα τις πρότυπες διεργασίες διαγνωστικών μελετών, σχεδιασμού έργων αποκατάστασης, μελετών υλοποίησης και παρακολούθησης έργων, καθώς και δράσεων ανάδειξης των αξιών της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η τυποποίηση αυτή αντανάκλα τόσο τις ανάγκες της επιστημονικής κοινότητας σε επιστημονικά και τεχνικά θέματα και προδιαγραφές, όσο και τη δυνατότητα υλοποίησης και διαχείρισης των πρότυπων διεργασιών από τους συνεργαζόμενους φορείς που μετέχουν στο «*Εθνικό Δίκτυο για την αξιοποίηση της Πρότυπης Διεπιστημονικής Μεθοδολογίας του Εύλογον*».

Ειδικότερα ως προς την τεκμηρίωση και τον έλεγχο δομών και υλικών, που αποτελούν τη βάση των ανωτέρω μελετών και διεργασιών, η Ο.Ε. περιέλαβε τον καθορισμό βέλτιστων πρακτικών για τη συλλογή, ανάλυση και διαχείριση πολυφασματικών δεδομένων και πληροφοριών, με σκοπό τη διασφάλιση της επαναληψιμότητας, της αξιοπιστίας και της διαλειτουργικότητάς τους, καθώς και της αξιοποίησής τους από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα και τους σχετιζόμενους φορείς και χρήστες. Στην τυποποίηση των διεργασιών ενσωματώνονται διεθνή πρότυπα και σχετικά πρωτόκολλα, ώστε να καθίσταται εφικτή η ευρεία εφαρμογή της πρότυπης διεπιστημονικής και ψηφιακής μεθοδολογίας.

Για την εκπόνηση του έργου της, η Ο.Ε. συνεργάστηκε τόσο με τη Διεπιστημονική Ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, όσο και με το «*Εθνικό Δίκτυο για την αξιοποίηση της Πρότυπης Διεπιστημονικής Μεθοδολογίας του Εύλογον*», στο πλαίσιο του οποίου παρουσιάστηκε, στις 9 Ιουλίου 2026, στην Αίθουσα Εκδηλώσεων του ΤΕΕ, το περιεχόμενο της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας, προκειμένου να συγκεντρωθούν οι παρατηρήσεις των μελών του Δικτύου πριν από την οριστικοποίησή της. Ο συντονισμός και η παρακολούθηση της δράσης και της Ο.Ε. ανατέθηκε στην Α' Αντιπρόεδρο του ΤΕΕ.

Αποτέλεσμα της ανωτέρω διεργασίας είναι η παρούσα Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ) με τίτλο «*Κατευθυντήριες Οδηγίες Πρότυπης Διεπιστημονικής Μεθοδολογίας για την Αποκατάσταση Μνημείων και Διατηρητέων Δομημάτων*», η οποία καλείται να ανταποκριθεί στην αναγκαιότητα θέσπισης διαδικασιών επιστημονικής σύνθεσης που ικανοποιούν τη διεπιστημονικότητα και εισάγουν μία ολοκληρωμένη επιστημονική μεθοδολογία για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως διαχρονικά έχουν αναδείξει οι διεθνείς επιστημονικές επιτροπές του ICOMOS. Οι κατευθυντήριες οδηγίες που περιγράφονται στην παρούσα ΤΟΤΕΕ συνάδουν με

τους στόχους και τις αρχές διατήρησης που θέτουν οι διεθνείς Χάρτες, καθώς και η Διεθνής και η Εθνική Νομοθεσία, και αφορούν ειδικότερα: α) στη διατήρηση των μνημείων όπως καθορίζεται από τους Χάρτες και τις Διεθνείς Συμβάσεις για την Πολιτιστική Κληρονομιά, β) στην ανταπόκριση του μνημείου στις απαιτήσεις που προκύπτουν από τη χρήση του, γ) στις απαιτήσεις του κτιρίου ως προς τα κριτήρια επιτελεστικότητας και συμβατότητας, δ) στην εφαρμογή ολικού ελέγχου ποιότητας, ο οποίος ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές και διενεργείται βάσει σαφών κριτηρίων και μεθοδολογίας ελέγχου.

Η διεπιστημονική μεθοδολογία για την αποκατάσταση μνημείων που αναπτύσσεται στην παρούσα TOTEE διέπεται από τις ακόλουθες βασικές αρχές: α) τη διασφάλιση της συμβατότητας των επεμβάσεων με τα αρχιτεκτονικά και ιστορικά χαρακτηριστικά και τις αξίες του ακίνητου μνημείου, β) τη διασφάλιση της συμβατότητας των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης που προκρίνονται και εφαρμόζονται μέσω διεπιστημονικής μεθοδολογίας και σχετικών μελετών, γ) τη διασφάλιση της επιτελεστικότητας των επεμβάσεων, μέσω ολοκληρωμένης δομητικής ανάλυσης και αξιολόγησης κινδύνων, δ) τη διασφάλιση της αειφορίας του μνημείου, όσον αφορά στην αύξηση του χρόνου ζωής του μνημείου και των επεμβάσεων, τη βελτίωση της συμπεριφοράς του έναντι περιβαλλοντικών παραγόντων και την ενίσχυση της ανθεκτικότητάς του, ε) και τη διασφάλιση της αρχής της αναστρεψιμότητας και της εφαρμογής μη επεμβατικών μεθόδων για την καταγραφή των δεδομένων που απαιτούνται για τις μελέτες αποκατάστασης και προστασίας.

Στη βάση των ανωτέρω αρχών, η παρούσα TOTEE ακολουθεί τις κύριες φάσεις για την αποκατάσταση και προστασία μνημείων και διατηρητέων δομημάτων, ήτοι την τεκμηρίωση, τη διάγνωση και αποτίμηση παλαιότερων επεμβάσεων, τη μελέτη επεμβάσεων, τις εργασίες επεμβάσεων, την αποτίμηση επεμβάσεων και την παρακολούθηση – έλεγχο, καλύπτοντας με τον τρόπο αυτό όλο τον κύκλο ζωής του μνημείου ή διατηρητέου δομήματος, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκτέλεση των επεμβάσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αξιοποίηση σύγχρονων ψηφιακών εργαλείων και τεχνολογιών —όπως η τρισδιάστατη τεκμηρίωση, τα ψηφιακά δίδυμα και η HBIM μοντελοποίηση, οι τεχνικές μη καταστρεπτικού ελέγχου υψηλής μετρητικής ακρίβειας, καθώς και η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης στην ανάλυση δεδομένων— τα οποία συμβάλλουν στη μετάβαση από την αποσπασματική συλλογή δεδομένων ανά επιστημονικό ή τεχνικό πεδίο, στην ολοκληρωμένη και συστηματική διαχείριση γνώσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του μνημείου.

Το ΤΕΕ, μέσω της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας, φιλοδοξεί να προσφέρει στους εμπλεκόμενους επαγγελματίες ένα αξιόπιστο και τυποποιημένο εργαλείο αναφοράς, το οποίο θα υποστηρίξει τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των διεθνών αρχών και στρατηγικών για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς και της πρακτικής εφαρμογής τους σε έργα αποκατάστασης μνημείων και διατηρητέων δομημάτων. Η οριστικοποίηση της παρούσας TOTEE, έπειτα και από την ενσωμάτωση των παρατηρήσεων του Εθνικού Δικτύου, αποτελεί ένα ουσιαστικό βήμα προς την κατεύθυνση αυτή, με προοπτική τη συνεχή επικαιροποίηση της, παράλληλα με την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, της τεχνολογίας και της σχετικής νομοθεσίας.

Αντωνία Μοροπούλου,
Ομότ. Καθ. Σχ. Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Α' Αντιπρόεδρος ΔΕ ΤΕΕ
Επιστημονικά Υπεύθυνη του έργου ΕΥΛΟΓΟΝ και της TOTEE

Περιεχόμενα

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΤΟΤΕΕ ΠΚ.....	1
1.1 Πεδίο Εφαρμογής.....	1
1.2 Εξαιρέσεις.....	1
1.3 Τροποποιήσεις – Αναθεωρήσεις.....	1
2. ΑΝΑΦΟΡΕΣ	2
3. ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	3
3.1 Όροι και ορισμοί	3
3.2 Συντομογραφίες.....	4
4. ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΤΟΤΕΕ ΠΚ.....	5
5. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΤΟΤΕΕ	8
5.1 Προκαταρκτική Μελέτη Σκοπιμότητας.....	9
5.1.1 Περιεχόμενο Προκαταρκτικής Μελέτης Σκοπιμότητας	9
5.1.2 Αντικείμενο της Προκαταρκτικής Μελέτης Σκοπιμότητας.....	9
5.1.3 Φάκελος του μελετώμενου έργου	9
5.2 Τεκμηρίωση, διαγνωστική ανάλυση φθοράς και βλαβών και αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης.....	10
5.2.1 Εργασίες προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου	10
5.2.2 Αρχαιολογική - ιστορική τεκμηρίωση.....	11
5.2.3 Τοπογραφική αποτύπωση και γεωμετρική τεκμηρίωση.....	12
5.2.3.1 Σκοπός και πεδίο εφαρμογής γεωμετρικής τεκμηρίωσης και τοπογραφικής αποτύπωσης	12
5.2.3.2 Αρχές γεωμετρικής τεκμηρίωσης.....	12
5.2.3.3 Μέθοδοι τεκμηρίωσης και συλλογής δεδομένων.....	13
5.2.3.4 Παράγωγα γεωμετρικής τεκμηρίωσης (2D - 3D).....	14
5.2.3.4.1 Ψηφιακά Δίδυμα και HBIM μοντελοποίηση.....	14
5.2.3.4.2 Δεδομένα Τεκμηρίωσης και Ψηφιακή Αναπαράσταση	17
5.2.3.4.3 Επίπεδο Ανάπτυξης και Πληροφοριακής Ωριμότητας	17
5.2.4 Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση.....	18
5.2.4.1 Τυπολογική, Μορφολογική και Λειτουργική Ανάλυση του Μνημείου	18
5.2.4.2 Προσδιορισμός των Αξιών και των Χαρακτηριστικών Στοιχείων του Μνημείου.....	20
5.2.4.3 Ανάλυση του Άμεσου Περιβάλλοντος Χώρου και του Ιστορικού Τοπίου	20
5.2.4.4 Συμπεράσματα της Αρχιτεκτονικής Τεκμηρίωσης	21
5.2.5 Κατασκευαστική ανάλυση: Φάσεις κατασκευής – Προγενέστερες επεμβάσεις	21
5.2.6 Υλικά του μνημείου, χαρακτηρισμός, αίτια και μηχανισμοί φθοράς σε σχέση με τα περιβαλλοντικά φορτία που ασκούνται.....	22

5.2.6.1 Αξιοποίηση υφιστάμενων ευρημάτων για τα ιστορικά υλικά και τα υλικά προηγούμενων επεμβάσεων	23
5.2.6.2 Μη καταστρεπτικός έλεγχος (ΜΚΕ) υλικών	24
5.2.6.2.1 Σκοπός	24
5.2.6.2.2 Οπτικός έλεγχος	24
5.2.6.2.3 Ολοκληρωμένος σχεδιασμός εφαρμογής τεχνικών ΜΚΕ υλικών	25
5.2.6.2.4 Μη-καταστροφικός έλεγχος με υπερήχους (UT).....	27
5.2.6.2.5 Υπέρυθρη θερμογραφία (IRT)	28
5.2.6.2.6 Γεωραντάρ (GPR)	30
5.2.6.2.7 Φορητή Ψηφιακή Μικροσκοπία (Portable Digital Microscopy - PDM).....	31
5.2.6.2.8 Μη-καταστρεπτικός έλεγχος υλικών σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες	32
5.2.6.2.9 Πρότυπα και Προδιαγραφές για τεχνικές μη-καταστρεπτικού ελέγχου μνημείων και ιστορικών κατασκευών	33
5.2.6.3 Δειγματοληψία.....	35
5.2.6.3.1 Σκοπός της δειγματοληψίας	35
5.2.6.3.2 Δειγματοληψία για την χρονολόγηση δειγμάτων με θερμοφωταύγεια.....	35
5.2.6.4 Χαρακτηρισμός των υλικών – Εργαστηριακός έλεγχος.....	36
5.2.6.4.1 Σκοπός	36
5.2.6.4.2 Χαρακτηρισμός των υλικών	36
5.2.6.4.3 Διάγνωση της φθοράς των υλικών.....	36
5.2.6.4.4 Εργαστηριακές τεχνικές χαρακτηρισμού και διάγνωσης της φθοράς	37
5.2.6.4.5 Εργαστηριακός έλεγχος για τον χαρακτηρισμό ιστορικών λίθων	37
5.2.6.4.6 Εργαστηριακός έλεγχος για τον χαρακτηρισμό ιστορικών κονιαμάτων	42
5.2.6.5. Διάγνωση της φθοράς.....	46
5.2.6.5.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες	46
5.2.6.5.2 Βασικές αρχές	47
5.2.6.5.3 Παράγοντες φθοράς.....	47
5.2.6.5.4 Αλληλεπίδραση παραγόντων φθοράς	49
5.2.6.5.5 Μεθοδολογία διάγνωσης της φθοράς	50
5.2.6.5.6 Συσχέτιση αιτίων και μορφών φθοράς.....	51
5.2.6.5.7 Αξιολόγηση επικινδυνότητας και ιεράρχηση ευρημάτων διάγνωσης της φθοράς	53
5.2.6.5.8 Τεχνική έκθεση	53
5.2.6.6. Ψηφιακή χαρτογράφηση υλικών, φθορών και διαχείριση θεματικών επιπέδων πληροφορίας.....	54
5.2.6.7. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα υλικά	56
5.2.7 Κατηγοριοποίηση και χαρτογράφηση φθορών και βλαβών, αίτια και μηχανισμοί φθοράς και παθολογίας του μνημείου σε σχέση με τα περιβαλλοντικά φορτία	56

5.2.8 Γεωτεχνική έρευνα, μελέτη εδάφους θεμελίωσης και προσδιορισμός στάθμης θεμελίωσης του μνημείου	57
5.2.8.1 Η σημασία της γεωτεχνικής έρευνας στα μνημεία	57
5.2.8.2 Εξέταση γεωλογίας της περιοχής έδρασης του μνημείου	58
5.2.8.3 Τεχνικές προδιαγραφές γεωτεχνικών ερευνών	59
5.2.8.4. Δειγματοληψία δομικών στοιχείων ιστορικού μνημείου	60
5.2.8.4.1 Προσδιορισμός ορυκτολογικών – πετρογραφικών ιδιοτήτων δείγματος	60
5.2.8.4.2 Προσδιορισμός μηχανικών ιδιοτήτων δείγματος	61
5.2.8.5 Μη καταστρεπτικές μέθοδοι για γεωτεχνικές έρευνες	62
5.2.8.5.1 Γεωηλεκτρικές μέθοδοι διασκόπησης	63
5.2.8.5.2 Σεισμική μέθοδος (Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW)	64
5.2.8.5.3 Γεωραντάρ	64
5.2.8.6 Αξιολόγηση σεισμικής επικινδυνότητας	65
5.2.8.7 Γεωτεχνική έρευνα (παρουσίαση, αξιολόγηση και μελέτη) μέσω κατάλληλων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων	68
5.2.9 Ιστορική Σεισμικότητα- Ενόργανες καταγραφές	69
5.2.10 Καταγραφή και διάγνωση των προβλημάτων του χώρου	69
5.2.11 Μελέτη της έντασης και επιτάχυνσης των διεργασιών της φθοράς και της παθολογίας με βάση τα δεδομένα της κλιματικής αλλαγής	70
5.3 Στρατηγική και πρόταση αποκατάστασης	71
5.3.1 Μεθοδολογία διαμόρφωσης ολοκληρωμένης πρότασης αποκατάστασης	71
5.3.2 Μελέτη φέρουσας ικανότητας κατασκευής	75
5.4 Προμελέτη	79
5.4.1 Ανάλυση και αξιολόγηση της προκαταρκτικής μελέτης σκοπιμότητας	79
5.4.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση και τοπογραφική αποτύπωση	80
5.4.2.1 Στόχοι και απαιτήσεις γεωμετρικής τεκμηρίωσης και τοπογραφικής αποτύπωσης	80
5.4.2.2 Ποιοτικός έλεγχος και επικύρωση	80
5.4.2.3 Εξειδικευμένες γεωμετρικές τεκμηριώσεις	80
5.4.2.4 Παραδοτέα γεωμετρικής τεκμηρίωσης στη φάση της προμελέτης	80
5.4.2.5 Ανάλυση παραμορφώσεων και παθολογίας	82
5.4.2.6 Σημαιολογικός εμπλουτισμός μοντέλων	82
5.4.2.7 Παραδοτέα γεωμετρικής τεκμηρίωσης	83
5.4.3 Αρχιτεκτονική προμελέτη	83
5.4.3.1 Διαμόρφωση και Τεκμηρίωση της Αρχιτεκτονικής Πρότασης	83
5.4.3.2 Καθορισμός Αρχών και Στόχων Επέμβασης	84
5.4.3.3 Αναγνωσιμότητα του μνημείου και των επεμβάσεων	85
5.4.3.4 Ανακατασκευή Ιστορικών Τμημάτων και Στοιχείων	86
5.4.3.5 Διερεύνηση Εναλλακτικών Λύσεων και Τεκμηρίωση Επιλογής	86

5.4.3.6 Συμβατότητα Χρήσεων και Λειτουργική Οργάνωση	87
5.4.3.7 Ένταξη Νέων Κατασκευών, Προσθηκών και Συμπληρώσεων.....	88
5.4.3.8 Ενσωμάτωση Απαιτήσεων Προσβασιμότητας	88
5.4.3.9 Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας της Προτεινόμενης Λύσης.....	89
5.4.4 Προμελέτη φέρουσας ικανότητας κατασκευής (στατική μελέτη)	90
5.4.4.1 Δράσεις	91
5.4.4.2 Προσομοίωμα	92
5.4.4.3 Μηχανικά Χαρακτηριστικά Τοιχοποιίας	95
5.4.4.4 Βαθμονόμηση Προσομοιώματος	96
5.4.4.5 Ανάλυση	98
5.4.4.5.1 Ελαστική Ανάλυση.....	98
5.4.4.5.2 Μη γραμμική δυναμική ανάλυση	98
5.4.4.5.3 Επιλογή χρονοϊστοριών επιτάχυνσης ανά εξεταζόμενη Στάθμη Επιτελεσματικότητας.....	98
5.4.4.6 Ικανοποίηση ΣΕ	99
5.4.4.6.1 Ελαστική Ανάλυση - Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων.....	100
5.4.4.6.2 Προσεγγιστική μη γραμμική ανάλυση- Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων	100
5.4.4.6.3 Προσεγγιστική ανάλυση - Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων (SLAMA)	100
5.4.4.6.4 Μη γραμμική δυναμική ανάλυση	100
5.4.4.7 Τεχνική Έκθεση.....	101
5.4.5 Προμελέτη ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.....	104
5.4.6 Προμελέτη υλικών (Προτάσεις υλικών)	104
5.4.6.1. Προϋποθέσεις και βάσεις σχεδιασμού	105
5.4.6.2 Βασικές αρχές	105
5.4.6.3 Καθορισμός τεχνικών απαιτήσεων	105
5.4.6.4 Ενδεικτικές τεχνικές απαιτήσεις ανά κατηγορία επέμβασης.....	106
5.4.6.5 Παραδοτέα	106
5.4.6.6 Αξιοποίηση αποτελεσμάτων	107
5.4.7 Ψηφιακά Δίδυμα και HBIM μοντελοποίηση	108
5.4.8 Γεωτεχνική προμελέτη	109
5.5 Οριστική μελέτη	110
5.5.1 Οριστική Αρχιτεκτονική μελέτη	110
5.5.1.1 Εξειδίκευση Περιεχομένου της Οριστικής Αρχιτεκτονικής Μελέτης.....	111
5.5.1.2 Σχέδια Τεκμηρίωσης των Προτεινόμενων Επεμβάσεων	111
5.5.1.3 Τεκμηρίωση Επιλογής Υλικών και Κατασκευαστικών Λύσεων	112
5.5.1.4 Συντονισμός με τις Λοιπές Μελέτες του Έργου	112
5.5.1.5 Τεκμηρίωση Φάσεων Υλοποίησης των Επεμβάσεων	113

5.5.1.6 Τεκμηρίωση Επεμβάσεων σε Χαρακτηριστικά Στοιχεία του Μνημείου	113
5.5.1.7 Τεκμηρίωση Αναστρεψιμότητας, Ελάχιστης Επέμβασης και Διακριτότητας των Νέων Στοιχείων	114
5.5.1.8 Τεκμηρίωση Αποκατάστασης και Ανακατασκευής Στοιχείων του Μνημείου	114
5.5.1.9 Τεκμηρίωση Διατήρησης και Ανάδειξης Ιστορικών Φάσεων του Μνημείου	115
5.5.1.10 Τεκμηρίωση Βαθμού Βεβαιότητας και Μελετητικών Παραδοχών	115
5.5.1.11 Τεκμηρίωση Συμβατότητας με το Θεσμικό Πλαίσιο Προστασίας	116
5.5.1.12 Τεκμηρίωση Επεμβάσεων στον Περιβάλλοντα Χώρο	116
5.5.1.13 Τεκμηρίωση Χρήσεων, Λειτουργιών και Ροών Κίνησης	117
5.5.1.14 Συνολική Αξιολόγηση της Προτεινόμενης Λύσης	117
5.5.2 Οριστική μελέτη φέρουσας κατασκευής	118
5.5.3 Οριστική μελέτη Η/Μ εγκαταστάσεων	119
5.5.3.1 Η/Μ μελέτη και βιωσιμότητα επεμβάσεων	120
5.5.3.2 Τυποποίηση Η/Μ μελετών	120
5.5.4 Οριστική μελέτη υλικών (Προτάσεις υλικών)	121
5.5.4.1 Σκοπός	121
5.5.4.2 Προϋποθέσεις και βάσεις σχεδιασμού	121
5.5.4.3 Διαδικασία εκπόνησης	121
5.5.4.4 Αξιολόγηση υποψήφιων λύσεων	121
5.5.4.4.1. Επιλογή φυσικού λίθου αποκατάστασης και συμπλήρωσης	122
5.5.4.4.2. Σχεδιασμός και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης	126
5.5.4.4.3. Σχεδιασμός και αποτίμηση ενεμάτων δομικής αποκατάστασης και πλήρωσης ασυνεχειών ιστορικών τοιχοποιιών	141
5.5.4.4.4. Σχεδιασμός και αποτίμηση κονιαμάτων/παστών συγκόλλησης θραυσμάτων λίθων και αγκύρωσης μεταλλικών συνδέσμων	145
5.5.4.4.5. Σχεδιασμός και αποτίμηση υλικών και εφαρμογής στερέωσης λίθινων υποστρωμάτων	148
5.5.4.4.6. Σχεδιασμός και αποτίμηση υλικών και εφαρμογής καθαρισμού	151
5.5.4.4.7. Σχεδιασμός και αποτίμηση υλικών προστασίας	155
5.5.4.5 Αξιοποίηση αποτελεσμάτων	158
5.5.5 Χρήση HBIM και Ψηφιακών Διδύμων κατά τον Σχεδιασμό και την Υλοποίηση	159
5.5.5.1 Επικαιροποίηση και Διαχείριση του Ψηφιακού Υποβάθρου μετά την Ολοκλήρωση του Έργου	159
5.5.6 Οριστική Γεωλογική - Γεωτεχνική μελέτη	160
5.6 Μελέτη εφαρμογής	165
5.6.1 Αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής	165
5.6.1.1 Αντικείμενο και Στόχος της Αρχιτεκτονικής Μελέτης Εφαρμογής	166
5.6.1.2 Σχέδια Εφαρμογής και Κατασκευαστική Τεκμηρίωση	166

5.6.1.3 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες και Ειδικές Εφαρμογές.....	167
5.6.1.4 Συντονισμός της Αρχιτεκτονικής Μελέτης Εφαρμογής με τις Λοιπές Μελέτες του Έργου.....	167
5.6.1.5 Ποσοτικά Στοιχεία και Επιμετρήσεις	168
5.6.1.6 Επεμβάσεις σε Ιστορικά και Χαρακτηριστικά Στοιχεία του Μνημείου.....	168
5.6.1.7 Αποτύπωση Υφιστάμενων και Νέων Στοιχείων στα Σχέδια Εφαρμογής	169
5.6.1.8 Επεμβάσεις στον Περιβάλλοντα Χώρο.....	170
5.6.2 Μελέτη εφαρμογής φέρουσας κατασκευής	170
5.6.3 Μελέτη εφαρμογής ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων	171
5.6.4 Μελέτη εφαρμογής υλικών	171
5.6.4.1. Λίθοι αποκατάστασης	172
5.6.4.2. Κονιάματα αποκατάστασης	173
5.6.4.3 Μελέτη εφαρμογής ενεμάτων	173
5.6.4.4 Υλικά συγκόλλησης λίθων και αγκύρωσης μεταλλικών συνδέσμων	174
5.6.4.5 Επεμβάσεις στερέωσης	175
5.6.4.6 Επεμβάσεις καθαρισμού.....	175
5.6.4.7 Επεμβάσεις προστασίας.....	176
5.6.5 Γεωτεχνική μελέτη εφαρμογής.....	177
5.6.5.1 Αντικείμενο	177
5.6.5.2 Περιεχόμενο	177
5.6.6 Μελέτη εργοταξίου.....	179
5.6.6.1 Μέτρα Προστασίας του Μνημείου κατά την Εκτέλεση των Εργασιών.....	179
5.6.7 Χρονικός προγραμματισμός του υπό μελέτη έργου - Φάσεις Υλοποίησης και Αλληλουχία Εργασιών	180
5.6.8 Διαχείριση Αποκλίσεων και Απρόβλεπτων Ευρημάτων κατά την Εκτέλεση των Εργασιών	181
5.6.9 Αναλυτική και συνοπτική προμέτρηση	181
5.6.9.1 Κανονιστικό πλαίσιο.....	181
5.6.9.2 Προμέτρηση σε έργα αποκατάστασης μνημείων	182
5.6.10 Προϋπολογισμός δαπάνης για το σύνολο του μελετούμενου έργου.	183
5.6.10.1 Κανονιστικό πλαίσιο.....	183
5.6.10.2 Προϋπολογισμός δαπάνης	183
5.7 Σύστημα ελέγχου ποιότητας των έργων σε ακίνητα μνημεία.....	184
5.7.1 Έλεγχος ποιότητας σε όλα τα στάδια του έργου	184
5.7.1.1 Διαχείριση ποιότητας στο στάδιο προκαταρκτικής μελέτης σκοπιμότητας	185
5.7.1.2 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο της τεκμηρίωσης, αξιολόγησης και διαγνωστικής μελέτης	186
5.7.1.3 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο των μελετών επεμβάσεων	187

5.7.1.4 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο των μελετών εφαρμογής.....	188
5.7.1.5 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο εκτέλεσης των εργασιών	189
5.7.1.6 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο αποτίμησης των εργασιών	190
5.7.1.7 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο παρακολούθησης, συντήρησης και διαχείρισης κινδύνων μετά την ολοκλήρωση των εργασιών.....	191
5.7.1.8 Αναγκαιότητα εφαρμογής ολοκληρωμένου ελέγχου ποιότητας σε όλα τα στάδια του έργου	192
5.7.2 Ειδικά θέματα ελέγχου ποιότητας έργων	192
5.7.2.1 Εκτέλεση Έργου και Παρακολούθηση Ποιότητας των Η/Μ Εγκαταστάσεων.....	192
5.7.2.1.1 Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας (Quality Management System – QMS) έργων αποκατάστασης μνημείων.....	192
5.7.2.1.2 Δομή και αντικείμενο του Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας.....	193
5.7.2.1.3 Έλεγχοι υλικών, εγκαταστάσεων και εξειδίκευσης προσωπικού.....	193
5.7.2.1.4 Σχέδια «ως κατασκευάσθηκαν» (As-built) Η/Μ Εγκαταστάσεων.....	193
5.7.2.1.5. Σχέδιο Παρακολούθησης, Συντήρησης και Διαχείρισης Κινδύνων μετά την ολοκλήρωση	194
5.7.2.1.6 Σχέδιο Προληπτικής Συντήρησης (Preventive Maintenance Plan) Η/Μ Εγκαταστάσεων	194
5.7.2.1.7 Πρόγραμμα Παρακολούθησης (Monitoring) και αξιολόγηση συμπεριφοράς	194
5.7.2.1.8 Διαχείριση κινδύνων και συμβάντων (Risk & Incident Management).....	195
5.7.2.1.9 Επικαιροποίηση ψηφιακού φακέλου και αποθετηρίου (Living Repository) ...	195
5.7.2.2 Έλεγχος ποιότητας των υλικών	196
5.7.2.2.1 Έλεγχος ποιότητας των υλικών συντήρησης κατά τη διάρκεια του έργου (περιοδική δειγματοληψία και μη καταστρεπτικός έλεγχος επί τόπου).....	196
5.7.2.2.2 Έλεγχος ποιότητας των επεμβάσεων συντήρησης επί τόπου με το πέρας των επεμβάσεων και σε διάρκεια χρόνου (με καταστρεπτικός έλεγχος επί τόπου και εργαστηριακές αναλύσεις).....	197
5.8. Τεύχη δημοπράτησης.....	198
5.9 Εκτέλεση εργασιών	198
5.9.1 Φορείς και προσωπικό που εκτελούν τις εργασίες	198
5.9.2. Εργασίες «μειζονος σημασίας»	199
5.9.3 Εργασίες «ελάσσονος σημασίας»	201
5.9.4 Παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων.....	201
5.10 Αποτίμηση	202
5.10.1 Αποτίμηση αρχιτεκτονικών επεμβάσεων	202
5.10.2 Αποτίμηση γεωμετρίας αποκατεστημένου μνημείου	203
5.10.3 Αποτίμηση της συμβατότητας της επέμβασης μετά την ολοκλήρωση του έργου.....	203
5.10.3.1 Μέθοδοι αποτίμησης.....	204
5.10.3.2 Παραδοτέα	205

5.11 Σχέδιο Παρακολούθησης, Συντήρησης και Διαχείρισης Κινδύνων μετά την ολοκλήρωση	205
5.11.1 Σχέδιο Προληπτικής Συντήρησης (Preventive Maintenance Plan) H/M Εγκαταστάσεων	205
5.11.2 Πρόγραμμα Παρακολούθησης (Monitoring) και αξιολόγηση συμπεριφοράς	206
5.11.3 Διαχείριση κινδύνων και συμβάντων (Risk & Incident Management)	206
5.11.4 Εφαρμογή του Ευρωπαϊκού προτύπου EN 17652 «Πολιτιστική Κληρονομιά-Αξιολόγηση αρχαιολογικών αποθέσεων για την διατήρησή τους in situ» και σχέση του με διαχείριση έργων, αξιολόγησης διακινδυνεύσεων και περιβάλλοντος	207
5.11.5 Επικαιροποίηση ψηφιακού φακέλου και αποθετηρίου (Living Repository)	209
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ, ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ	211
Οδηγίες και Κανονισμοί	211
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	213
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Αναλυτικός κατάλογος σχετιζόμενων αναφορών	214
Παράρτημα Β-I Μεθοδολογία χρήσης, θέματα εξοπλισμού, ρύθμισης παραμέτρων και επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων ΜΚΕ	231
I.1 ΜΚΕ με υπερήχους (UT)	231
I.2 Υπέρυθη θερμογραφία (IRT)	233
I.3 Γεωραντάρ	237
I.4 Φορητή ψηφιακή μικροσκοπία	246
I.5 Μη-καταστρεπτικός έλεγχος υλικών σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες	248
Παράρτημα Β-II. Χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων	252
II-1 Οι τεχνικές χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων	252
II-2 Ταξινόμηση ιστορικών κονιαμάτων	256
Παράρτημα Β-III. Διάγνωση της φθοράς των ιστορικών υλικών και δομικών στοιχείων μνημείων	262
III-1. Αλληλεπίδραση παραγόντων φθοράς και διάκριση φαινομένων με παρόμοια εικόνα ...	262
III-2 Χαρακτηριστικοί μηχανισμοί φθοράς ανά κατηγορία ιστορικού υλικού	263
III-2.1 Φυσικοί λίθοι και δομικά κεραμικά	263
III-2.2 Κονιάματα, επιχρίσματα	263
III-2.3 Ξύλο	263
III-2.4 Μέταλλα	263
III-2.5 Ζωγραφικές επιφάνειες, τοιχογραφίες και ψηφιδωτά	263
Παράρτημα Β-IV. Συμβατότητα και επιτελεστικότητα κονιαμάτων αποκατάστασης	264
IV-1 Η συμβατότητα των κονιαμάτων αποκατάστασης	264
IV-2 Η συμβατότητα σε σχέση με τα ιστορικά υλικά	266
IV-3 Η επιτελεστικότητα ενός κονιαμάτος αποκατάστασης	269
IV-4 Όρια αποδοχής κονιαμάτων αποκατάστασης	270

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΤΟΤΕΕ ΠΚ

Το παρόν έγγραφο αποτελεί Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ) με τίτλο: «Κατευθυντήριες Οδηγίες Πρότυπης Διεπιστημονικής Μεθοδολογίας για την Αποκατάσταση Μνημείων και Διατηρητέων Δομημάτων». Για τη συνέχεια και για λόγους συντομίας, η παρούσα ΤΟΤΕΕ θα αναφέρεται ως «ΤΟΤΕΕ ΠΚ». Σκοπός της ΤΟΤΕΕ ΠΚ είναι η διατύπωση κατευθυντήριων οδηγιών για την εκπόνηση μελετών και για την εκτέλεση εργασιών που περιλαμβάνουν την παρακολούθηση, καταγραφή και αποτίμηση αυτών.

1.1 Πεδίο Εφαρμογής

Απευθύνεται σε μηχανικούς και εργολήπτες και στους φορείς διαχείρισης μνημείων και διατηρητέων δομημάτων. Η παρούσα ΤΟΤΕΕ παρέχει κατευθυντήριες οδηγίες που περιγράφουν λεπτομερώς τη γενική βέλτιστη πρακτική για την αποκατάσταση μνημείων και διατηρητέων δομημάτων, υπό ένα ενιαίο και ολοκληρωμένο πλαίσιο.

1.2 Εξαιρέσεις

1.3 Τροποποιήσεις – Αναθεωρήσεις

Οι αλλαγές και τροποποιήσεις που έλαβαν χώρα σε κάθε αναθεώρηση ή επανέκδοση του παρόντος εγγράφου, περιγράφονται συνοπτικά στον παρακάτω Πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΩΝ		
Έκδ.	Ημερ/νια	Περιγραφή
1	9-7-2026	Αρχική Έκδοση
2	23-7-2026	Έκδοση μετά τις παρατηρήσεις και τα σχόλια του Εθνικού Δικτύου για την αξιοποίηση της Πρότυπης Διεπιστημονικής Μεθοδολογίας του ΕΥΛΟΓΟΝ

2. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Οι σημαντικότερες αναφορές που λήφθηκαν υπόψη για τη σύνταξη του περιεχομένου της ΤΟΤΕΕ ΠΚ είναι οι εξής:

- Οδηγία (ΕΕ) 2015/1535 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 9ης Σεπτεμβρίου 2015, για την καθιέρωση μιας διαδικασίας πληροφόρησης στον τομέα των τεχνικών προδιαγραφών και των κανόνων σχετικά με τις υπηρεσίες της κοινωνίας των πληροφοριών (κωδικοποίηση) (Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ),
- Εγχειρίδιο νομοπαρασκευαστικής μεθοδολογίας που έχει συνταχθεί το έτος 2020 από τη Γενική Γραμματεία Νομικών και Κοινοβουλευτικών Θεμάτων της Προεδρίας της Κυβέρνησης,
- CEN-CENELEC Οδηγός 30:2015, Ευρωπαϊκός Οδηγός για Πρότυπα και Νομοθεσία – Καλή Νομοθέτηση μέσω της αξιοποίησης Προτύπων – Οδηγίες για τη θέσπιση δημοσίων πολιτικών,

Επίσης λήφθηκε υπόψη το ισχύον θεσμικό πλαίσιο στη Ελλάδα:

- ν. 4858/2021 Κύρωση Κώδικα νομοθεσίας για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Υπουργική Απόφαση ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929 (ΦΕΚ Β΄ 2837/05.07.2019), η οποία εκδόθηκε κατ' εφαρμογή σχετικών Προεδρικών Διαταγμάτων (ιδίως Π.Δ. 24/2019 και Π.Δ. 696/1974).

Επιπρόσθετα, ελήφθησαν υπόψη τα ακόλουθα σχετικά διεθνή πρότυπα και εθνικοί κανονισμοί:

- ΕΛΟΤ EN 15898 E2:2020 Conservation of cultural heritage - Main general terms and definitions (Συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς - Κύριοι γενικοί όροι και ορισμοί εννοιών)
- ΕΛΟΤ EN 17652:2025 Cultural heritage - Assessment and monitoring of archaeological deposits for preservation in situ (Συντήρηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς – Αξιολόγηση και παρακολούθηση αρχαιολογικών αποθέσεων για διατήρηση επί τόπου).
- ΕΛΟΤ EN 16096:2012 Conservation of cultural property - Condition survey and report of built cultural heritage (Συντήρηση πολιτιστικής κληρονομιάς - Εκτίμηση και έκθεση της κατάστασης των δομημένων χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς.
- ΕΛΟΤ EN 16853:2026 Conservation of cultural heritage - Conservation process - Decision making, planning, implementation and documentation (Συντήρηση πολιτιστικής κληρονομιάς - Διεργασία συντήρησης - Λήψη αποφάσεων, σχεδιασμός, υλοποίηση και τεκμηρίωση)
- Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας, ΚΑΔΕΤ, ΦΕΚ 2493/Β/18-4-2023
- ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Κανονισμός Επεμβάσεων), ΦΕΚ 3197/Β/22-6-2022, 3η Αναθεώρηση

Για περισσότερες αναφορές που σχετίζονται με το αντικείμενο της παρούσας ΤΟΤΕΕ, δείτε στο κυρίως κείμενο και στα Παραρτήματα αυτής.

3. ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

3.1 Όροι και ορισμοί

Στο πλαίσιο της ΤΟΤΕΕ ΠΚ γίνεται χρήση των εξής ειδικών όρων

ΤΟΤΕΕ

Τεχνικό έγγραφο το οποίο έχει αναπτυχθεί υπό τη μορφή Τεχνικής Οδηγίας και στη βάση των αρμοδιοτήτων του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.

ΜΝΗΜΕΙΟ

Σύμφωνα με την παράγραφο βγ του άρθρου 2 του ν.4858 ως ακίνητα μνημεία νοούνται τα μνημεία που υπήρξαν συνδεδεμένα με το έδαφος και παραμένουν σε αυτό ή στον βυθό της θάλασσας ή στον πυθμένα λιμνών ή ποταμών, καθώς και τα μνημεία που βρίσκονται στο έδαφος ή στον βυθό της θάλασσας ή στον πυθμένα λιμνών ή ποταμών χωρίς να είναι σταθερά συνδεδεμένα με αυτούς αλλά δεν είναι δυνατόν να μετακινηθούν χωρίς βλάβη της αξίας τους ως μαρτυριών. Στα ακίνητα μνημεία συμπεριλαμβάνονται οι εγκαταστάσεις, οι κατασκευές και τα διακοσμητικά και λοιπά στοιχεία που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα τους, καθώς και το άμεσο περιβάλλον τους.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 2 παρ. 2α ως εργασίες μείζονος σημασίας θεωρούνται εκείνες που επηρεάζουν την υφιστάμενη μορφή, δομή, τυπολογία, λειτουργία και τον άμεσο περιβάλλοντα χώρο του μνημείου, όπως εργασίες επισκευής, ενίσχυσης του φέροντος οργανισμού ή αλλαγή της στατικής λειτουργίας του με αναγκαίες επεμβάσεις στον φορέα, που επιβάλλονται είτε από την κατάσταση του μνημείου είτε από την εξυπηρέτηση της χρήσης του.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΛΑΣΣΟΝΟΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 2 παρ2α ως εργασίες ελάσσονος σημασίας θεωρούνται εκείνες που δεν επηρεάζουν την υφιστάμενη μορφή, δομή, τυπολογία, λειτουργία και τον άμεσο περιβάλλοντα χώρο του μνημείου, όπως επισκευή κεράμωσης, επισκευή κουφωμάτων, μικρής κλίμακας στερεωτικές εργασίες, υποστυλώσεις αναστρέψιμου χαρακτήρα, χρωματισμοί.

ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΔΥΜΟ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Το Ψηφιακό Δίδυμο Πολιτιστικής Κληρονομιάς (HDT) αποτελεί ένα ακριβές εικονικό αντίγραφο υλικών ή άυλων πολιτιστικών αγαθών. Υπερβαίνει τα συμβατικά τρισδιάστατα μοντέλα, καθώς ενσωματώνει διαρκώς δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο, περιβαλλοντικές διαγνώσεις, ιστορικά αρχεία και αναλύσεις υλικών, με σκοπό την προσομοίωση δομικών μεταβολών, την πρόβλεψη περιβαλλοντικών απειλών και τον σχεδιασμό προληπτικών δράσεων συντήρησης.

3.2 Συντομογραφίες

Ακολουθεί πίνακας με τις κυριότερες συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα ΤΟΤΕΕ:

Συντομογραφία	Ερμηνεία
ΕΑ	Έγγραφα Απαιτήσεων
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΛΟΤ	Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
ΚΑΔΕΤ	Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας
ΚΑΝΕΠΕ	Κανονισμός Επεμβάσεων
ΟΔΜ	Ολοκληρωμένη Διαγνωστική Μελέτη
ΟΕ	Ομάδα Εργασίας
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
ΤΟΤΕΕ	Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ
ΥΑ	Υπουργική Απόφαση
ΥΠΠΟ	Υπουργείο Πολιτισμού
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως
AI	Artificial Intelligence
BIM	Building Information Modeling
CEN	European Committee for Standardization
HBIM	Heritage Building Information Modeling
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indicator
NDT	Non Destructive Testing
NDTE	Non Destructive Testing and Evaluation
SDGs	Sustainable Development Goals
HDT	Heritage Digital Twin

4. ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΤΟΤΕΕ ΠΚ

Το ΤΕΕ έχει συμβάλει ουσιαστικά με σειρά προτάσεων, ήδη από το 1992, στη διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης επιστημονικής μεθοδολογίας για την συντήρηση και αποκατάσταση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς.

Στο πλαίσιο αυτό, αναφέρεται η συμβολή των ακόλουθων:

- Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ, «Προδιαγραφές Μελετών στα Έργα των Μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», 1992.
- Διεύθυνση Αναστήλωσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων, «Γενικές Προδιαγραφές Μελετών Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων και Σχετικών Χώρων», 11/1999.
- Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ, «Σύνταξη προδιαγραφών της διαγνωστικής μελέτης σε διεπιστημονική βάση για έκδοση υπουργικής απόφασης για την υλοποίηση του Ν. 3028 (Άρθρο 40, παρ. 4) του Υπουργείου Πολιτισμού για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», 9/2004.
- Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ «Κανονισμός παρακολούθησης και ελέγχου ποιότητας των έργων συντήρησης και προστασίας της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, σύμφωνα με το Ν. 3028 (Άρθρο 40, παρ. 4)», 9/2004.

Στον άρθρο 40 του ν.4858/2021 αναφέρεται ότι οι εργασίες σε ακίνητα μνημεία και ιδίως η συντήρηση, η στερέωση, η αποκατάσταση, η αναστήλωση, η κατάχωση, η τοποθέτηση προστατευτικών στεγών, η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου και οι εργασίες που αποβλέπουν σε απόδοση σε χρήση ή σε φιλοξενία χρήσεων αποσκοπούν στη διατήρηση της υλικής υπόστασης και της αυθεντικότητάς τους, την ανάδειξη και εν γένει στην προστασία τους.

Θέματα σχετικά με τους κανόνες που διέπουν την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση εργασιών σε ακίνητα μνημεία, οι οποίες εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του άρθρου 40 του ν.3028/2002 (όπως αυτό διατηρήθηκε και στο ν.4858/2021) ρυθμίζονται από την Υπουργική Απόφαση ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929 (ΦΕΚ Β΄ 2837/05.07.2019) «Κανονιστικό πλαίσιο για την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση εργασιών σε ακίνητα μνημεία».

Στην εν λόγω ΥΑ εξειδικεύονται, εν μέρει, οι ειδικότεροι κανόνες που διέπουν την εκπόνηση των μελετών και την εκτέλεση των εργασιών, οι οποίες εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του άρθρου 40 του ν.4858/2021 και αφορούν ιδίως την καταγραφή, αποτύπωση, τεκμηρίωση, τοπογράφηση των μνημείων, την κατάρτιση των σχετικών αρχιτεκτονικών, δομοστατικών και διαγνωστικών μελετών, τις μελέτες συντήρησης, προστασίας, αναστήλωσης, ανάδειξης, διαχείρισης και ολοκληρωμένης χρήσης των μνημείων, την εφαρμογή συστημάτων ποιοτικού ελέγχου στα έργα συντήρησης και αναστήλωσης και κάθε άλλο συναφές ζήτημα.

Η εν λόγω ΥΑ περιγράφει το πλαίσιο εκπόνησης των μελετών και την εκτέλεση των εργασιών σε ακίνητα μνημεία, αλλά δεν παρέχει επαρκείς λεπτομέρειες για κάθε ένα από τα στάδια και τις εργασίες που αναφέρονται, ώστε να θεωρηθεί ως κείμενο κατευθυντήριων οδηγιών, ή πρότυπο. Επικεντρώνεται κυρίως στην γενική διάρθρωση και περιγραφή των απαιτούμενων μελετών αλλά δεν υπεισέρχεται σε επιμέρους λεπτομέρειες για την εκτέλεσή τους. Επιπρόσθετα, δίνεται έμφαση σε ορισμένες μόνο κατηγορίες μελετών ενώ άλλες απλά καταγράφονται ονομαστικά.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15898 E2:2020 επικεντρώνεται στον καθορισμό των κύριων γενικών όρων και τον ορισμό εννοιών στο πεδίο της συντήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ως εκ τούτου δεν υπεισέρχεται σε τεχνικές λεπτομέρειες για τον τρόπο και τα μέσα αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης διατήρησης, τον σχεδιασμό, υλοποίηση και τεκμηρίωση επεμβάσεων σε μνημεία.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 17652:2025 επικεντρώνεται κυρίως σε αρχαιολογικούς χώρους. Περιγράφει, συνοπτικά, τα στάδια αξιολόγησης και τις διαδικασίες σχεδιασμού επεμβάσεων, που εν μέρει έχουν υιοθετηθεί και από την ΥΑ ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929. Καθορίζει τις βασικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης των αρχαιολογικών αποθέσεων, παρέχει γενικές οδηγίες για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, ενώ παρέχει ένα πλαίσιο για την παρακολούθηση των αρχαιολογικών χώρων. Εντούτοις δεν υπεισέρχεται στην αναλυτική περιγραφή μετρήσεων, αξιοποίησης τεχνολογιών και παροχή αναλυτικών κατευθυντήριων οδηγιών για κάθε στάδιο για το οποίο εισάγει τις βασικές έννοιες.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16096:2012 παρέχει κατευθυντήριες οδηγίες για την επιθεώρηση της κατάστασης της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς και καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να αξιολογείται, να τεκμηριώνεται, να καταγράφεται και να αναφέρεται η κατάσταση διατήρησής της. Περιλαμβάνει την αξιολόγηση της κατάστασης ενός κτιρίου ή άλλου κατασκευαστικού έργου κυρίως μέσω οπτικής παρατήρησης, σε συνδυασμό – όταν είναι απαραίτητο – με απλές μετρήσεις. Οι αρχαιολογικοί χώροι και τα πολιτιστικά τοπία δεν εξετάζονται στο εν λόγω πρότυπο, ενώ δεν καθορίζεται ο τρόπος διεξαγωγής μιας διαγνωστικής μελέτης.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16853:2026 επικεντρώνεται κυρίως στην διαδικασία λήψης αποφάσεων για τον σχεδιασμό, υλοποίηση και τεκμηρίωση επεμβάσεων. Θεσπίζει έννοιες που προωθούν τη διαλειτουργικότητα, την αποτίμηση και διαχείριση κινδύνου, την ανάπτυξη σχεδίου επεμβάσεων, και τη δομημένη τεκμηρίωση, και αποσκοπεί στη διασφάλιση βέλτιστων πρακτικών στις εργασίες συντήρησης, και στην υποστήριξη της αποτελεσματικής επικοινωνίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών. Εντούτοις δεν καθορίζει συγκεκριμένες μεθόδους ή απαιτήσεις ικανοτήτων, ούτε παρέχει αναλυτικές κατευθυντήριες οδηγίες για τα στάδια στα οποία επικεντρώνεται.

Ο Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ) θεσμοθετεί κριτήρια για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων δομημάτων από φέρουσα τοιχοποιία, που αποτελούν και την συντριπτική πλειοψηφία των μνημείων και ιστορικών δομημάτων. Ο Κανονισμός ρυθμίζει και τον ανασχεδιασμό αυτών των δομημάτων, μετά από ενδεχόμενες επεμβάσεις (επισκευές ή και ενισχύσεις) τους, καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις, ενώ παράλληλα προσφέρει κριτήρια για την αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφισταμένων δομημάτων, περιγράφει την προσέγγιση για την επιλογή των απαραίτητων μέτρων επέμβασης, και θέτει κριτήρια για τον σχεδιασμό των μέτρων επέμβασης. Επικεντρώνεται κυρίως στην αποτίμηση και στις δομητικές επεμβάσεις τοιχοποιίας, αλλά δεν αφορά στο πλήρες εύρος διαγνωστικής μελέτης, ούτε στη παθολογία και μηχανισμούς όλων των κατηγοριών βλαβών και φθοράς των μνημείων και των δομικών υλικών τους.

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) αφορά αποκλειστικά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό υφιστάμενων δομημάτων ή μελών τους. Δεν αφορά αποκλειστικά εφαρμογές μνημείων ή ιστορικών δομημάτων, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση σε δομήματα με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Βασικές αρχές και κριτήρια του ΚΑΝ.ΕΠΕ. όπως π.χ. οι στάθμες επιτελεστικότητας και οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού, οι στάθμες αξιοπιστίας των δεδομένων, αναφέρεται ότι μπορούν να εφαρμοστούν και για κτίρια με φέροντα οργανισμό από άλλα υλικά – όπως τα μνημεία και τα ιστορικά δομήματα – αλλά δεν γίνεται εκτενής ανάλυση των ιδιαίτερων απαιτήσεων και χαρακτηριστικών στις περιπτώσεις μνημείων και ιστορικών δομημάτων. Στις σχετικές ενότητες της παρούσας ΤΟΤΕΕ περιγράφονται εξειδικευμένα οι βασικές αρχές και κριτήρια που εισάγει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προσαρμοσμένες στις ανάγκες του πεδίου της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Γενικότερα, παρά την ύπαρξη διεθνών προτύπων και εθνικού κανονιστικού πλαισίου παραμένει η απαίτηση για κατάρτιση αναλυτικών κατευθυντήριων οδηγιών που θα επιτρέπουν την εφαρμογή μιας διεπιστημονικής μεθοδολογίας για την αποκατάσταση μνημείων και διατηρητέων δομημάτων, την οποία καλείται να καλύψει η παρούσα ΤΟΤΕΕ.

5. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ TOTEE

Η παρούσα TOTEE καλείται να ανταποκριθεί στην αναγκαιότητα για διαδικασίες επιστημονικής σύνθεσης που να ικανοποιούν την διεπιστημονικότητα και να εισάγουν ολοκληρωμένη επιστημονική μεθοδολογία για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως διαχρονικά έχουν αναδείξει οι διεθνείς επιστημονικές επιτροπές του ICOMOS (International Council of Monuments and Sites):

- International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage- ISCARSAH
- International Committee of Architectural Photogrammetry – CIPA, νυν CIPA Heritage Documentation
- International Scientific Committee for Stone – ISCS
- Archaeological heritage management ICAHM
- Earthen architectural heritage ISCEAH
- Fortifications and military heritage IcoFort
- Historic cities, towns and villages CIVVIH
- Risk preparedness ICORP
- Underwater Cultural heritage ICUCH
- Vernacular architecture CIAV

Οι κατευθυντήριες οδηγίες που περιγράφονται στην παρούσα TOTEE συνάδουν με τους στόχους και τις αρχές συντήρησης βάσει διεθνών Χαρτών και της Διεθνούς και Εθνικής Νομοθεσίας και ειδικότερα αφορούν:

- στη διατήρηση των μνημείων όπως καθορίζεται από τις Χάρτες και τις Διεθνείς Συμβάσεις για την Πολιτιστική Κληρονομιά
- στην ανταπόκριση του μνημείου στις απαιτήσεις που προκύπτουν από την χρήση του.
- στις απαιτήσεις του κτιρίου οι οποίες ενίοτε λειτουργούν ανταγωνιστικά ως προς τα κριτήρια επιτελεσματικότητας και συμβατότητας που θέτουν οι Διεθνείς Συμβάσεις
- την εφαρμογή ολικού ελέγχου ποιότητας, που πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές, και να γίνεται βάσει κριτηρίων και μεθοδολογίας ελέγχου

Η διεπιστημονική μεθοδολογία για την αποκατάσταση μνημείων που αναπτύσσεται στην παρούσα TOTEE ανταποκρίνεται στις ακόλουθες βασικές αρχές:

- Διασφάλιση συμβατότητας με τα αρχιτεκτονικά και ιστορικά χαρακτηριστικά και τις αξίες του ακίνητου μνημείου
- Διασφάλιση συμβατότητας των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης που προκρίνονται και εφαρμόζονται μέσω της διεπιστημονικής μεθοδολογίας και των σχετικών μελετών
- Διασφάλιση της επιτελεσματικότητας των επεμβάσεων, μέσω ολοκληρωμένης δομητικής ανάλυσης και αξιολόγηση κινδύνων
- Διασφάλιση της Αειφορίας του μνημείου, όσον αφορά στην αύξηση του χρόνου ζωής του μνημείου και των επεμβάσεων, την βελτίωση της επιδεκτικότητας του σε περιβαλλοντικούς παράγοντες και την βελτίωση της ανθεκτικότητάς του.
- Διασφάλιση της αρχής της αντιστρεψιμότητας και της εφαρμογής μη επεμβατικών μεθόδων για την καταγραφή των δεδομένων για τις μελέτες αποκατάστασης και προστασίας τους

Η παρούσα ΤΟΤΕΕ, επομένως, ακολουθεί τις κύριες φάσεις για την αποκατάσταση και προστασία μνημείων και διατηρητέων δομημάτων, ήτοι:

- Τεκμηρίωση
- Διάγνωση – Αποτίμηση Παλαιότερων Επεμβάσεων
- Μελέτη Επεμβάσεων
- Εργασίες Επεμβάσεων
- Αποτίμηση Επεμβάσεων
- Παρακολούθηση - Έλεγχος

Στις ακόλουθες ενότητες και υποενότητες παρατίθενται αναλυτική περιγραφή των ανωτέρω σταδίων.

5.1 Προκαταρκτική Μελέτη Σκοπιμότητας

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 3 παρ. 2 η Προκαταρκτική Μελέτη Σκοπιμότητας και η Προμελέτη εισάγονται για την κατά νόμο γνωμοδότηση στο αρμόδιο Συμβούλιο και εγκρίνονται με την έκδοση σχετικής υπουργικής απόφασης.

5.1.1 Περιεχόμενο Προκαταρκτικής Μελέτης Σκοπιμότητας

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 4 παρ. 1 η προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας είναι ενιαία, δεν διακρίνεται σε επιμέρους κατηγορίες μελέτης και είναι προϊόν διεπιστημονικής συνεργασίας. Συντάσσεται με τη συνεργασία των κατά περίπτωση εμπλεκόμενων ειδικοτήτων όπως αρχαιολόγου, αρχιτέκτονα μηχανικού, πολιτικού μηχανικού, τοπογράφου μηχανικού, ηλεκτρολόγου - μηχανολόγου μηχανικού, χημικού μηχανικού, χημικού, γεωλόγου κ.λπ. Ο συντονισμός των κατά περίπτωση εμπλεκόμενων μελετητών ανατίθεται σε έναν εξ αυτών, αναλόγως της φύσης του αντικείμενου. Η προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας βασίζεται κυρίως σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις (αυτοψίες) και σε βιβλιογραφική και αρχειακή ενημέρωση. Περιλαμβάνει τεχνική έκθεση, σχέδια και φωτογραφίες.

5.1.2 Αντικείμενο της Προκαταρκτικής Μελέτης Σκοπιμότητας

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 4 παρ. 2 το αντικείμενο του σταδίου αυτού περιλαμβάνει:

- α) την αρχική προσέγγιση του μνημείου ή του χώρου και τον αρχικό εντοπισμό των αξιών του και των χαρακτηριστικών στοιχείων του τα οποία πρέπει να διασωθούν ή/και να προβληθούν,
- β) την πρώτη καταγραφή των προβλημάτων του μνημείου ή του χώρου,
- γ) την τεκμηρίωση της αναγκαιότητας και σκοπιμότητας των προτεινόμενων εργασιών και της οριοθέτησης της έκτασής τους,
- δ) τη σύλληψη της ιδέας και τον σχεδιασμό της επέμβασης,
- ε) την τυχόν λήψη μέτρων εξασφάλισης και προστασίας του μνημείου,
- στ) την κατάρτιση φακέλου του έργου, και, όταν αυτό είναι δυνατό, του προκαταρκτικού προσεγγιστικού προϋπολογισμού.
- ζ) η προκαταρκτική αξιολόγηση της αρχιτεκτονικής, ιστορικής, αισθητικής, κοινωνικής και λειτουργικής αξίας του μνημείου, καθώς και η αρχική εκτίμηση των δυνατοτήτων διατήρησης, ανάδειξης και επανάχρησής του.

5.1.3 Φάκελος του μελετώμενου έργου

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 4 παρ. 3 ο φάκελος του μελετώμενου έργου περιλαμβάνει:

-
- α) την τεχνική περιγραφή των πρώτων αναγκαίων μέτρων προσωρινού χαρακτήρα στερέωσης, συντήρησης, εξασφάλισης και προστασίας, όταν υφίσταται τέτοια ανάγκη
 - β) τη διατύπωση προγράμματος μελετών τεκμηρίωσης και σχετικών εργασιών
 - γ) την περιγραφή και τις προδιαγραφές για τη σύνταξη της Μελέτης.

5.2 Τεκμηρίωση, διαγνωστική ανάλυση φθοράς και βλαβών και αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης

Το στάδιο περιλαμβάνει όλες τις μελέτες που είναι απαραίτητες για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης διατήρησης του μνημείου, την διάγνωση των φαινομένων και μηχανισμών που οδήγησαν σε φθορές και βλάβες στα υλικά και στη δομή του μνημείου, καθώς και την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου..

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τις μελέτες τεκμηρίωσης που προβλέπονται από την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019. Ειδικότερα, σύμφωνα με την εν λόγω ΥΑ άρθρο 5 παρ. 1. *το πρόγραμμα των μελετών τεκμηρίωσης και σχετικών εργασιών κατά κανόνα προηγείται της προμελέτης, εντούτοις ανάλογα με τη φύση και τις απαιτήσεις του μελετώμενου έργου είναι δυνατόν να εξελίσσεται παράλληλα με τα επόμενα στάδια της μελέτης.*

Το στάδιο τεκμηρίωσης, διαγνωστικής ανάλυσης και αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης αποτελείται από τις ακόλουθες αλληλένδετες εργασίες και μελέτες

1. Εργασίες προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου
2. Αρχαιολογική - ιστορική τεκμηρίωση
3. Τοπογραφική αποτύπωση και γεωμετρική τεκμηρίωση
4. Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση
5. Κατασκευαστική ανάλυση: Φάσεις κατασκευής – Προγενέστερες επεμβάσεις
6. Υλικά του μνημείου, χαρακτηρισμός, αίτια και μηχανισμοί φθοράς σε σχέση με τα περιβαλλοντικά φορτία που ασκούνται
7. Κατηγοριοποίηση και χαρτογράφηση φθορών και βλαβών, αίτια και μηχανισμοί φθοράς και παθολογίας του μνημείου σε σχέση με τα περιβαλλοντικά φορτία
8. Γεωτεχνική έρευνα, μελέτη εδάφους θεμελίωσης και προσδιορισμός στάθμης θεμελίωσης του μνημείου
9. Ιστορική Σεισμικότητα- Ενόργανες καταγραφές
10. Καταγραφή και διάγνωση των προβλημάτων του χώρου
11. Μελέτη της έντασης και επιτάχυνσης των διεργασιών της φθοράς και της παθολογίας με βάση τα δεδομένα της κλιματικής αλλαγής
12. Ενόργανη παρακολούθηση μνημείων με έξυπνες μετρήσεις

Η ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ. 2 περιγράφει συνοπτικά κάποιες από τις ανωτέρω μελέτες τεκμηρίωσης και εργασίες, τις οποίες η παρούσα ΤΟΤΕΕ αποσκοπεί να καταγράψει και περιγράψει με συστηματικό και αναλυτικό τρόπο στις ακόλουθες ενότητες.

5.2.1 Εργασίες προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2α ως εργασίες προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου ή του χώρου που πρέπει να υλοποιηθούν, στο πλαίσιο των υπολοίπων ερευνών και εργασιών του προγράμματος του έργου, θεωρούνται οι αποψιλώσεις, καθαρισμοί, αποχρωματώσεις, ανασκαφές, διευθετήσεις, καθαίρεσεις κονιαμάτων κ.λπ. Σε αυτές περιλαμβάνεται η έρευνα για τον εντοπισμό πιθανών λειψάνων

προγενέστερων οικοδομικών φάσεων, κτισμάτων ή επεμβάσεων, όπως δαπέδων, θόλων, μεταλλικών στοιχείων, διακόσμου, κονιαμάτων κ.λπ. με σκοπό την τεκμηρίωση αυτών.

Στο πλαίσιο της παρούσας ΤΟΤΕΕ προτείνεται να πραγματοποιούνται, επιπρόσθετα, και οι ακόλουθες δραστηριότητες:

1. Σύνταξη τεχνικής έκθεσης με τη συνεργασία των κατά περίπτωση εμπλεκόμενων ειδικοτήτων όπως αρχαιολόγου, αρχιτέκτονα μηχανικού, πολιτικού μηχανικού, τοπογράφου μηχανικού, ηλεκτρολόγου - μηχανολόγου μηχανικού, χημικού μηχανικού, γεωλόγου κ.λπ. για την τεκμηρίωση της αναγκαιότητας και αναλυτική περιγραφή των εργασιών προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου.
2. Καταγραφή σε δελτίο εργασιών προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου όλων των ανωτέρω εργασιών και δραστηριοτήτων, ανά περιοχή εφαρμογής. Οι πληροφορίες αυτές θα αξιοποιηθούν στο στάδιο της διαγνωστικής μελέτης, για την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης και για την ανάλυση των μηχανισμών και των φαινομένων φθοράς.
3. Φωτογραφική τεκμηρίωση της κατάστασης του μνημείου πριν και μετά τις ανωτέρω εργασίες.

Συνιστάται κατά την εκτέλεση των ανωτέρω εργασιών να διενεργούνται, παράλληλα, μέρος των μελετών τεκμηρίωσης, ώστε να αξιοποιείται ειδικός εξοπλισμός (π.χ. ικριώματα, καλαθοφόρα γερανοφόρα οχήματα) προτού αυτός απομακρυνθεί.

5.2.2 Αρχαιολογική - ιστορική τεκμηρίωση

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2β η αρχαιολογική - ιστορική τεκμηρίωση του μνημείου ή του χώρου, συνίσταται στη συνοπτική παρουσίαση της σχετικής βιβλιογραφίας και στα πορίσματα τυχόν ανασκαφικών εργασιών. Στο στάδιο αυτό της μελέτης συλλέγονται τεκμήρια της μορφής και της ιστορίας του μνημείου ή του χώρου διαχρονικά, όπως παλαιές φωτογραφίες, ζωγραφικές απεικονίσεις, αποτυπώσεις και αναφορές σε προηγούμενες επεμβάσεις, καθώς και των πιθανών αιτίων βλαβών ή καταστροφών (ιδίως πυρκαγιές, σεισμοί, πολεμικές επιχειρήσεις, βανδαλισμοί).

Στο πλαίσιο της παρούσας ΤΟΤΕΕ, συνιστάται η αρχαιολογική - ιστορική τεκμηρίωση του μνημείου ή του χώρου η οποία συντάσσεται από αρχαιολόγο, να πραγματοποιείται σε συνεργασία των κατά περίπτωση εμπλεκόμενων ειδικοτήτων μηχανικών όπως αρχιτέκτονα μηχανικού, πολιτικού μηχανικού, τοπογράφου μηχανικού, ηλεκτρολόγου - μηχανολόγου μηχανικού, χημικού μηχανικού, καθώς και άλλων εμπλεκόμενων ειδικοτήτων ώστε να δίνεται έμφαση σε κατηγορίες πληροφοριών και δεδομένων οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στις αντίστοιχες μελέτες τεκμηρίωσης και προτάσεις. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες κατηγορίες πληροφοριών:

1. Στοιχεία καταγραφής από το δελτίο του μνημείου στο Εθνικό Αρχείο Μνημείων.
2. Χρονολόγηση μνημείου και ιστορική περίοδος στην οποία εντάσσεται.
3. Στοιχεία από την καταγραφή του μνημείου στο Αρχαιολογικό Κτηματολόγιο
4. Εξέλιξη της μορφής του μνημείου (γραπτές αναφορές, αρχειακό υλικό, απεικονίσεις, επιστημονικές δημοσιεύσεις και αρχαιολογικές / τεχνικές μελέτες).
5. Περιγραφή των αξιών του μνημείου.
6. Τεκμηρίωση των φάσεων χρήσης και μετασκευών, με έμφαση σε κατασκευαστικές πληροφορίες και στα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν.

-
7. Καταγραφή σημαντικών καταστροφών (π.χ. σεισμοί, πυρκαγιές, πολεμικές επιχειρήσεις, βανδαλισμοί) ή σημαντικών γεγονότων (ιστορικά γεγονότα που σχετίζονται με τη χρήση του μνημείου) που δυνητικά σχετίζονται με τις παρατηρούμενες βλάβες, μετατροπές και επεμβάσεις στο μνημείο.
 8. Προκαταρκτική ιστορική τεκμηρίωση του περιβάλλοντος χώρου (π.χ. αστική ανάπτυξη γύρω από το μνημείο, κατασκευή πολιτικών υποδομών, σημαντικές γεωτεχνικές επεμβάσεις) που δυνητικά μπορούν να επηρεάσουν την κατάσταση διατήρησης και την αειφορία του μνημείου.

5.2.3 Τοπογραφική αποτύπωση και γεωμετρική τεκμηρίωση

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2γ, προβλέπεται η εκπόνηση τοπογραφικής αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης του μνημείου. Σε Τεχνική Έκθεση που συνοδεύει τα προδιαγεγραμμένα υπόβαθρα (σχέδια, ορθοφωτογραφίες, τρισδιάστατα παράγωγα κ.λπ.) και τα οποία τεκμηριώνουν την υφιστάμενη κατάσταση του μνημείου ή του χώρου, αποτυπώνοντας με την απαιτούμενη ακρίβεια τη θέση, τον περιβάλλοντα χώρο, το ανάγλυφο του εδάφους και τη γεωμετρία του μνημείου ή του χώρου σε κατάλληλη κλίμακα, περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τεκμηριώνεται κατάλληλα η επιτευχθείσα ακρίβεια και ανάλυση των παραγώγων. Αναλόγως της προδιαγεγραμμένης κλίμακας των παραγώγων πραγματοποιείται και αντίστοιχη ένταξη στο σύστημα ΕΓΣΑ87, εφόσον αυτό είναι επιθυμητό.

5.2.3.1 Σκοπός και πεδίο εφαρμογής γεωμετρικής τεκμηρίωσης και τοπογραφικής αποτύπωσης

Στο πλαίσιο της παρούσας καθιερώνονται ενιαίες προδιαγραφές και πρότυπα για την γεωμετρική τεκμηρίωση και ψηφιακή αναπαράσταση (2D και 3D) μνημείων. Παράλληλα, υποστηρίζονται οι σχετικές μελέτες αποκατάστασης, συντήρησης και ανάδειξης τόσο στην φάση της διαγνωστικής μελέτης όσο και σε αυτήν της έργου αποκατάστασης, ενώ ενισχύεται και ο έλεγχος ποιότητας κατά τις επεμβάσεις.

Εξειδικεύεται ο ρόλος της γεωμετρικής τεκμηρίωσης και 3D αναπαράστασης στη μελέτη μνημείων και ειδικότερα σε όλα τα στάδια των μελετών (προκαταρκτική, διαγνωστική) και συνδέεται αυτή με τον έλεγχο ποιότητας έργων αποκατάστασης πάντοτε σε συμβατότητα με το θεσμικό πλαίσιο του Υπουργείου Πολιτισμού.

Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει όλες τις κατηγορίες μνημείων (αρχαιολογικά, βυζαντινά, νεότερα), ειδικότερα ακίνητα μνημεία (αρχαιολογικούς χώρους, ιστορικά κτίρια, παραδοσιακούς οικισμούς κ.ά.), υπό την εποπτεία του Υπουργείου Πολιτισμού και σε συμφωνία με διεθνείς αρχές όπως η UNESCO.

5.2.3.2 Αρχές γεωμετρικής τεκμηρίωσης

Η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων συνιστά θεμελιώδη επιστημονική διαδικασία στο πλαίσιο της προστασίας, της συντήρησης και της ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς, εκτελείται από εξειδικευμένους Τοπογράφους Μηχανικούς και οφείλει να διέπεται από τις ακόλουθες θεμελιώδεις αρχές.

Ακρίβεια και τεκμηριωσιμότητα

Κάθε γεωμετρική τεκμηρίωση πρέπει να χαρακτηρίζεται από σαφώς καθορισμένα επίπεδα ακρίβειας, τα οποία προσδιορίζονται ανάλογα με τον σκοπό και τη χρήση για την οποία προορίζεται η εκάστοτε εργασία τεκμηρίωσης. Ο καθορισμός αυτός διασφαλίζει την επιστημονική εγκυρότητα και τη συγκρισιμότητα των παραγόμενων δεδομένων.

Αναστρεψιμότητα και μη επεμβατικότητα

Κατά την εφαρμογή των μεθόδων γεωμετρικής τεκμηρίωσης, πρέπει να δίνεται προτεραιότητα σε μη καταστροφικές τεχνικές, οι οποίες δεν επιφέρουν μόνιμη ή ανεπανόρθωτη αλλοίωση του μνημείου. Η αρχή αυτή αποσκοπεί στη διαφύλαξη της υλικής και ιστορικής ακεραιότητας του τεκμηριούμενου αντικειμένου.

Προσέγγιση πολλαπλών κλιμάκων

Η τεκμηρίωση οφείλει να εφαρμόζεται σε πολλαπλές κλίμακες ανάλυσης, με αντίστοιχα προσαρμοσμένα επίπεδα ακρίβειας, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα που εκτείνεται από το ευρύτερο τοπίο έως την αποτύπωση επιμέρους στοιχείων λεπτομέρειας, όπως μεμονωμένοι λίθοι ή ρωγμές.

Τεκμηρίωση διαχρονικότητας

Η μεθοδολογία τεκμηρίωσης πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής των διαφορετικών ιστορικών φάσεων του μνημείου, αποτυπώνοντας την ιστορική στρωματογραφία και συμβάλλοντας στην κατανόηση της εξέλιξής του στον χρόνο.

5.2.3.3 Μέθοδοι τεκμηρίωσης και συλλογής δεδομένων

Η παρούσα TOTEE καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται κατά τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης, ορίζοντας τόσο τις αποδεκτές μεθοδολογίες αποτύπωσης όσο και τις αντίστοιχες τεχνικές προδιαγραφές ποιότητας.

Μέθοδοι αποτύπωσης

Στο πλαίσιο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων γίνονται δεκτές οι ακόλουθες μέθοδοι συλλογής πρωτογενών δεδομένων. Οι επίγειες γεωδαιτικές μετρήσεις, υλοποιούμενες μέσω τοπογραφικών αποτυπώσεων υψηλής ακρίβειας με τη δημιουργία κατάλληλων γεωδαιτικών δικτύων αναφοράς, αποτελούν τη βάση κάθε τεκμηριωτικής διαδικασίας. Για την αποτύπωση πολύπλοκων γεωμετριών εφαρμόζεται τρισδιάστατη σάρωση με χρήση τεχνολογίας laser. Επιπλέον, οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι, τόσο επίγειας όσο και εναέριας εφαρμογής, αξιοποιούνται για την παραγωγή γεωαναφερμένων νεφών σημείων με χρωματικές πληροφορίες και τρισδιάστατων μοντέλων με υφή. Τέλος, ο συνδυασμός διεπιστημονικών μεθόδων μέσω τεχνικών συγχώνευσης δεδομένων (data fusion) αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση τόσο της ακρίβειας όσο και της πληρότητας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Τεχνικές προδιαγραφές

Οι τεχνικές προδιαγραφές που καθορίζονται από την παρούσα TOTEE αφορούν, μεταξύ άλλων, τα μέγιστα επιτρεπτά σφάλματα αποτύπωσης, τα οποία ορίζονται αναλόγως της κλίμακας εργασίας, την ελάχιστη απαιτούμενη πυκνότητα νέφους σημείων, καθώς και την αναλυτικότητα των τελικών παραγώγων προϊόντων. Επιπροσθέτως, ορίζονται αυστηρές απαιτήσεις γεωαναφοράς, με υποχρεωτική ένταξη των δεδομένων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό

Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ87) ή σε νεότερα εγκεκριμένα συστήματα αναφοράς με την κατάλληλη μέθοδο, ώστε να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις της χαρτογραφικής προβολής.

5.2.3.4 Παράγωγα γεωμετρικής τεκμηρίωσης (2D - 3D)

Τα παράγωγα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης με την εφαρμογή των εξειδικευμένων τοπογραφικών μεθόδων είναι εν συντομία τα εξής:

- Δισδιάστατα γραμμικά σχέδια
- Δισδιάστατες ορθές προβολές με ορθοφωτογραφίες
- Δισδιάστατες οψοτομές γραμμικές ή/και με ορθοφωτογραφίες
- Τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα με ή χωρίς φωτογραφική υφή

Στο Σχήμα 5.2.3-1 παρουσιάζονται διαγραμματικά τα παράγωγα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης

5.2.3.4.1 Ψηφιακά Δίδυμα και HBIM μοντελοποίηση

Ένα Ψηφιακό Δίδυμο Πολιτιστικής Κληρονομιάς (HDT) αποτελεί ένα ακριβές εικονικό αντίγραφο υλικών ή άυλων πολιτιστικών αγαθών. Υπερβαίνει τα συμβατικά τρισδιάστατα μοντέλα, καθώς ενσωματώνει διαρκώς δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο, περιβαλλοντικές διαγνώσεις, ιστορικά αρχεία και αναλύσεις υλικών, με σκοπό την προσομοίωση δομικών μεταβολών, την πρόβλεψη περιβαλλοντικών απειλών και τον σχεδιασμό προληπτικών δράσεων συντήρησης.

Η χρήση Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) και μοντέλων HBIM (Historic Building Information Modelling) υποστηρίζει την τεκμηρίωση, ανάλυση, διαχείριση και παρακολούθηση του μνημείου κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής του.

Η ανάπτυξη των μοντέλων βασίζεται στα διαθέσιμα δεδομένα τεκμηρίωσης, αποτύπωσης, ιστορικής έρευνας, διαγνωστικών ελέγχων και λοιπών μελετών και προσαρμόζεται στις ανάγκες και τους στόχους του εκάστοτε έργου.

Τα μοντέλα HBIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να περιλαμβάνουν, κατά περίπτωση:

- α) τη γεωμετρική και μορφολογική αποτύπωση του μνημείου και του περιβάλλοντος χώρου του,
- β) την καταγραφή δομικών, κατασκευαστικών, μορφολογικών και διακοσμητικών στοιχείων,
- γ) την ενσωμάτωση ιστορικών, αρχαιολογικών, αρχιτεκτονικών, στατικών, γεωτεχνικών, συντηρητικών και λοιπών δεδομένων τεκμηρίωσης,
- δ) την καταγραφή παθολογίας, φθορών, βλαβών, πρότερων επεμβάσεων και εργασιών συντήρησης,
- ε) τη διαχείριση πληροφοριών που σχετίζονται με τη λειτουργία, τη συντήρηση και την προστασία του μνημείου,
- στ) την υποστήριξη της διεπιστημονικής συνεργασίας, του σχεδιασμού και της λήψης αποφάσεων.

Τα μοντέλα HBIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα πρέπει να αναπτύσσονται έτσι ώστε να αξιοποιούνται όχι μόνο για την τεκμηρίωση και διαχείριση του μνημείου αλλά και για την παρακολούθηση της εξέλιξης της κατάστασης διατήρησής του στον χρόνο, μέσω της συσχέτισης δεδομένων τεκμηρίωσης, επιθεωρήσεων, επεμβάσεων, μετρήσεων και λοιπών πληροφοριών που αφορούν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του μνημείου.

Η δομή των πληροφοριών θα πρέπει, κατά το δυνατόν, να επιτρέπει την καταγραφή μεταβολών, φθορών, επεμβάσεων και ιστορικών φάσεων, ώστε να υποστηρίζεται η μακροχρόνια διαχείριση, η αξιολόγηση κινδύνων και η λήψη αποφάσεων για τη συντήρηση και προστασία του μνημείου.

Τα μοντέλα HBIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να υποστηρίζονται από εργαλεία ανάλυσης δεδομένων, αναγνώρισης προτύπων και τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία δεδομένων παρακολούθησης, την αναγνώριση μεταβολών, την αξιολόγηση κινδύνων και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σχετικά με τη διατήρηση και διαχείριση του μνημείου. Για την επεξεργασία του τεράστιου όγκου δεδομένων που παράγονται από δίκτυα αισθητήρων ή συστηματικές και έκτακτες επιθεωρήσεις καθώς και οι πολλαπλές κατηγορίες δεδομένων που τεκμηριώνονται προτείνεται να αξιολογείται η δυνατότητα ενσωμάτωσης λύσεων καθοδηγούμενων από μεθόδους Τεχνητής Νοημοσύνης.

Επιπλέον, καθώς τα Ψηφιακά Δίδυμα τροφοδοτούνται από μετρήσεις πεδίου σε πραγματικό χρόνο, η αναβάθμιση της ασφάλειας δεδομένων στον σχεδιασμό των αντίστοιχων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και συστημάτων IoT είναι απολύτως επιβεβλημένη για την αποτροπή κακόβουλων παρεμβάσεων.

Ο βαθμός ανάπτυξης, η ακρίβεια και το περιεχόμενο των μοντέλων καθορίζονται από το είδος, την κλίμακα και τους στόχους του έργου, καθώς και από τα διαθέσιμα δεδομένα τεκμηρίωσης. Η χρήση τους δεν υποκαθιστά τις απαιτούμενες μελέτες και εγκρίσεις, αλλά λειτουργεί υποστηρικτικά ως εργαλείο οργάνωσης, τεκμηρίωσης, συντονισμού και διαχείρισης πληροφοριών καθ' όλο τον κύκλο ζωής του μνημείου

Στο στάδιο της προμελέτης / διαγνωστικής μελέτης, η τρισδιάστατη αναπαράσταση και μοντελοποίηση πραγματοποιείται σε τρισδιάστατα συστήματα πληροφοριών. Η χρήση μοντέλων κτιριακών πληροφοριών ή (Heritage/Historic) Building Information Modeling (HBIM), ως εξέλιξη του BIM για μνημεία προϋποθέτει την επιλογή επιπέδων λεπτομέρειας (LOD/LOI) προσαρμοσμένα σε μνημεία. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται:

- LOD 100–200: στο οποίο αποτυπώνονται τα μαζικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μνημείου,
- LOD 300: Στο επίπεδο αυτό αποτυπώνεται η ακριβής γεωμετρία των δομικών στοιχείων
- LOD 400+: Στο επίπεδο αυτό αποτυπώνεται η παθολογία, τα υλικά και οι φθορές

Από το επίπεδο αυτό και πάνω, ενσωματώνεται στο HBIM η διαχείριση κόστους και ποσοτήτων (Cost / Quantities), η ενεργειακή απόδοση και αειφορία καθώς και η διαχείριση εγκαταστάσεων και η συντήρηση.

Στα HBIM είναι απαραίτητο να υλοποιείται ο σημασιολογικός εμπλουτισμός των τρισδιάστατων μοντέλων με δεδομένα όπως τα δομικά υλικά (λίθος, κονίαμα, ξύλο), οι κατασκευαστικές φάσεις και η παθολογία (ρηγματώσεις, αποσαθρώσεις).

Τέλος κατά τη φάση της διαγνωστικής μελέτης, πραγματοποιείται η Τεκμηρίωση αυθεντικότητας, δηλαδή η διάκριση μεταξύ της πραγματικής γεωμετρίας (survey-based) και της υποθετικής ανακατασκευής (interpretative modeling) του μνημείου μέσω των HBIM.

Το πρότυπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση είναι το ΕΛΟΤ EN ISO 19650: Οργάνωση και ψηφιοποίηση πληροφοριών σχετικά με κτίρια και τεχνικά έργα, περιλαμβανομένων των πληροφοριακών μοντέλων δομημάτων (BIM) - Διαχείριση πληροφοριών με χρήση των πληροφοριακών μοντέλων δομημάτων.

5.2.3.4.2 Δεδομένα Τεκμηρίωσης και Ψηφιακή Αναπαράσταση

Η ανάπτυξη συστημάτων HBIM και Ψηφιακών Διδύμων βασίζεται σε αξιόπιστα δεδομένα τεκμηρίωσης και αποτύπωσης του μνημείου, τα οποία συλλέγονται, οργανώνονται και ενσωματώνονται σε ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον.

Τα δεδομένα δύναται να προέρχονται, κατά περίπτωση, από:

- α) τοπογραφικές αποτυπώσεις,
- β) γεωδαιτικές μετρήσεις,
- γ) φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις,
- δ) επίγειες ή εναέριες σαρώσεις laser,
- ε) αρχιτεκτονικές, στατικές και λοιπές μελέτες,
- στ) ιστορική, αρχαιολογική και τεχνική τεκμηρίωση,
- ζ) δεδομένα παρακολούθησης της κατάστασης διατήρησης του μνημείου,
- η) δεδομένα λειτουργίας, συντήρησης και διαχείρισης του μνημείου.

Η ψηφιακή αναπαράσταση αποδίδει τη γεωμετρία, τα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες και τις σχέσεις των επιμέρους στοιχείων του μνημείου, σε βαθμό που εξυπηρετεί τους στόχους του έργου.

5.2.3.4.3 Επίπεδο Ανάπτυξης και Πληροφοριακής Ωριμότητας

Το επίπεδο ανάπτυξης του μοντέλου και η πληροφοριακή του πληρότητα καθορίζονται ανάλογα με τον σκοπό χρήσης, το στάδιο του έργου και τα διαθέσιμα δεδομένα τεκμηρίωσης. Το απαιτούμενο επίπεδο ανάπτυξης προσδιορίζεται από τη μελέτη ή τη σύμβαση του έργου και δύναται να διαφοροποιείται ανά κατηγορία στοιχείων ή ανά φάση υλοποίησης.

Η πληροφοριακή δομή του μοντέλου δύναται να περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) γεωμετρικά χαρακτηριστικά,
- β) κατασκευαστικά χαρακτηριστικά,
- γ) πληροφορίες υλικών,
- δ) χρονολογικά και ιστορικά δεδομένα,
- ε) δεδομένα παθολογίας και κατάστασης διατήρησης,
- στ) στοιχεία επεμβάσεων και συντήρησης,

ζ) στοιχεία διαχείρισης, λειτουργίας και παρακολούθησης.

Η ανάπτυξη του μοντέλου πραγματοποιείται κατά τρόπο συμβατό με τα ισχύοντα πρότυπα και τις ανάγκες του έργου.

5.2.4 Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση

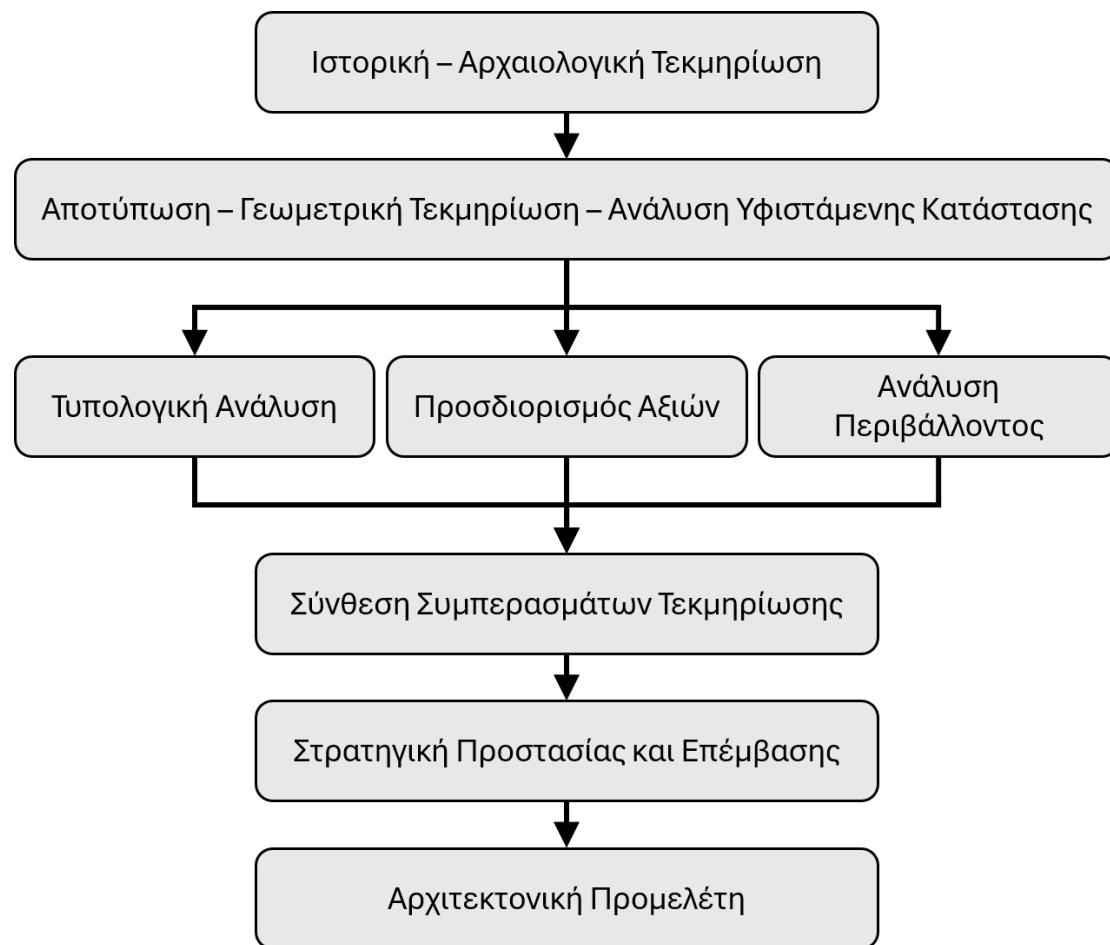
Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2ε η αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και σχεδιαστική αναπαράσταση των φάσεων του μνημείου αφορά την καταγραφή μορφολογικών και λειτουργικών προβλημάτων του μνημείου. Λαμβάνει υπόψη τα στοιχεία που αναλύονται στην αρχαιολογική – ιστορική τεκμηρίωση του μνημείου, στην τοπογραφική αποτύπωση και γεωμετρική τεκμηρίωση του και στην αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασής του και περιλαμβάνει απόδοση της μορφής και αναγνώριση της τυπολογίας του μνημείου και τυχόν διαφορετικών οικοδομικών φάσεων με τα στοιχεία στα οποία στηρίζεται η χρονολόγησή τους, περιγραφή των διαφορετικών μορφών του μνημείου κατά εποχές, καθώς και τις κατά καιρούς επεμβάσεις (όπως επισκευές, στερεώσεις, προσθήκες) με αποτίμηση της ιστορικής σημασίας τους. Εφόσον υπάρχουν επαρκή στοιχεία, δημιουργούνται αναπαραστάσεις του μνημείου. Όσα από τα στοιχεία αυτής της φάσης της μελέτης επηρεάζουν ή έχουν επηρεάσει την συμπεριφορά του φέροντος οργανισμού του μνημείου, αξιολογούνται και λαμβάνονται υπόψη στην κατασκευαστική ανάλυση και στη μελέτη υλικών.

Η διαδικασία της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης οργανώνεται σε διακριτά αλλά αλληλοσυμπληρούμενα στάδια, τα οποία οδηγούν στη σύνθεση των συμπερασμάτων που τεκμηριώνουν τη στρατηγική προστασίας και τις βασικές αρχές της αρχιτεκτονικής προμελέτης. Η μεθοδολογική διάρθρωση της διαδικασίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.2.4-1.

5.2.4.1 Τυπολογική, Μορφολογική και Λειτουργική Ανάλυση του Μνημείου

Η τυπολογική, μορφολογική και λειτουργική ανάλυση αποσκοπεί στην αναγνώριση και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών που συγκροτούν την αρχιτεκτονική φυσιογνωμία του μνημείου, στην κατανόηση της ιστορικής και κατασκευαστικής του εξέλιξης και στην τεκμηρίωση των στοιχείων που συνδέονται με τις αξίες και τη σημασία του.

Η ανάλυση βασίζεται στα δεδομένα της ιστορικής και αρχαιολογικής τεκμηρίωσης, της αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης, της διερεύνησης των οικοδομικών φάσεων και των λοιπών μελετών τεκμηρίωσης και αποσκοπεί στη διαμόρφωση του αναγκαίου επιστημονικού υποβάθρου για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την προστασία, διατήρηση, αποκατάσταση, ανάδειξη ή επανάχρηση του μνημείου.



Εικόνα 5.2.4-1: Διαδικασία και βασικά στάδια της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης.

Η ανάλυση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την αναγνώριση του αρχιτεκτονικού και τυπολογικού χαρακτήρα του μνημείου και τη συσχέτισή του με ευρύτερες κατηγορίες κτηρίων ή συνόλων,
- β) την καταγραφή και αξιολόγηση της ογκοπλαστικής διάρθρωσης, της μορφολογικής σύνθεσης, της σχέσης πλήρους και κενού, των αναλογιών, των μορφολογικών στοιχείων, των υλικών και των κατασκευαστικών τεχνικών,
- γ) την αναγνώριση, χρονολόγηση και τεκμηρίωση των διακριτών οικοδομικών φάσεων, μεταγενέστερων επεμβάσεων, προσθηκών ή αφαιρέσεων, καθώς και την αξιολόγηση της συμβολής τους στην ιστορική εξέλιξη του μνημείου,
- δ) την καταγραφή και αξιολόγηση των στοιχείων που συγκροτούν την αυθεντικότητα, την ακεραιότητα και την αναγνωρισιμότητα του μνημείου,
- ε) τη διερεύνηση της λειτουργικής οργάνωσης του μνημείου, των ιστορικών και σύγχρονων χρήσεων του και της σχέσης τους με τη χωρική και μορφολογική του διάρθρωση.

Τα συμπεράσματα της ανάλυσης αποτυπώνονται σε τεχνική έκθεση και, κατά περίπτωση, σε θεματικά σχέδια, διαγράμματα, πίνακες οικοδομικών φάσεων ή άλλες μορφές τεκμηρίωσης και αποτελούν βασικό στοιχείο τεκμηρίωσης των προτεινόμενων επεμβάσεων.

5.2.4.2 Προσδιορισμός των Αξιών και των Χαρακτηριστικών Στοιχείων του Μνημείου

Ο προσδιορισμός των αξιών και των χαρακτηριστικών στοιχείων του μνημείου αποσκοπεί στην αναγνώριση των στοιχείων που τεκμηριώνουν τη σημασία του και στη διαμόρφωση του πλαισίου προστασίας και διαχείρισής του.

Η αξιολόγηση βασίζεται στα πορίσματα της ιστορικής, αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής και κατασκευαστικής τεκμηρίωσης και συνδέεται με τον προσδιορισμό των στοιχείων που συμβάλλουν στη διατήρηση της αυθεντικότητας, της ακεραιότητας και της αναγνωρισιμότητας του μνημείου.

Η αξιολόγηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την αναγνώριση των ιστορικών, αρχιτεκτονικών, κοινωνικών, τεχνολογικών, καλλιτεχνικών ή άλλων αξιών του μνημείου,
- β) την καταγραφή και αξιολόγηση των επιμέρους στοιχείων που συνδέονται με τις αξίες αυτές, όπως μορφολογικά χαρακτηριστικά, κατασκευαστικά συστήματα, διακοσμητικά στοιχεία, εξοπλισμός ή στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου,
- γ) την αναγνώριση των στοιχείων που διατηρούνται αυτούσια ή έχουν υποστεί περιορισμένες αλλοιώσεις,
- δ) την αξιολόγηση μεταγενέστερων επεμβάσεων, προσθηκών ή μετατροπών ως προς τη συμβολή τους στην ιστορική εξέλιξη του μνημείου,
- ε) τον προσδιορισμό των στοιχείων που απαιτούν ιδιαίτερο βαθμό προστασίας ή ειδική μεταχείριση κατά τον σχεδιασμό των επεμβάσεων.

Τα συμπεράσματα της αξιολόγησης αποτελούν στοιχείο τεκμηρίωσης για τη διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής πρότασης.

5.2.4.3 Ανάλυση του Άμεσου Περιβάλλοντος Χώρου και του Ιστορικού Τοπίου

Η ανάλυση του άμεσου περιβάλλοντος χώρου και του ιστορικού τοπίου αποσκοπεί στην κατανόηση της σχέσης του μνημείου με το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον του και στην αναγνώριση των χαρακτηριστικών που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της ιστορικής, αρχιτεκτονικής και λειτουργικής του ταυτότητας.

Η ανάλυση βασίζεται στα στοιχεία της ιστορικής τεκμηρίωσης, της χωρικής και πολεοδομικής διερεύνησης, της αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης και των λοιπών μελετών τεκμηρίωσης.

Η ανάλυση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη διερεύνηση της σχέσης του μνημείου με το ιστορικό, πολεοδομικό ή οικιστικό σύνολο στο οποίο εντάσσεται,
- β) την καταγραφή των χωρικών, μορφολογικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών του άμεσου περιβάλλοντος χώρου,
- γ) την αναγνώριση στοιχείων του φυσικού ή ανθρωπογενούς τοπίου που συνδέονται ιστορικά, λειτουργικά ή μορφολογικά με το μνημείο,
- δ) τη διερεύνηση των βασικών οπτικών σχέσεων, αξόνων θέασης και σημείων παρατήρησης που συμβάλλουν στην αναγνωσιμότητα και την αντίληψη του μνημείου,

-
- ε) την αξιολόγηση υφιστάμενων κατασκευών, διαμορφώσεων ή χρήσεων που επηρεάζουν τη φυσιογνωμία, την ανάδειξη ή την κατανόηση του μνημείου και του περιβάλλοντός του,
 - στ) τη διερεύνηση των παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό επεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο.

Τα συμπεράσματα της ανάλυσης τεκμηριώνονται σε τεχνική έκθεση και, κατά περίπτωση, σε θεματικά σχέδια, χάρτες, διαγράμματα ή άλλες μορφές χωρικής τεκμηρίωσης και λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής πρότασης.

5.2.4.4 Συμπεράσματα της Αρχιτεκτονικής Τεκμηρίωσης

Τα συμπεράσματα της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης προκύπτουν από τη συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων της ιστορικής, αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής και κατασκευαστικής διερεύνησης και αποσκοπούν στη σύνθεση των δεδομένων που απαιτούνται για τη διαμόρφωση της στρατηγικής προστασίας, διατήρησης, αποκατάστασης και ανάδειξης του μνημείου.

Η σύνθεση των συμπερασμάτων περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τον προσδιορισμό των στοιχείων που συγκροτούν τη φυσιογνωμία και την ταυτότητα του μνημείου,
- β) την αναγνώριση των στοιχείων που συμβάλλουν καθοριστικά στην ιστορική, αρχιτεκτονική, κοινωνική ή άλλη σημασία του,
- γ) την αξιολόγηση των διακριτών οικοδομικών φάσεων και της συμβολής τους στη διαμόρφωση της σημερινής μορφής του μνημείου,
- δ) την αναγνώριση των κύριων προβλημάτων, περιορισμών και δυνατοτήτων που προκύπτουν από την υφιστάμενη κατάσταση του μνημείου και του περιβάλλοντός του,
- ε) τον προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό των επεμβάσεων.

Τα συμπεράσματα της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής προμελέτης και των προτεινόμενων επεμβάσεων.

5.2.5 Κατασκευαστική ανάλυση: Φάσεις κατασκευής – Προγενέστερες επεμβάσεις

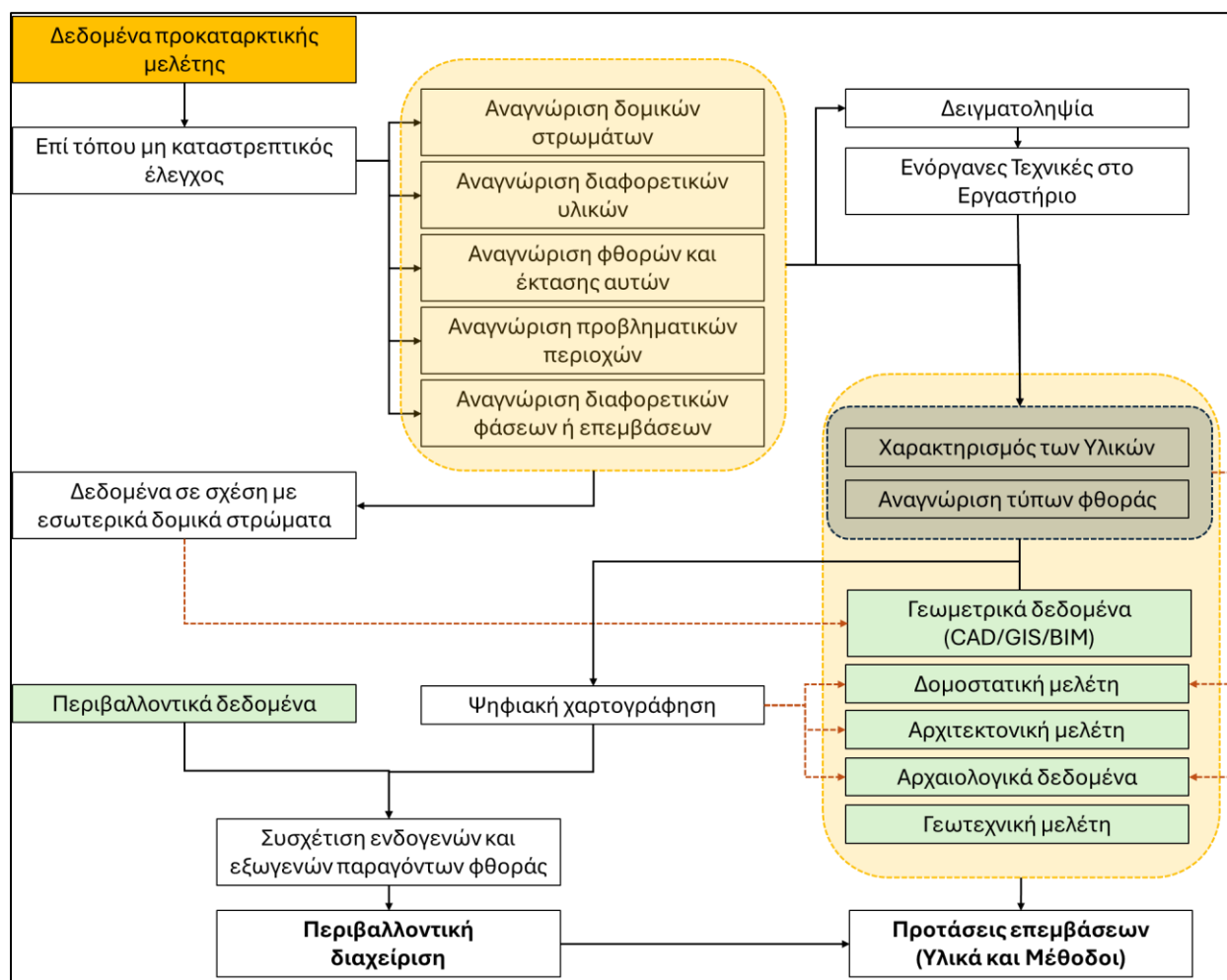
Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2στ η κατασκευαστική ανάλυση λαμβάνει υπόψη τα στοιχεία από την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου και την αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και σχεδιαστική αναπαράσταση των φάσεων του. Περιλαμβάνει περιγραφή και διερεύνηση του φέροντος οργανισμού ανά κατασκευαστική φάση (οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία, ξυλοδεσιές, τόξα, τοξοστοιχίες, πεσσοί, θόλοι, υποστυλώματα κ.λπ., τρόπος σύνδεσης μεταξύ δομικών στοιχείων του φορέα, θεμελίωση), καθώς και όλα τα στοιχεία που σχετίζονται με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών και με τον τρόπο δόμησης της τοιχοποιίας (δίστρωτη, τρίστρωτη κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά αξιοποιούνται για τον υπολογισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών του φέροντος οργανισμού. Οι θέσεις των ερευνητικών εργασιών και δειγματοληψιών σημειώνονται σε σχέδια υπό κλίμακα και λαμβάνουν χώρα μετά από σχετική άδεια, όπως προβλέπεται από την με αριθμ. ΥΠΠΟΑ/ΓΔΑΠΚ/ΔΣΑΝΜ/Φ77/217149/140435/2243/9.6.2017 εγκύκλιο.

5.2.6 Υλικά του μνημείου, χαρακτηρισμός, αίτια και μηχανισμοί φθοράς σε σχέση με τα περιβαλλοντικά φορτία που ασκούνται

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2ζ αναφέρεται η απαίτηση συγγραφή τεχνικής έκθεσης που περιλαμβάνει την ανάλυση των υλικών του μνημείου, την περιγραφή της κατάστασης διατήρησής τους, τον εντοπισμό των αιτίων και τη διερεύνηση των μηχανισμών φθοράς.

Όσον αφορά στα υλικά που εξετάζονται από τα ακίνητα μνημεία, σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2ζ, περιλαμβάνονται τα ακόλουθα: λίθοι, κονιάματα, επιχρίσματα, χρωματικά στρώματα, αρμολογήματα δόμησης (βαθιά αρμολογήματα), τελικά αρμολογήματα (όταν είναι εμφανής η λιθοδομή), τοιχογραφίες, ξύλινα στοιχεία, μεταλλικά στοιχεία και σύγχρονα υλικά.

Η διαγνωστική μελέτη των υλικών (Εικόνα 1) είναι μια σύνθετη διαδικασία και αποτελεί απαραίτητο στάδιο για τον σχεδιασμό/επιλογή κατάλληλων συμβατών και επιτελεστικών υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης. Απαραίτητο προαπαιτούμενο αποτελεί η ύπαρξη σχεδιαστικού υπόβαθρου (Αρχιτεκτονικές αποτυπώσεις – Τρισδιάστατα μοντέλα), ώστε να είναι αποτελεσματικότερη η συσχέτιση όλων των δεδομένων.



Εικόνα 5.2.6-1. Διαγνωστική μελέτη των υλικών – Συσχέτιση με άλλα δεδομένα.

Περιεχόμενα διαγνωστικής μελέτης των υλικών

Η τεχνική έκθεση της διαγνωστικής μελέτης υλικών περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες:

1. Αξιοποίηση υφιστάμενων ευρημάτων για τα ιστορικά υλικά και τα υλικά προηγούμενων επεμβάσεων.
2. Μη καταστρεπτικός έλεγχος.
3. Δειγματοληψία.
4. Χαρακτηρισμός των υλικών – Εργαστηριακός έλεγχος.
5. Διάγνωση της φθοράς.
6. Ψηφιακή χαρτογράφηση υλικών και φθοράς.
7. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα υλικά.

5.2.6.1 Αξιοποίηση υφιστάμενων ευρημάτων για τα ιστορικά υλικά και τα υλικά προηγούμενων επεμβάσεων

Η πρώτη ενότητα της τεχνικής έκθεσης της διαγνωστικής μελέτης των υλικών αφορά στην καταγραφή, οργάνωση, και προκαταρκτική ανάλυση των υφιστάμενων ευρημάτων και πληροφοριών που αφορούν στα ιστορικά υλικά και στα υλικά προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης, αποκατάστασης ή ενίσχυσης. Τα ευρήματα και οι πληροφορίες προέρχονται από τις σχετικές εκθέσεις και μελέτες τεκμηρίωσης που αφορούν σε εργασίες προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου, την αρχαιολογική - ιστορική τεκμηρίωση, την τοπογραφική αποτύπωση και γεωμετρική τεκμηρίωση, την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου και την αρχιτεκτονική τεκμηρίωση.

Η παρουσίαση των υφιστάμενων ευρημάτων και πληροφοριών γίνεται συγκεντρωτικά και συνοπτικά, ανά κατηγορία υλικού και ανά περιοχή του μνημείου, κατά προτίμηση υπό μορφή πινάκων και παραπομπών στις αντίστοιχες μελέτες για περισσότερα λεπτομερή στοιχεία.

Τα υφιστάμενα ευρήματα και πληροφορίες θα αποτελέσουν πρωτογενείς πληροφορίες για:

- τον σχεδιασμό των θέσεων και των τμημάτων του μνημείου που θα εφαρμοστεί μη-καταστρεπτικός έλεγχος (βλ. ενότητα 5.2.6.2).
- τον σχεδιασμό των θέσεων και των τμημάτων του μνημείου που θα πραγματοποιηθεί δειγματοληψία υλικών (βλ. ενότητα 5.2.6.3).
- τον καθορισμό τους εύρους και του είδους των τεχνικών χαρακτηρισμού των υλικών και των εργαστηριακών ελέγχων που θα απαιτηθούν (βλ. ενότητα 5.2.6.4).

Η συγκεντρωτική καταγραφή των υφιστάμενων ευρημάτων όσον αφορά στα ιστορικά υλικά και υλικά επεμβάσεων έχει σκοπό, στη συνέχεια, αυτά να:

- συνεκτιμηθούν με τα δεδομένα που θα προκύψουν από τον μη-καταστρεπτικό έλεγχο και τον χαρακτηρισμό των υλικών ώστε να υποστηρίξουν την ολοκληρωμένη διάγνωση της φθοράς των υλικών (βλ. ενότητα 5.2.6.5)
- συμπεριληφθούν στην ψηφιακή χαρτογράφηση υλικών και φθοράς και θα επικαιροποιηθούν βάσει νεότερης τεκμηρίωσης (βλ. ενότητα 5.2.6.6)
- ληφθούν υπόψη στις προτάσεις υλικών και επεμβάσεων συντήρησης (βλ. ενότητα 5.2.6.7).

-
- ληφθούν υπόψη για τον σχεδιασμό δράσεων και επεμβάσεων περιβαλλοντικής διαχείρισης του μνημείου (βλ. ενότητα 5.2.6.8).

5.2.6.2 Μη καταστρεπτικός έλεγχος (ΜΚΕ) υλικών

5.2.6.2.1 Σκοπός

Ο μη-καταστρεπτικός έλεγχος (ΜΚΕ) των υλικών έχει σκοπό:

- α) τον χαρακτηρισμό των υλικών του μνημείου.
- β) την αποτύπωση και την χαρτογράφηση των υλικών.
- γ) την αποτίμηση της κατάστασης διατήρησής τους.
- δ) τον έλεγχο της συμβατότητας των δομικών υλικών.
- ε) την αποκάλυψη και τεκμηρίωση της διαστρωμάτωσης των υλικών και των οικοδομικών φάσεων που σχετίζονται με αυτά.
- στ) την εύρεση αθέατων στοιχείων, κενών ή ασυνεχειών, περίπλοκης εσωτερικής δομή.

Στο πλαίσιο αυτό, εφαρμόζονται με οργανωμένη και συστηματική μεθοδολογία διάφορες τεχνικές ΜΚΕ που παρέχουν πλήθος δεδομένων τα οποία υπόκεινται σε επεξεργασία και συνεκτίμηση για την εξαγωγή συμπερασμάτων και πληροφοριών που θα αξιοποιηθούν από την διαγνωστική μελέτη των υλικών αλλά και από τις υπόλοιπες μελέτες τεκμηρίωσης.

5.2.6.2.2 Οπτικός έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος (visual testing – VT) αποτελεί το πρώτο στάδιο ΜΚΕ και διαφοροποιείται σε σχέση με τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις που συμπεριλαμβάνονται στις προαναφερθείσες μελέτες τεκμηρίωσης, καθώς επικεντρώνεται στην τεκμηρίωση των υλικών του μνημείου. Ο οπτικός έλεγχος διενεργείται από το προσωπικό που θα εφαρμόσει τις τεχνικές ΜΚΕ υλικών ώστε να αποκτήσουν άμεση γνώση των περιοχών του μνημείου και των υλικών που θα εξετάσουν στην συνέχεια.

Για την πραγματοποίηση του οπτικού ελέγχου προτείνονται:

- α) αυτοψία και μακροσκοπικές παρατηρήσεις.
- β) σχεδιαστικές αποτυπώσεις του μνημείου, στην κατάλληλη κλίμακα ώστε να γίνονται απευθείας καταγραφές (έντυπες ή σε ηλεκτρονική μορφή) των παρατηρήσεων.
- γ) τυποποιημένα δελτία ελέγχου για την καταγραφή των ευρημάτων ανά περιοχή εξέτασης.
- δ) χρήση φωτογραφικής κάμερας για την ψηφιακή αποτύπωση των θέσεων ελέγχου σε διάφορες κλίμακες (μακρο- και μέσο κλίμακα).
- ε) χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV/Drone) για την πρόσβαση σε δυσπρόσιτα τμήματα του μνημείου.
- στ) χρήση απλών μεγεθυντικών φακών για επιτόπου μεγέθυνση λεπτομερειών, διεπιφανειών υλικών και φθορών αυτών, και φορητού εξοπλισμού φωτισμού, για περιοχές του μνημείου που δεν είναι επαρκώς φωτισμένες.

Σημαντικός παράγοντας του οπτικού ελέγχου υλικών είναι η προσβασιμότητα στις περιοχές ελέγχου του μνημείου:

- Ο επιτόπου οπτικός έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται από έμπειρο προσωπικό, αλλά υπόκειται σε περιορισμούς προσβασιμότητας που συχνά απαιτούν την τοποθέτηση ικριωμάτων ή χρήση φορητών κλιμάκων για πρόσβαση σε συγκεκριμένα τμήματα του μνημείου τα οποία δεν είναι προσβάσιμα πεζή.
- Τα UAV/Drones είναι χρήσιμα εργαλεία για μακροσκοπικές παρατηρήσεις, αναιρώντας σε κάποιο βαθμό την ανάγκη πρόσβασης σε δυσπρόσιτα μέρη του μνημείου. Η χρήση βιντεοκάμερας υψηλής ανάλυσης στα UAV/Drones, παρέχει πολύτιμες πληροφορίες όσον αφορά στην κατανομή των υλικών, την γενικότερη κατάσταση διατήρησης των υλικών του μνημείου και τον αρχικό εντοπισμό περιοχών ενδιαφέροντος για περαιτέρω αναλυτικότερο ΜΚΕ. Εντούτοις, υπάρχουν περιορισμοί ασφάλειας στην πτήση UAV/Drones πολύ κοντά σε επιφάνειες μνημείων – χρειάζεται και ειδική άδεια - που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Προτείνεται η χρήση βιντεοκαμερών υψηλής μεγέθυνσης (zoom) και ανάλυσης σε UAV/Drones με υψηλή ποιότητα σταθεροποίησης.

Ο συνδυασμός επιτόπου οπτικού ελέγχου και εξ αποστάσεως οπτικού ελέγχου είναι η βέλτιστη πρακτική. Τα ευρήματα και οι παρατηρήσεις του οπτικού ελέγχου υλικών θα τροφοδοτηθούν στο επόμενο στάδιο σχεδιασμού εφαρμογής των τεχνικών ΜΚΕ υλικών.

5.2.6.2.3 Ολοκληρωμένος σχεδιασμός εφαρμογής τεχνικών ΜΚΕ υλικών

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός εφαρμογής τεχνικών ΜΚΕ υλικών περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:

Α) Καθορισμός των θέσεων και περιοχών εφαρμογής τεχνικών ΜΚΕ υλικών και δομών

Η επιλογή των θέσεων ελέγχου θα βασίζεται στα ευρήματα και συμπεράσματα, όσον αφορά στα υλικά, των μελετών α) της αρχαιολογικής – ιστορικής τεκμηρίωσης, β) της τοπογραφικής αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης, γ) της αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου, δ) αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης, ε) κατασκευαστικής ανάλυσης και στ) του προαναφερθέντος ΜΚΕ με οπτικό έλεγχο.

Η επιλογή των κατάλληλων θέσεων και περιοχών εφαρμογής καθορίζεται από συγκεκριμένα κριτήρια:

1. Αντιπροσωπευτικότητα θέσεων και περιοχών ΜΚΕ.
 - ο Πρέπει να γίνεται ΜΚΕ κατ' ελάχιστον σε όλες τις κατηγορίες υλικών του μνημείου,
 - ο Πρέπει να αποφεύγεται η επιλογή θέσεων και περιοχών όπου ο ΜΚΕ δεν αναμένεται να αποδώσει διαφοροποιημένες πληροφορίες σε σχέση με άλλες θέσεις και περιοχές που θα εφαρμοστεί.
2. Προσβασιμότητα θέσεων και περιοχών ΜΚΕ
 - ο Πρέπει να αποφεύγεται η επιλογή θέσεων και περιοχών με υψηλές απαιτήσεις προσβασιμότητας (π.χ. εγκατάσταση ικριωμάτων, χρήση καλαθοφόρων οχημάτων, εφαρμογή σε πολύ περιορισμένους χώρους, απαιτήσεις απομάκρυνσης υλικών) για τις οποίες ο ΜΚΕ δεν αναμένεται να αποδώσει διαφοροποιημένες πληροφορίες σε σχέση με θέσεις και περιοχές που έχουν μικρότερες απαιτήσεις προσβασιμότητας, εφόσον, όμως, πληρείται το κριτήριο της αντιπροσωπευτικότητας των μετρήσεων.

Β) Καθορισμός του είδους των πληροφοριών που θα δώσει ο ΜΚΕ υλικών και δομών.

Για κάθε θέση και περιοχή ΜΚΕ καθορίζεται τι πληροφορίες και τι δεδομένα αναμένεται να παρέχει ο ΜΚΕ υλικών και δομών, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων:

1. Επίπεδο αξιοποίησης των πληροφοριών ΜΚΕ υλικών στα στάδια εργαστηριακών ελέγχων, διάγνωσης της φθοράς και ανάπτυξης προτάσεων επεμβάσεων, ώστε να γίνεται βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων τεχνικών πόρων.
2. Συμπληρωματικότητα πληροφοριών σε σχέση με υφιστάμενα δεδομένα και πληροφορίες.
 - ο Πρέπει να αποφεύγεται η διενέργεια ΜΚΕ για παροχή πληροφοριών που είναι ήδη διαθέσιμες είτε από υφιστάμενη τεκμηρίωση είτε θα αποκτηθούν από προγραμματισμένη δειγματοληψία υλικών και εργαστηριακό έλεγχο, εφόσον το είδος πληροφοριών είναι ανάλογο.
3. Επίπεδο δυνητικής συσχέτισης και επαλήθευσης πληροφοριών.
 - ο Πρέπει να επιλέγονται είδη πληροφοριών ΜΚΕ τα οποία να μπορούν να συσχετιστούν και επαληθευτούν με δεδομένα και πληροφορίες ΜΚΕ, αναλυτικών τεχνικών και ευρημάτων είτε στα στάδια της τεκμηρίωσης, είτε στα στάδια επεμβάσεων.
4. Αντιπροσωπευτικότητα πληροφοριών υλικών για όλο το μνημείο ή εκτεταμένη μέρη αυτού.

Γ) Καθορισμός των τεχνικών ΜΚΕ υλικών που θα αξιοποιηθούν για την πρόσκτηση και ανάλυση των πληροφοριών που απαιτούνται για τα υλικά.

Για κάθε θέση και περιοχή ΜΚΕ καθορίζονται οι τεχνικές ΜΚΕ που θα αξιοποιηθούν για την πρόσκτηση και ανάλυση των πληροφοριών που απαιτούνται για τα υλικά. Η επιλογή των βέλτιστων τεχνικών ΜΚΕ λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

1. Ακρίβεια τεχνικών ΜΚΕ.
 - ο Επιλέγονται εκείνες οι τεχνικές ΜΚΕ που κατ'ελάχιστο καλύπτουν τις απαιτήσεις ακρίβειας πληροφοριών προς αξιοποίηση σε μεταγενέστερα στάδια και δράσεις.
 - ο Εφόσον είναι εφικτό, είναι προτιμητέα η επιλογή τεχνικής ΜΚΕ που παρέχει ποσοτικά δεδομένα έναντι τεχνικής που παρέχει ποιοτικά δεδομένα ανάλογης πληροφορίας.
2. Επαναληψιμότητα και αξιοπιστία τεχνικών ΜΚΕ.
 - ο Για ανάλογο είδος και ποιότητα δεδομένων, επιλέγεται οι τεχνικές ΜΚΕ που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επαναληψιμότητα και αξιοπιστία δεδομένων.
 - ο Εφόσον στην επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων ΜΚΕ εμπλέκεται εκτενώς ο ανθρώπινος παράγοντας, φροντίζεται ώστε ο ίδιος χειριστής, τεχνικός, επιστήμονας να διενεργεί τις εν λόγω επεξεργασίες για όλες τις θέσεις και περιοχές ελέγχου. Στα αποτελέσματα πρέπει να αναφέρεται η στάθμη αξιοπιστίας.
3. Απαιτήσεις προσβασιμότητας.
 - ο Εφόσον το ίδιο είδος, ποιότητα και πιστότητα πληροφορίας και δεδομένων μπορούν να επιτευχθούν από περισσότερες της μιας τεχνικές ΜΚΕ, επιλέγεται κατά προτεραιότητα η τεχνική εκείνη που έχει τις μικρότερες απαιτήσεις προσβασιμότητας.
4. Απαιτήσεις κόστους.

- ο Εφόσον το ίδιο είδος, ποιότητα και πιστότητα πληροφορίας και δεδομένων μπορούν να επιτευχθούν από περισσότερες της μιας τεχνικές ΜΚΕ, επιλέγεται κατά προτεραιότητα η τεχνική εκείνη που έχει το μικρότερο κόστος χρήσης. Ως κόστος χρήσης εννοείται το κόστος υπηρεσιών (εφόσον ανατίθενται σε εξωτερικό ανάδοχο), ή το ανηγμένο κόστος ανά μέτρηση (συμπ. του κόστους απόκτησης εξοπλισμού, πιστοποίησης, εκπαίδευσης, συντήρησης και αναλωσίμων, εφόσον ο ΜΚΕ διενεργείται από τον φορέα).

Η λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας εφαρμογής των επιλεχθέντων τεχνικών ΜΚΕ, οι προδιαγραφές μετρήσεων και οι προδιαγραφές των δεδομένων που αναμένεται να ληφθούν καθορίζονται ανά τεχνική ΜΚΕ από τους αντίστοιχους επιστημονικά υπευθύνους και αποτελούν αντικείμενο των σχετικών ενοτήτων.

Δ) Τεκμηρίωση εξοπλισμού και εγκαταστάσεων πρόσβασης και χρήσης τεχνικών ΜΚΕ

Καταγράφονται οι απαιτήσεις πρόσβασης ανά περιοχή ελέγχου και ανά τεχνική ΜΚΕ, ώστε να προταθούν και να εξασφαλιστούν έγκαιρα οι διατάξεις και ο εξοπλισμός που θα επιτρέπει την πρόσβαση στις θέσεις και περιοχές ελέγχου και την χρήση των τεχνικών ΜΚΕ. Ενδεικτικά αναφέρονται η εγκατάσταση προσωρινών ικριωμάτων, η διάθεση φορητών κλιμάκων, η διάθεση καλαθοφόρου γερανοφόρου οχήματος, η διάθεση εξοπλισμού για υπόγειους χώρους, η διάθεση ηλεκτρικής παροχής, κ.α. Ο εξοπλισμός και οι προδιαγραφές ασφάλειας και υγιεινής καθορίζονται από την κείμενη νομοθεσία.

Ε) Προγραμματισμός εφαρμογής των τεχνικών ΜΚΕ υλικών

Καταρτίζεται λεπτομερής προγραμματισμός εφαρμογής των τεχνικών ΜΚΕ υλικών, με χρονοδιαγράμματα μετρήσεων ανά περιοχή ελέγχου, ώστε να εξασφαλίζονται τα ακόλουθα:

1. Ο περιορισμός της διάρκειας του ΜΚΕ.
2. Η αποφυγή παρεμπόδισης εφαρμογής τεχνικών ΜΚΕ από άλλες μετρήσεις και εργασίες.
3. Η σταδιακή παροχή επεξεργασμένων δεδομένων ΜΚΕ, ώστε να γίνεται εφικτή η ανάδραση και η τροποποίηση του αρχικού προγραμματισμού, εφόσον απαιτείται.
4. Η αξιοποίηση εξοπλισμού προσβασιμότητας από όσες τεχνικές ΜΚΕ τον απαιτούν, προτού αυτός απομακρυνθεί.

5.2.6.2.4 Μη-καταστροφικός έλεγχος με υπερήχους (UT)

Α) Πεδία εφαρμογής των μεθόδων υπερήχων στα μνημεία

Οι δοκιμές με υπερήχους (ultrasonic testing – UT) χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της κατάστασης διατήρησης και της παθολογίας των υλικών. Τα πεδία εφαρμογής των μεθόδων αυτών στα μνημεία αφορούν σε:

- Έλεγχος ομοιογένειας και ποιοτική κατηγοριοποίηση υλικών: Εντοπισμός διαφοροποιήσεων στη μικροδομή των δομικών υλικών, αποκάλυψη εσωτερικών ζωνών φθοράς.

- Ανίχνευση εσωτερικών ασυνεχειών και βλαβών: Αποκάλυψη διαστρωματώσεων υλικών, χαρτογράφηση εσωτερικών κενών, ρωγμών και αποκολλήσεων μεταξύ επιμέρους στρώσεων.
- Προσδιορισμός βάθους επιφανειακών ρωγμών: Εκτίμηση του βάθους διείσδυσης των ρωγμών στο εσωτερικό του υλικού.
- Αποτίμηση αποτελεσματικότητας επεμβάσεων στερέωσης και ενεμάτωσης: αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας πλήρωσης των εσωτερικών κενών και της αποκατάστασης της δομικής συνέχειας.
- Εκτίμηση δυναμικών μηχανικών ιδιοτήτων: Εκτίμηση του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E και εκτίμηση αντοχών σε θλίψη ή εφελκυσμό.

Στις εφαρμογές πεδίου σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μέθοδοι υπερήχων, α) η μέθοδος ταχύτητας διάδοσης υπερηχητικού παλμού (Ultrasonic Pulse Velocity - UPV) και β) η μέθοδος παλμοηχούς (Ultrasonic Pulse Echo - UPE).

B) Παραδοτέα Τεχνικής Αναφοράς

Η τεχνική αναφορά υπερήχων πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

1. Τεχνικό φύλλο έργου: Στοιχεία εξοπλισμού, ονομαστικές συχνότητες αισθητήρων, τύπο μέσου σύζευξης και καταγραφή περιβαλλοντικών συνθηκών.
2. Διάγραμμα θέσης μετρήσεων: Αποτύπωση σε αρχιτεκτονικό σχέδιο του μνημείου, όπου σχεδιάζονται με ακρίβεια τα σημεία μετρήσεων.
3. Τομογραφικά διαγράμματα (2D/3D): Παρουσίαση των χαρτών ταχυτήτων με σαφή αναγραφή της χρησιμοποιούμενης χρωματικής κλίμακας (σε m/s).
4. Συμπεράσματα: Συσχέτιση των ευρημάτων με την παθολογία του μνημείου (ιδανικά σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ΜΚΕ) και αναφορά στον βαθμό αβεβαιότητας αποτελεσμάτων.

Για αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας, του σχεδιασμού και υλοποίησης των επιτόπου μετρήσεων, και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, βλ. Παράρτημα Β-Ι.

5.2.6.2.5 Υπέρυθρη θερμογραφία (IRT)

A) Πεδία εφαρμογής της μεθόδου της υπέρυθρης θερμογραφίας

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε εσωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες μνημείων και ιστορικών κατασκευών με σκοπό την απεικόνιση και τον ποσοτικό ή ποιοτικό προσδιορισμό επιφανειακών και υπο-επιφανειακών ασυνεχειών, δομικών μεταβολών και θερμικών ανωμαλιών. Τα πεδία εφαρμογής της μεθόδου αφορούν:

1. Παθολογία της φθοράς: Χαρτογράφηση υλικών και προϊόντων φθοράς τους στις περιοχές εξέτασης
2. Ανίχνευση υγρασίας – ανάλυση θερμουγκρικής συμπεριφοράς: Εντοπισμός ζωνών ανερχόμενης ή κατερχόμενης υγρασίας, περιοχές διείσδυσης ομβρίων υδάτων, καθώς και χαρτογράφηση περιοχών με υψηλή υγρασία η οποία συνδέεται με τη μεταφορά διαλυτών αλάτων (βλ. εξανθήσεις).

3. Αποκάλυψη εσωτερικών ασυνεχειών και βλαβών σε ιστορικά επιχρίσματα και τοιχογραφίες: Εντοπισμός περιοχών με αποκόλληση του υποστρώματος, εσωτερικών κενών, κοιλοτήτων και μικρορωγμών πίσω από ζωγραφικά στρώματα ή στρώσεις ψηφιδών, καθώς και εντοπισμός επιφανειακών ρηγματώσεων
4. Αξιολόγηση επεμβάσεων συντήρησης: Αποτίμηση θερμοϋγκρικής συμβατότητας υλικών στερέωσης, προστασίας, αντικατάστασης σε σχέση με τη περιοχή εφαρμογής τους.
5. Αποκάλυψη κρυφών δομικών στοιχείων και φάσεων δόμησης: Ανίχνευση φραγμένων ανοιγμάτων, εσωτερικών ξυλοδεσιών, μεταλλικών συνδέσμων, ετερογενών υλικών (π.χ. μεταγενέστερες προσθήκες με πλίνθους ή τσιμεντοκονιάματα) και εσωτερικών αγωγών, εφόσον αυτά επηρεάζουν την θερμοϋγκρική συμπεριφορά της εξωτερικής επιφάνειας εξέτασης.
6. Αποτίμηση αποτελεσματικότητας επεμβάσεων συντήρησης και ενίσχυσης: Έλεγχος της ομοιογένειας και της διείσδυσης ενεμάτων (αποτίμηση πλήρωσης κενών), αξιολόγηση της στερέωσης αποκολλημένων επιχρισμάτων και έλεγχος της συμβατότητας/συμπεριφοράς νέων κονιαμάτων.

Β) Παραδοτέα και δομή τεχνικής αναφοράς υπέρυθρης θερμογραφίας

Η τεχνική αναφορά υπέρυθρης θερμογραφίας πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τα ακόλουθα κεφάλαια:

1. Τεχνικό φύλλο έργου: Ημερομηνίες και ακριβείς ώρες των λήψεων (κρίσιμο για την κατανόηση της θερμικής ροής), στοιχεία του προσωπικού, περιγραφή του εξοπλισμού, καταγραφή καιρικών συνθηκών (θερμοκρασία περιβάλλοντος, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου, κάλυψη νεφών και επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας).
2. Διαγράμματα θέσεων λήψης θερμογραφημάτων: Αποτύπωση σε αρχιτεκτονικό σχέδιο, ορθοφωτογραφία ή 3D μοντέλο του μνημείου όπου σημειώνονται οι θέσεις λήψης των θερμογραφημάτων, οι γωνίες σκόπευσης της κάμερας και οι αποστάσεις από τις τοιχοποιίες.
3. Παράμετροι βαθμονόμησης: Πίνακας με τις τιμές του συντελεστή εκπομπής που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε περιοχή σάρωσης
4. Σχολιασμένα θερμογραφήματα: Παρουσίαση των θερμογραφημάτων σε άμεση παράθεση με τις αντίστοιχες ψηφιακές οπτικές φωτογραφίες. Για κάθε θερμογράφημα πρέπει να περιλαμβάνεται η χρωματική κλίμακα (temperature scale) που χρησιμοποιήθηκε, γραφικές επισημάνσεις των ανωμαλιών (π.χ. περιγράμματα, βέλη) που αναφέρονται και επεξηγούνται στο κυρίως κείμενο, και λοιπές παρατηρήσεις. Το σύνολο των επεξεργασμένων σαρώσεων μπορεί να συμπεριληφθεί ως παράρτημα μετρήσεων.
5. Πίνακας θερμικών στόχων και ευρημάτων: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει τον κωδικό της θερμικής ανωμαλίας, το είδος της (υγρασία, αποκόλληση, ρωγμή), τις εκτιμώμενες επιφανειακές διαστάσεις, τη θερμική αντίθεση (ΔT), τις χωρικές συντεταγμένες (X, Y, Z) στόχου στο σύστημα αναφοράς του έργου (ή κατ' ελάχιστον στο επιμέρους σύστημα αναφοράς του καννάβου σαρώσεων, εφόσον αυτός δύναται να γεωαναφερθεί και εφόσον απαιτηθεί για άλλες αναλύσεις) και τον βαθμό επικινδυνότητας/προτεραιότητας.
6. Συμπεράσματα και προτάσεις: Συσχέτιση των θερμικών ευρημάτων με την παθολογία του μνημείου και διατύπωση προτάσεων για στοχευμένες επεμβάσεις ή για περαιτέρω διερεύνηση με καταστροφικές ή άλλες μη καταστροφικές μεθόδους.

Για αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας, του σχεδιασμού και υλοποίησης των επιτόπου μετρήσεων, και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, και συσχέτισή τους με ευρήματα άλλων τεχνικών ΜΚΕ, βλ. Παράρτημα Β-Ι.

5.2.6.2.6 Γεωραντάρ (GPR)

Α) Πεδία εφαρμογής της μεθόδου του γεωραντάρ

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε φέροντα και μη φέροντα δομικά στοιχεία μνημείων, και ιστορικών κατασκευών. Τα πεδία εφαρμογής της μεθόδου του γεωραντάρ αφορούν:

1. Διασκόπηση της εσωτερικής δομής της κατασκευής: Εντοπισμός εσωτερικών κενών και κοιλοτήτων, αποκολλήσεων επιχρισμάτων και συγκεντρώσεων υγρασίας, προσδιορισμός του πάχους των επιμέρους στρώσεων σε σύνθετες ή πολυστρωματικές τοιχοποιίες.
2. Αποκάλυψη εσωτερικών ρηγματώσεων, βλαβών και ασυνεχειών: Εντοπισμός εσωτερικών περιοχών και τμημάτων της κατασκευής που έχουν αστοχήσει ή έχουν υποστεί βλάβες και φθορές που θέτουν σε κίνδυνο την στατική επάρκεια και δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής.
3. Αποτίμηση αποτελεσματικότητας επεμβάσεων ενίσχυσης: εντοπισμός εσωτερικών ή μη ορατών συστημάτων ενίσχυσης (ελκυστήρες, ξυλοδεσιές, μεταλλικά βλήτρα), σιδηροπλισμών και άλλων εσωτερικών συνδέσεων, αποτίμηση της συνάφειας εσωτερικών στρώσεων.
4. Διερεύνηση οριζόντιων στοιχείων (δαπέδων/υποστρωμάτων): Χαρτογράφηση υποκείμενων στρωμάτων επίχωσης, εντοπισμός κρυπτών, αγωγών, δικτύων σωληνώσεων (ιστορικές ή σύγχρονες) και διαμόρφωσης των θεμελιώσεων.
5. Υπεδαφική και αρχαιολογική διασκόπηση περιμετρικά του μνημείου: Ανίχνευση θαμμένων αρχαιολογικών καταλοίπων, προγενέστερων φάσεων δόμησης και μεταβολών του περιβάλλοντος θεμελίωσης που επηρεάζουν τη στατική συμπεριφορά του κτιρίου, αποκάλυψη γεωλογικού υποβάθρου στη θεμελίωση και τον περιβάλλοντα χώρο

Β) Παραδοτέα και δομή τεχνικής αναφοράς γεωραντάρ

Η τεχνική αναφορά γεωραντάρ πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τα ακόλουθα κεφάλαια:

1. Τεχνικό φύλλο έργου: Ημερομηνίες εργασιών, στοιχεία του προσωπικού, περιγραφή του εξοπλισμού, χρησιμοποιούμενες συχνότητες και επικρατούσες καιρικές συνθήκες.
2. Διάγραμμα θέσης σαρώσεων: Αποτύπωση σε αρχιτεκτονικό σχέδιο ή ορθοφωτογραφία του μνημείου όπου σχεδιάζονται με ακρίβεια όλες οι γραμμές σάρωσης, με σαφή αναγραφή της κατεύθυνσης κίνησης της κεραίας και των σημείων έναρξης/λήξης.
3. Παράμετροι επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων: Παράθεση των προφίλ ταχυτήτων ή της μέσης ταχύτητας διάδοσης που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα στάδια επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων που πραγματοποιήθηκαν.
4. Σχολιασμένα γραφήματα γεωραντάρ (Annotated B-scans): Παρουσίαση αντιπροσωπευτικών τομών για κάθε δομικό στοιχείο. Οι άξονες πρέπει να φέρουν διπλή κλίμακα (χρόνος σε ns και βάθος σε m ή cm). Οι εντοπισμένες ανωμαλίες επισημαίνονται με γραφικά σύμβολα (π.χ. βέλη, κύκλους). Το σύνολο των επεξεργασμένων σαρώσεων μπορεί να συμπεριληφθεί ως παράρτημα μετρήσεων.

-
5. Χάρτες τομών βάθους (Depth-Slice Maps): Σε περιπτώσεις 3D επεξεργασίας δεδομένων, παραγωγή οριζοντίων 2D απεικονίσεων για συγκεκριμένα επίπεδα βάθους.
 6. Πίνακας στόχων: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει τον κωδικό στόχου, την περιγραφή (ρωγμή, ασυνέχεια, διεπιφάνεια, έγκλεισμα, κενός χώρος, αποκόλληση στρώσης, κ.α.), τις χωρικές συντεταγμένες (X, Y, Z) του στόχου στο σύστημα αναφοράς του έργου (ή κατ' ελάχιστον στο επιμέρους σύστημα αναφοράς του καννάβου σαρώσεων, εφόσον αυτός δύναται να γεωαναφερθεί και εφόσον απαιτηθεί για άλλες αναλύσεις), τις εκτιμώμενες γεωμετρικές διαστάσεις (πάχος, μήκος, βάθος) ή άλλα χαρακτηριστικά, τον δείκτη εμπιστοσύνης ερμηνείας (Υψηλός, Μέτριος, Χαμηλός).
 7. Συμπεράσματα και προτάσεις: Σύνδεση των ευρημάτων με τους πιθανούς μηχανισμούς φθοράς και διατύπωση συγκεκριμένων προτάσεων για περαιτέρω στοχευμένη διερεύνηση ή επεμβάσεις συντήρησης.

Για αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας, του σχεδιασμού και υλοποίησης των επιτόπου μετρήσεων, και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, και συσχέτισή τους με ευρήματα άλλων τεχνικών ΜΚΕ, βλ. Παράρτημα Β-Ι.

5.2.6.2.7 Φορητή Ψηφιακή Μικροσκοπία (Portable Digital Microscopy - PDM)

Α) Πεδία εφαρμογής της φορητής μικροσκοπίας στα μνημεία

Η φορητή ψηφιακή μικροσκοπία αποτελεί μια ευέλικτη, μη καταστροφική μέθοδο άμεσης παρατήρησης και καταγραφής της μικροδομής υλικών και επιφανειών ενός μνημείου. Εκτός από την πραγματοποίηση ελέγχων στο πεδίο, η μέθοδος εφαρμόζεται και σε εργαστηριακή κλίμακα στο στάδιο χαρακτηρισμού των υλικών και στον σχεδιασμό και αποτίμηση υλικών και επεμβάσεων προστασίας, ενίσχυσης και αποκατάστασης. Η μέθοδος αξιοποιείται για:

1. Χαρακτηρισμό επιφανειακών αλλοιώσεων: Προσδιορισμός της μορφολογίας, της γεωμετρίας και της έκτασης φαινομένων φθοράς, όπως, η αποφλοίωση, η δημιουργία κρουστών και η αποσάθρωση κονιαμάτων.
2. Ανίχνευση και μορφολογική ταυτοποίηση αλάτων: Καταγραφή της κρυσταλλικής δομής επιφανειακών εξανθήσεων (efflorescence) ή υποεπιφανειακών εξανθήσεων (subflorescence) για την αρχική εκτίμηση της φύσης των αλάτων.
3. Διάγνωση βιολογικής φθοράς: Εντοπισμός και μορφολογική εξέταση βιολογικών επικαθίσεων (μύκητες, λειχήνες κλπ) που αναπτύσσονται πάνω στα υλικά.
4. Έλεγχος μικρορωγμών: Μορφολογική αποτίμηση και εξέταση της εξέλιξης ανάπτυξης μικρορωγμών
5. Αξιολόγηση επεμβάσεων συντήρησης: Συγκριτικός έλεγχος των επιφανειών πριν και μετά από εργασίες καθαρισμού, εργασίες στερέωσης (εκτίμηση της διεύθυνσης των υλικών και της συνεκτικότητας τους με το υπόστρωμα) ή κατά την εφαρμογή προστατευτικών επιχρισμάτων και υδροαπωθητικών μέσων.

B) Παραδοτέα τεχνικής έκθεσης φορητής μικροσκοπίας

Η τεχνική έκθεση της έρευνας φορητής μικροσκοπίας πρέπει να περιλαμβάνει:

1. Διάγραμμα θέσεων μικροσκοπίας: Αρχιτεκτονικό σχέδιο (όψη ή κάτοψη) του μνημείου όπου σημειώνονται επακριβώς τα σημεία λήψης των μικρογραφιών, βάσει των προαναφερθέντων οδηγιών.
2. Κατάλογος μικρογραφιών: Κάθε εικόνα πρέπει να συνοδεύεται υποχρεωτικά από ενσωματωμένη ψηφιακή κλίμακα (scale bar), την τιμή της μεγέθυνσης (π.χ. 50x), τον τύπο του χρησιμοποιούμενου φωτισμού (π.χ. πολωμένος, UV) και τον μοναδικό κωδικό του σημείου λήψης.
3. Πίνακα ποσοτικών μετρήσεων: Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί ποσοτικοποίηση παρατηρούμενων βλαβών ή χαρακτηριστικών, καταγραφή των αριθμητικών δεδομένων που προέκυψαν από το λογισμικό, π.χ. μέσο μήκος των μικρορωγμών, μέσες διαστάσεις των κρυστάλλων.
4. Μορφολογική ερμηνεία ευρημάτων: Σύντομη περιγραφή των παρατηρούμενων φαινομένων και συσχέτισή τους με την ευρύτερη παθολογία και τους μηχανισμούς φθοράς του μνημείου.

Για αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας, του σχεδιασμού και υλοποίησης των επιτόπου μετρήσεων, και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, και συσχέτισή τους με ευρήματα άλλων τεχνικών ΜΚΕ, βλ. Παράρτημα Β-Ι.

5.2.6.2.8 Μη-καταστρεπτικός έλεγχος υλικών σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες

Επιπρόσθετα των προαναφερθέντων μεθόδων ΜΚΕ που εφαρμόζονται εκτενώς στα μνημεία και ιστορικές κατασκευές, χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά και άλλες μέθοδοι, όπως οι ακόλουθες:

A) Κρουσιμετρία

Η κρουσιμετρία εφαρμόζεται για την έμμεση εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής και της ομοιογένειας της επιφανειακής μάζας των υλικών. Τα κύρια πεδία εφαρμογής περιλαμβάνουν:

1. Τη χαρτογράφηση της σχετικής διακύμανσης των μηχανικών αντοχών κατά μήκος μιας αρχιτεκτονικής όψης
2. Την ποιοτική κατηγοριοποίηση φυσικών λίθων και πλίνθων ως προς την επιφανειακή τους συνοχή.
3. Τον εντοπισμό ζωνών έντονης αποσάθρωσης, αποδιοργάνωσης ή «κρυφής» αποκόλλησης υποκείμενων στρωμάτων κονιάματος.

B) Δοκιμή Αντίστασης Διάτρησης (DRMS)

Λόγω της φύσης της, η δοκιμή αντίστασης διάτρησης (DRMS) ταξινομείται ως μικρο-καταστρεπτική, καθώς απαιτεί τη διάνοιξη μικροσκοπικών οπών (διαμέτρου 3 έως 5 mm), οι οποίες είναι πλήρως αναστρέψιμες και σφραγίζονται εύκολα μετά τη δοκιμή. Εφαρμόζεται για:

1. Τη μέτρηση του πάχους των επιφανειακών κρουστών ή των αλλοιωμένων (αποσαθρωμένων) στρωμάτων.
2. Τη διάκριση μεταξύ διαφορετικών φάσεων/στρώσεων ιστορικών επιχρισμάτων.
3. Τον προσδιορισμό του προφίλ συνοχής του υλικού σε συνάρτηση με το βάθος (έως 50 mm).

-
4. Την ποσοτική αξιολόγηση του βάθους διείδυσης και της αποτελεσματικότητας προϊόντων στερέωσης (π.χ. πυριτικά εστέρια).

Γ) Χρωματομετρία

Η χρωματομετρία αποτελεί την κύρια μέθοδο για την αντικειμενική, ποσοτική μέτρηση του χρώματος και των οπτικών ιδιοτήτων μιας επιφάνειας. Χρησιμοποιείται για:

1. Τεκμηρίωση και παρακολούθηση των χρωματικών αλλοιώσεων που προκαλούνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες φθοράς (ατμοσφαιρική ρύπανση, εναπόθεση σκόνης, δημιουργία κρούστας).
2. Έλεγχο συμβατότητας κονιαμάτων αποκατάστασης ή των λίθων συμπλήρωσης με το αυθεντικό ιστορικό υλικό όσον αφορά την χρωματική συμβατότητά τους.
3. Αποτίμηση επεμβάσεων καθαρισμού
4. Αξιολόγηση της επίδρασης προστατευτικών υλικών βάσει αισθητικών κριτηρίων.

Δ) Ενδοσκόπηση

Η τεχνική της ενδοσκόπησης (endoscopy) αφορά στην χρήση φορητών συσκευών για την οπτική παρατήρηση εσωτερικών κοιλοτήτων και κενών χώρων που δεν είναι ορατοί από την εξωτερική επιφάνεια εξέτασης. Τα κύρια πεδία εφαρμογής περιλαμβάνουν:

1. Εντοπισμός και οπτική διερεύνηση δομικών στρωμάτων, εσωτερικών κενών, αποκολλήσεων στρώσεων και ασυνεχειών σε τοιχοποιίες ή άλλα δομικά τμήματα.
2. Την επιβεβαίωση και τη χαρτογράφηση ευρημάτων άλλων ΜΚΕ μέσω άμεσης οπτικής επιβεβαίωσης
3. Οπτικό έλεγχο εσωτερικών στοιχείων σύνδεσης όπως μεταλλικοί σύνδεσμοι, και αγκυρώσεις, για αξιολόγηση και τεκμηρίωση της φθοράς ή των βλαβών τους.
4. Αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης πληρωτικού υλικού (πυρήνα) τοιχοποιίας
5. Αποτίμηση της αποτελεσματικότητας επεμβάσεων ενεμάτωσης πριν και μετά την εφαρμογή, μέσω παρατήρησης της πλήρωσης των κενών.

Ε) Σωλήνες Karsten (Water Absorption Test)

Η τεχνική χρησιμοποιείται για τη μελέτη της διαβρεξιμότητας και της ικανότητας απορρόφησης νερού της επιφάνειας υπό συνθήκες που προσομοιάζουν την επίδραση της διαβροχής από επιφανειακά κατακρημνίσματα (βροχή). Χρησιμοποιείται για:

1. Εκτίμηση του ανοιχτού πορώδους και της τριχοειδούς υδαταπορρόφησης λίθων, πλίνθων, κονιαμάτων και επιχρισμάτων.
2. Έλεγχος ποιότητας και διάρκειας ζωής των εφαρμοζόμενων υδροφοβικών ή στερεωτικών υλικών.

Για περαιτέρω πληροφορίες για τις προαναφερθείσες τεχνικές ΜΚΕ, βλ. Παράρτημα Β-Ι

5.2.6.2.9 Πρότυπα και Προδιαγραφές για τεχνικές μη-καταστρεπτικού ελέγχου μνημείων και ιστορικών κατασκευών

Στον ακόλουθο Πίνακα παρουσιάζονται τα ισχύοντα πρότυπα και προδιαγραφές που αφορούν στην χρήση τεχνικών ΜΚΕ σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές.

Πίνακας 5.2.6-1 Πρότυπα και Προδιαγραφές για τεχνικές μη-καταστρεπτικού ελέγχου μνημείων και ιστορικών κατασκευών

Τεχνικές	Πρότυπα και Προδιαγραφές
Μη καταστρεπτικός έλεγχος - Γενικά	- ΕΛΟΤ EN ISO 9712 E2:2022 Μη καταστροφικοί έλεγχοι - Καταλληλότητα και πιστοποίηση προσωπικού ΜΚΕ - NORMAL 42/93 (1993) Criteri Generali per l' Applicazione delle Prove non Distruttive - General Criteria for the Application of Non-Destructive Testing (σημ. ιστορικό πρότυπο)
Υπερηχοσκόπηση	- ΕΛΟΤ EN ISO 16828:2025 Μη καταστροφικοί έλεγχοι - Εξέταση με υπερήχους - Τεχνική διάθλασης του χρόνου διάνυσης για την ανίχνευση και διαστασιολόγηση των ασυνεχειών - ΕΛΟΤ EN 12504-4 E2:2021 Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές - Μέρος 4: Προσδιορισμός της ταχύτητας μετάδοσης του ήχου με υπέρηχους - ΕΛΟΤ EN 14579:2005 Μέθοδοι δοκιμής φυσικών λίθων - Προσδιορισμός της ταχύτητας διάδοσης του ήχου
Θερμογραφία υπερύθρου	ΕΛΟΤ EN ISO 6781-1:2023 Επιδόσεις κτιρίων - Ανίχνευση της θερμότητας, των μεταβολών του αέρα και της υγρασίας σε κτίρια με υπέρυθρες μέθοδοι - Μέρος 1: Γενικές διαδικασίες
Γεωραντάρ	ASTM D6432 - 19 Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation
Κρουσιμετρία	- ΕΛΟΤ EN 12504-2 E3:2021 Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές - Μέρος 2: Μη καταστροφικοί έλεγχοι - Προσδιορισμός του δείκτη αναπήδησης - ASTM D5873-14 Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method - RILEM TC 127 – MS-D.7 Determination of pointing hardness by pendulum hammer
Δοκιμή αντίστασης στη διάτρηση	RILEM TC 247-DMT — RILEM Technical Committee 247-DMT: Drilling Resistance Measurement of Stone
Χρωματομετρία	- ΕΛΟΤ EN 15886 Συντήρηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς - Μέθοδοι δοκιμής - Μέτρηση χρώματος επιφανειών - ASTM C609 – 23 Standard Test Method for Measurement of Light Reflectance Value and Small Color Differences Between Pieces of Ceramic Tile - NORMAL 43/93 (1993) Misure colorimetriche di Superfici Opache - Colorimetric Measurements of Opaque Surfaces
Karsten tubes	ΕΛΟΤ EN 16302:2013 Συντήρηση πολιτιστικής κληρονομιάς - Μέθοδοι δοκιμής - Μέτρηση της απορρόφησης νερού με τη μέθοδο σιφωνίου

5.2.6.3 Δειγματοληψία

5.2.6.3.1 Σκοπός της δειγματοληψίας

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2ζ όσον αφορά στα υλικά, η δειγματοληψία γίνεται μετά από σχετική άδεια, καταγράφονται δε όλα τα σχετικά στοιχεία (θέση που σημειώνεται και στα σχέδια υπό κλίμακα, απόσταση από το έδαφος, κατάσταση διατήρησης του υλικού, φύση και κατάσταση διατήρησης των υλικών στην γειτονία, συνθήκες που επικρατούν στη θέση αυτή κ.λπ.), παράλληλα με φωτογραφική τεκμηρίωση. Σύμφωνα με την ίδια ΥΑ, άρθρο και παράγραφο, επιβάλλεται η λήψη μικρού μεγέθους και περιορισμένου αριθμού δειγμάτων. Οι αναλύσεις των δειγμάτων, οι εργαστηριακές εφαρμογές και έλεγχοι λαμβάνουν χώρα σε εργαστήρια του στενού και του ευρύτερου δημόσιου τομέα, σε εργαστήρια ανώτατων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και σε διαπιστευμένα ιδιωτικά εργαστήρια.

Σκοπός της δειγματοληψίας είναι η λήψη δειγμάτων από αντιπροσωπευτικές περιοχές του μνημείου για τον εργαστηριακό αναλυτικό έλεγχο, βάσει των αποτελεσμάτων του μη καταστρεπτικού ελέγχου και των αρχαιολογικών/αρχιτεκτονικών δεδομένων.

Η λήψη των δειγμάτων θα πρέπει να καλύπτει όλα τα δομικά υλικά του μνημείου, τα δομικά υλικά που συνεισφέρουν στην δομική απόκριση και στις αρχιτεκτονικές/αρχαιολογικές αξίες και τα δείγματα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά. Ιδανικά για το κάθε δομικό υλικό μπορεί να ληφθεί δείγμα από διαφορετικές θέσεις του μνημείου που εκτίθενται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Θα πρέπει να είναι σαφείς οι προηγούμενες επεμβάσεις στην κατασκευή, ώστε να μην εξαχθούν λανθασμένα συμπεράσματα.

Ακολούθως αναφέρονται πρότυπα και προδιαγραφές που αφορούν στην δειγματοληψία και τις επιτόπου παρατηρήσεις:

- EN 16085:2012-(2012-08-01) Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules
- NORMAL 3/80 (1980) Materiali Lapidei: Campionamento, Stone Materials – Sampling
- NORMAL 16/84 (1984) Caratterizzazione di Materiali Lapidei in Opera e del loro Stato di Conservazione, Characterisation of Stone Materials In Situ and Assessment of Their State of Conservation
- NORMAL 6/81 (1981) Caratterizzazione di Materiali Litici di Cava: Schema di Scheda - Characterization of stone materials from quarries: indexing system.

5.2.6.3.2 Δειγματοληψία για την χρονολόγηση δειγμάτων με θερμοφωταύγεια

Η δειγματοληψία των κονιαμάτων και των κεραμικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χρονολόγηση με τις μεθόδους της θερμοφωταύγειας (Thermoluminescence - TL) πρέπει να γίνεται σε ειδικές συνθήκες πλήρους συσκότισης, διότι είναι απαραίτητο τα δείγματα να ληφθούν στην κατάσταση της αρχικής τους κατασκευής και απόθεσης στο εσωτερικό της τοιχοποιίας (όπου δεν υπήρχε ηλιακό φως) και να μην εκτεθούν στο φως έως τη μέτρησή τους στο εργαστήριο.

Το μοναδικό φως που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δειγματοληψία είναι αμυδρό κόκκινο φως, χαμηλής έντασης, μεγάλου μήκους κύματος το οποίο θεωρείται ασφαλές για τις

περισσότερες εργασίες OSL που βασίζονται σε χαλαζία. Επομένως μπορεί αν χρησιμοποιηθεί φακός ή προβολέας LED με αμυδρό κόκκινο χρώμα, μήκος κύματος κατά προτίμηση ≥ 630 nm, με την χαμηλότερη δυνατή ρύθμιση φωτεινότητας και η χρήση του να είναι μόνο εφόσον είναι απαραίτητο (όχι συνεχώς). Τα δείγματα θα πρέπει να εξάγονται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, σε περιβάλλον συσκότισης και εφόσον συλλεχθούν να προστατευτούν από τη έκθεση στο φως με χρήση πλαστικής μαύρης σακούλας.

5.2.6.4 Χαρακτηρισμός των υλικών – Εργαστηριακός έλεγχος

5.2.6.4.1 Σκοπός

Σκοπός του εργαστηριακού ελέγχου είναι ο ολοκληρωμένος χαρακτηρισμός των ιστορικών δομικών υλικών, των υλικών προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης, των προϊόντων φθοράς και η συσχέτιση με τα περιβαλλοντικά δεδομένα. Οι εργασίες αυτές θα πρέπει να διενεργούνται από εξειδικευμένο προσωπικό, χημικό, χημικό μηχανικό ή μηχανικό της επιστήμης των υλικών με κατάλληλη εξειδίκευση.

5.2.6.4.2 Χαρακτηρισμός των υλικών

Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα υλικά έχει σκοπό την τεκμηρίωσή τους και τον σχεδιασμό/επιλογή νέων υλικών που παρουσιάζουν συμβατά χαρακτηριστικά. Οι ιδιότητες αφορούν σε:

- Χημικά χαρακτηριστικά -σύσταση
- Υγρομετρικά χαρακτηριστικά - μικροδομή
- Μηχανικά χαρακτηριστικά
- Αισθητικά χαρακτηριστικά – υφή, μορφολογία, χρώμα

Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του εκάστοτε ιστορικού υλικού κρίνεται απαραίτητος ώστε να γνωρίζουμε τη συμπεριφορά του υλικού, την ανθεκτικότητά του και να εξαχθούν κριτήρια για τα υλικά αποκατάστασης. Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών μπορεί να γίνει με χρήση διαφορετικών τεχνικών, η επιλογή των οποίων γίνεται ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος, την διαθεσιμότητα των τεχνικών, το κόστος κλπ. Στο στάδιο αυτό είναι σημαντική η συμβολή ενός γεωλόγου, καθώς η πετρογραφική μελέτη προσφέρει κρίσιμες πληροφορίες που αφορούν στον πετρογραφικό χαρακτηρισμό των υλικών και στην προέλευσή τους, ενώ μπορεί να υποδείξει χώρους απόληψης πανομοιότυπων ή παρόμοιων υλικών ως υλικά αποκατάστασης.

5.2.6.4.3 Διάγνωση της φθοράς των υλικών

Ο χαρακτηρισμός της φθοράς των δομικών υλικών ενός μνημείου ή ιστορικού κτηρίου αφορά στον τύπο της φθοράς, δηλαδή αν είναι φυσική, χημική, βιολογική ή μηχανική, καθώς και τη μορφολογία της (αποφλοίωση, απολέπιση, κρούστα, εξανθήματα αλάτων, ρωγμές ή κοκκώδη αποσάθρωση, κ.α.). Πρέπει επίσης να προσδιορίζονται η έκταση, το βάθος, καθώς και τα προϊόντα της φθοράς με χρήση αναλυτικών τεχνικών. Στο στάδιο αυτό και βάσει της φθοράς που παρατηρείται, αλλά και με βάση το σύνολο των αποτελεσμάτων της διαγνωστικής μελέτης, θα πρέπει να αναγνωρίζονται οι φυσικοχημικές δράσεις φθοράς των υλικών, παράλληλα με τα περιβαλλοντικά φορτία στα οποία καλούνται να υπηρετήσουν.

Επιπλέον, οι φθορές πρέπει να συσχετίζονται με τα αίτια και τους μηχανισμούς που τις προκαλούν καθώς και το στάδιο εξέλιξης της φθοράς, δηλαδή αν πρόκειται για ενεργή ή σταθεροποιημένη φθορά. Συνηθισμένα αίτια φθοράς είναι η ύπαρξη του νερού σε διαφορετικές μορφές (διαβροχή, ξήρανση, παγετός, ανερχόμενη υγρασία), μεταβολές θερμοκρασίας που προκαλούν συστολές και διαστολές στα υλικά, παρουσία αλάτων (κρυστάλλωση αλάτων, διαστολές λόγω υγροσκοπικότητας αλάτων), ατμοσφαιρική ρύπανση, στατικά και δυναμικά φορτία που καταπονούν τα υλικά, παρουσία βιολογικών αποικίσεων, ανώτερης χλωρίδας, μικροπλάνης, παρουσία προϊόντων μεταβολισμού, παρουσία ασύμβατων υλικών που δύναται να επιδεινώνουν τις δράσεις που προαναφέρθηκαν.

5.2.6.4.4 Εργαστηριακές τεχνικές χαρακτηρισμού και διάγνωσης της φθοράς

Θα πρέπει πάντα να αναφέρονται οι τεχνικές χαρακτηρισμού, ενώ και η διεξαγωγή των μετρήσεων και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα πρέπει να γίνεται από έμπειρο και εξειδικευμένο προσωπικό. Οι κυριότερες τεχνικές είναι οι ακόλουθες:

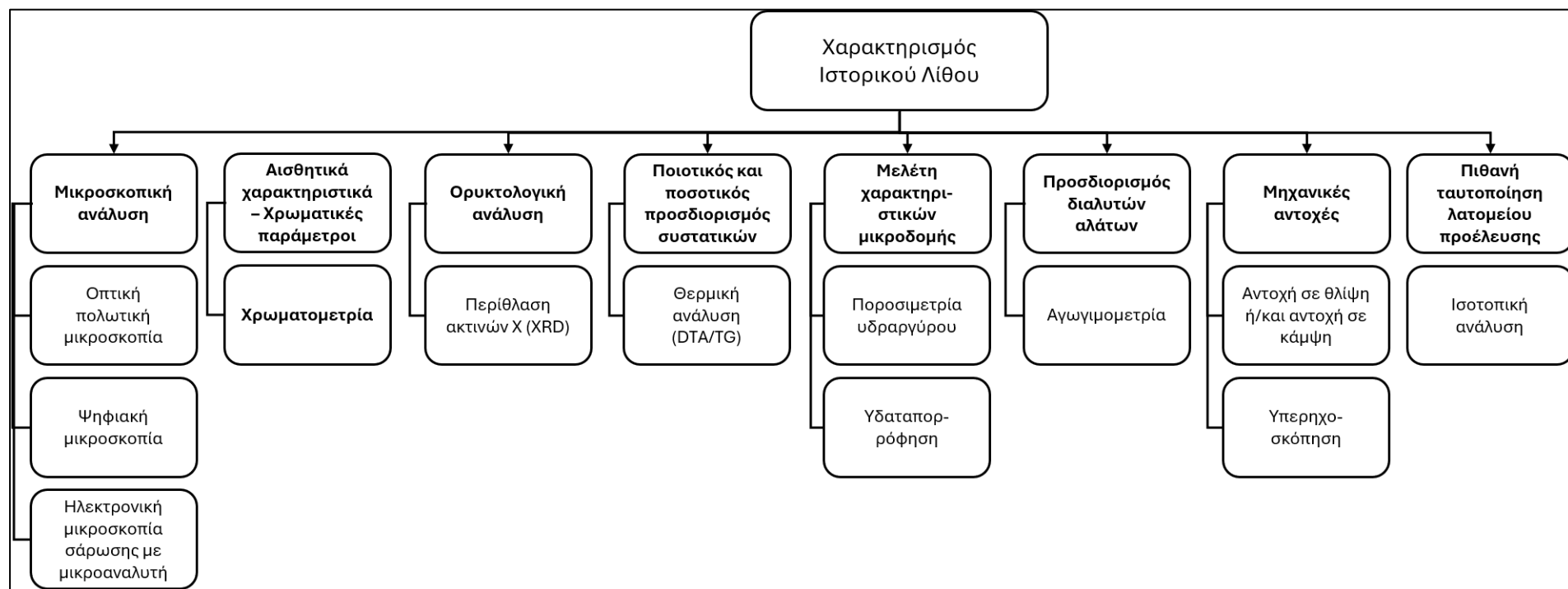
1. Στερεομικροσκοπία
2. Οπτική Μικροσκοπία
3. Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM) & Μικροανάλυση Ακτίνων Χ
4. Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD)
5. Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ (XRF)
6. Φασματοσκοπία Υπέρυθρου με Μετασχηματισμό Fourier (FTIR)
7. Φασματοσκοπία Raman (Raman Spectroscopy)
8. Ποροσιμετρία Υδραργύρου (MIP)
9. Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA/TG)
10. Προσδιορισμός Υδατοδιαλυτών Αλάτων
11. Προσδιορισμός συντελεστή υδαταπορρόφησης
12. Ολική εμβάπτιση
13. Μηχανικές αντοχές

5.2.6.4.5 Εργαστηριακός έλεγχος για τον χαρακτηρισμό ιστορικών λίθων

Στην Εικόνα 5.2.6-2 παρουσιάζεται η μεθοδολογία χαρακτηρισμού ιστορικών λίθων, ενώ στον Πίνακα 5.2.6-2 παρουσιάζονται τα ισχύοντα πρότυπα και προδιαγραφές που αφορούν στον εργαστηριακό έλεγχο για τον χαρακτηρισμό φυσικών ιστορικών λίθων μνημείων και ιστορικών κατασκευών.

Σημειώνεται, επίσης, ότι σε αρκετά μνημεία/ιστορικά κτήρια παρατηρείται χρήση άνω του ενός τύπου λίθου. Η επιλογή αυτή μπορεί να οφείλεται (i) στην διαθεσιμότητα πρώτων υλών κατά την κατασκευή του δομήματος, (ii) στην ύπαρξη διαφορετικών οικοδομικών φάσεων ή επεμβάσεων, όπου ο λίθος της αρχικής ή προγενέστερης κατασκευαστικής φάσης δεν ήταν διαθέσιμος ή δεν αναζητήθηκε κατά την υλοποίηση της επόμενης, (iii) σε ειδικά κατασκευαστικά θέματα - για παράδειγμα η χρήση λίθου χαμηλότερης πυκνότητας και υψηλότερης πλαστιμότητας σε συγκεκριμένες περιοχές του κτηρίου, για τεχνικούς λόγους.

Στην περίπτωση ύπαρξης περισσότερων του ενός τύπου λίθων, θα πρέπει να πραγματοποιείται χαρακτηρισμός για κάθε τύπο και να σημειώνεται σε ποιες περιοχές του μνημείου απαντάται ο κάθε τύπος και τα σχετικά ποσοστά συμμετοχής των διαφόρων τύπων σε περίπτωση που ενυπάρχουν σε περιοχή του κτηρίου. Οι πληροφορίες αυτές είναι σημαντικές για την αξιολόγηση της τρωτότητας του κτηρίου στην υπάρχουσα κατάσταση, αλλά και για την επιλογή νέου λίθου αποκατάστασης.



Εικόνα 5.2.6-2 Μεθοδολογία χαρακτηρισμού ιστορικών λίθων και διάγνωσης της φθοράς

Πίνακας 5.2.6-2 Πρότυπα και Προδιαγραφές για εργαστηριακό έλεγχο για τον χαρακτηρισμό φυσικών ιστορικών λίθων μνημείων και ιστορικών κατασκευών

Τεχνικές	Πρότυπα και Προδιαγραφές
Χαρακτηρισμός - Οδηγίες	• EN 16515:2015, Conservation of Cultural Heritage – Guidelines to characterize natural stone used in cultural heritage
Οπτική μικροσκοπία – Πετρογραφία	• NORMAL 10/82 (1982) Descrizione Petrografica dei Materiali Lapidei Naturali - Petrographic Description of Natural Stone Materials • NORMAL 14/83 (1983) Sezioni Sottili e Lucide di Materiali Lapidei: Tecnica di Allestimento - Thin and Polished Sections of Stone Materials – Preparation Technique
Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) & μικροανάλυση Ακτινών Χ	• ISO 16700:2004 Microbeam analysis – Scanning electron microscopy – Guidelines for calibrating image magnification • NORMAL 8/81 (1981) Esame delle Caratteristiche Morfologiche al Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) - Examination of Morphological Characteristics by Scanning Electron Microscopy (SEM)
Περίθλαση Ακτινών Χ (XRD)	• NORMAL 34/91 (1991) Analisi di Materiali Argillosi mediante XRD - Analysis of Clay Materials by X-Ray Diffraction (XRD)
Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ ((XRF)	• ASTM E1621-22 (2022) Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry
Πορώδες – Κατανομή Πόρων (Ποροσιμετρία Υδραργύρου κα)	• ISO 15901-1:2016 Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption - Part 1: Mercury porosimetry • ISO 15901-2:2022 Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption Part 2: Analysis of nanopores by gas adsorption • NORMAL 4/80 (1980) Distribuzione del Volume dei Pori in Funzione del loro Diametro - Pore Volume Distribution as a Function of Pore Diameter
Θερμομηχανική ανάλυση (TMA)	• EN 14581:2004 Natural stone test methods. Determination of linear thermal expansion coefficient • ASTM E831 – 25 (2025) Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis
Φαινόμενη Πυκνότητα – όγκος κενών- Πορώδες	• EN 1936:2006, Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity • UNI 11060:2003, Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti
Υγρομετρικά χαρακτηριστικά	• EN 15801:2009, Conservation of cultural property - Test methods –Determination of water absorption by capillarity

Τεχνικές	Πρότυπα και Προδιαγραφές
Περιεκτικότητα διαλυτών αλάτων Ανθεκτικότητα σε διαλυτά άλατα και παγετό	• EN 15803:2009, Conservation of cultural property - Test methods – Determination of water vapor permeability • EN 13755:2008 Natural stone. Test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure • NORMAL 7/81 (1981) Assorbimento d'Acqua per Immersione Totale – Capacità di Imbibizione - Water Absorption by Total Immersion – Imbibition Capacity • NORMAL 11/85 (1985) Assorbimento d'Acqua per Capillarità – Coefficiente di Assorbimento Capillare - Water Absorption by Capillarity – Capillary Absorption Coefficient • NORMAL 21/85 (1985) Permeabilità al Vapor d'Acqua - Water Vapour Permeability • NORMAL 29/88 (1988) Misura dell'Indice di Asciugamento (Drying Index) - Measurement of the Drying Index • NORMAL 33/89 (1989) Misura dell'Angolo di Contatto - Measurement of Contact Angle • NORMAL 44/93 (1993) Assorbimento d'Acqua a Bassa Pressione - Water Absorption at Low Pressure • NORMAL 13/83 (1983) Dosaggio dei Sali Solubili
	• EN 12370 (2020) Natural stone test methods - Determination of resistance to salt crystallization • RILEM TC 271-ASC, which stands for "Accelerated laboratory test for the assessment of the durability of materials with respect to salt crystallization" • EN 12371:2010, Natural stone test methods – Determination of frost resistance
Μηχανικές αντοχές	Στην περίπτωση των ιστορικών λίθων είναι δύσκολο να εξαχθούν δοκίμια ικανών διαστάσεων για τις δοκιμές των μηχανικών αντοχών, σε περίπτωση ωστόσο που αυτό είναι εφικτό οι δοκιμές είναι οι ακόλουθες: • EN 1926 2006 Natural Stone Test Methods Uniaxial Compressive Strength • EN 12372:2006, Natural stone test methods – Determination of flexural strength under concentrated load • EN 14157:2017, Natural stone test methods – Determination of the abrasion resistance

5.2.6.4.6 Εργαστηριακός έλεγχος για τον χαρακτηρισμό ιστορικών κονιαμάτων

Ο χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων και η διάγνωση της φθοράς έχουν τρεις κύριους στόχους:

1. Την αποκάλυψη της τεχνολογίας παρασκευής του κονιάματος (ή των κονιαμάτων, αν αναγνωρίζονται άνω του ενός τύπου)
2. Την κατηγοριοποίηση του ιστορικού κονιάματος (ή των κονιαμάτων, αν αναγνωρίζονται άνω του ενός τύπου)
3. Τη διάγνωση της φθοράς, η οποία δύναται να διαφοροποιείται ανάλογα με τη θέση του δείγματος

Πρώτο βήμα αποτελεί η δειγματοληψία. Για σωστή δειγματοληψία, συμπληρωματικά των οριζόμενων στο EN16085, είναι απαραίτητα τα κάτωθι:

4. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ανάλυση κατασκευαστικών φάσεων από ιστορικούς/αρχαιολόγους, ώστε να είναι γνωστή η εποχή εφαρμογής του κονιάματος/των κονιαμάτων,
5. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου μη καταστρεπτικών τεχνικών, για τον εντοπισμό αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, ώστε να γίνει σωστό σχεδιασμός της δειγματοληψίας,
6. Θα πρέπει να αποφασίζονται πρότερα της δειγματοληψίας οι ελάχιστοι απαραίτητες μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν στο εργαστήριο, ώστε να λαμβάνονται δείγματα του μεγέθους και της γεωμετρίας που ορίζουν τα πρότυπα των εν λόγω μετρήσεων,
7. Θα πρέπει κατά την λήψη των δειγμάτων, να δίδεται η απαραίτητη προσοχή ώστε τα δείγματα που θα ληφθούν να είναι υγιή για τους στόχους (1) και (2), και να υπάρχει το στρώμα φθοράς για τον στόχο (3),
8. Η δειγματοληψία θα πρέπει να σχεδιάζεται και να πραγματοποιείται από έμπειρο προσωπικό,
9. Θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή σε περίπτωση που είναι σκόπιμο να γίνει μέτρηση με εξειδικευμένη δειγματοληψία (για παράδειγμα αρχαιομετρία)

Η ανάλυση των ιστορικών κονιαμάτων μπορεί να γίνει με πληθώρα τεχνικών, σύμφωνα με το EN 17187:2020, καθώς και το επόμενο σχήμα.

Οι βασικές πληροφορίες που πρέπει να καθοριστούν είναι:

- Χημικά, φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του κονιάματος, καθώς και η αναλογία κονιάς-αδρανών και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτρέπουν την κατηγοριοποίηση των ιστορικών κονιαμάτων, την αποκάλυψη της τεχνολογίας παρασκευής τους (κονία, αδρανή, πρόσθετα) και την διάγνωση της φθοράς, ενώ θεσπίζουν και το εύρος τιμών που πρέπει να παρουσιάζει το κονίαμα αποκατάστασης ώστε να είναι συμβατό με τα ιστορικά κονιάματα.
- Η τεχνολογία παρασκευής, η οποία επιτρέπει τον σχεδιασμό νέων κονιαμάτων αποκατάστασης ακολουθώντας την αντίστροφη μηχανική προσέγγιση (βλ. 5.4.6.3)
- Η κατηγοριοποίηση του ιστορικού κονιάματος, η οποία επιτρέπει την εκτίμηση φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων, σε περίπτωση που το μέγεθος του δείγματος δεν επαρκεί για

την άμεση μέτρησή τους, σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία και τους πίνακες του ΚΑΔΕΤ.

- Η διάγνωση της φθοράς, η οποία επιτρέπει την αναγνώριση των παραγόντων φθοράς που βάλλουν το μνημείο, και οδηγεί αφενός στην επιλογή ενός συμβατού, ωστόσο πιο ανθεκτικού κονιάματος αποκατάστασης στα συγκεκριμένα φορτία που υπόκειται το μνημείο και αφετέρου μπορεί να καθοδηγήσει τη λήψη αποφάσεων για λήψη μέτρων μείωση των περιβαλλοντικών φορτίων που βάλλουν το μνημείο.

Συνεπώς για το στάδιο αυτό είναι απαραίτητα τα εξής δεδομένα:

- Ιστορική-κατασκευαστική ανάλυση του μνημείου
- Αποτελέσματα μη καταστρεπτικών τεχνικών σε σχέση με τις φάσεις του μνημείου, τις διαφοροποιήσεις υλικών και τη φθορά τους

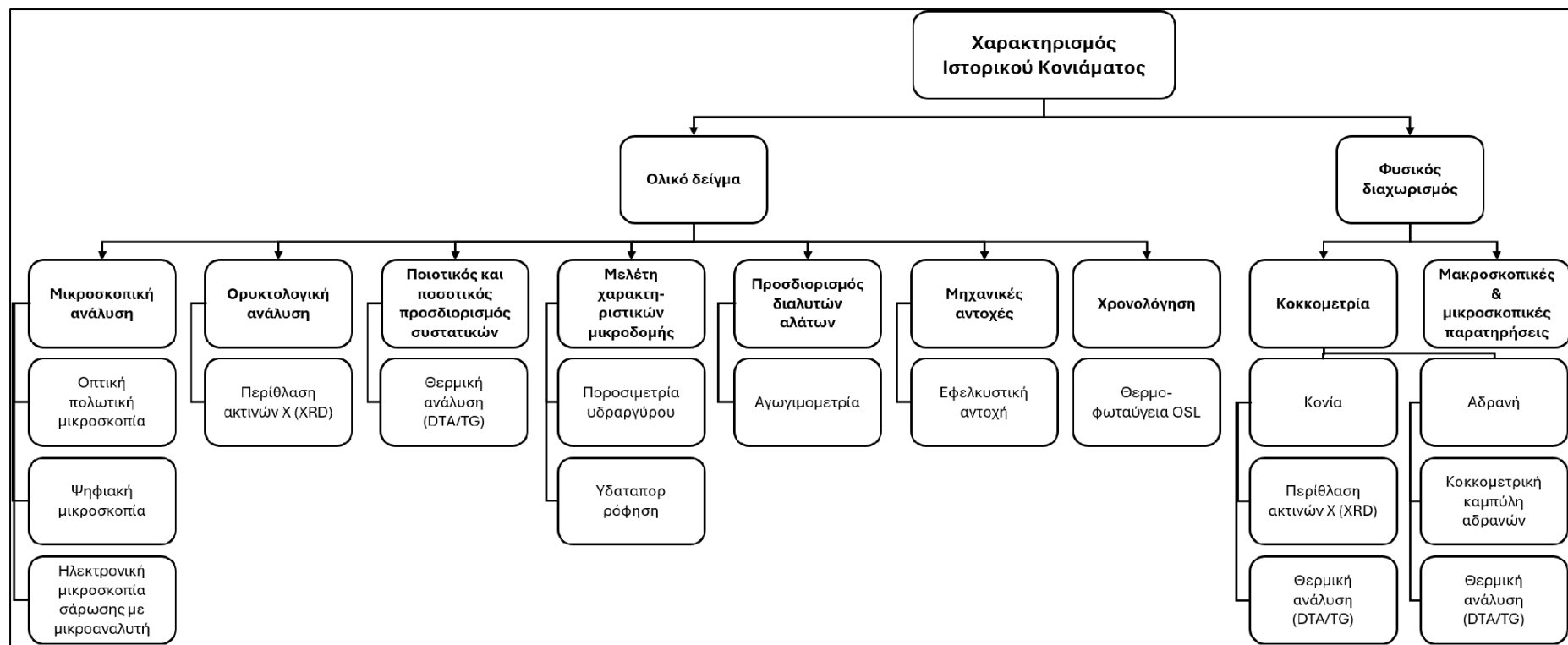
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των ιστορικών κονιαμάτων, θα αποτελέσουν δεδομένα για:

- Το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων των πολιτικών μηχανικών, καθώς η αντοχή του κονιάματος αποτελεί παράμετρος που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα, τότε θα πρέπει ο μελετητής των υλικών να κατατάξει το κονίαμα σε έναν από τους τύπους που αναφέρονται στον ΚΑΔΕΤ για ιστορικά κονιάματα
- Τον σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης, ώστε να πληρούνται τα κριτήρια συμβατότητας και επιτελεστικότητας.
- Την χαρτογράφηση των υλικών και των φθορών, που αποτελούν απαραίτητο στοιχείο τεκμηρίωσης του μνημείου, αλλά και σημαντικό εργαλείο για τον σχεδιασμό επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης.

Σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί αρχαιομετρική ανάλυση των κονιαμάτων, οι μετρήσεις αποτελούν δεδομένα που μπορούν να συντελέσουν σε καλύτερη γνώση της ιστορίας και των κατασκευαστικών φάσεων του μνημείου, ενώ σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί αρχαιογενομική έρευνα, μπορούν να αποκαλυφθούν δεδομένα σε σχέση με την αλλαγή του κλίματος κατά τη διάρκεια ζωής του μνημείου και να σχεδιαστούν οι απαραίτητες επεμβάσεις που θα μειώσουν τον κίνδυνο φθοράς των υλικών.

Στην ακόλουθη Εικόνα παρουσιάζεται η μεθοδολογία χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων στο εργαστήριο, ενώ στον ακόλουθο Πίνακα παρουσιάζονται τα ισχύοντα πρότυπα και προδιαγραφές που αφορούν στον εργαστηριακό έλεγχο για τον χαρακτηρισμό κονιαμάτων μνημείων και ιστορικών κατασκευών.

Για αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας, των τεχνικών χαρακτηρισμού και της κατηγοριοποίησης των ιστορικών κονιαμάτων, βλ. Παράρτημα Β-II.



Εικόνα 5.2.6-3 Μεθοδολογία χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων

Πίνακας 5.2.6-3 Πρότυπα και Προδιαγραφές για εργαστηριακό έλεγχο για τον χαρακτηρισμό ιστορικών κονιαμάτων μνημείων και ιστορικών κατασκευών

Τεχνικές	Πρότυπα και Προδιαγραφές
Ορολογία – Γενικά για τον χαρακτηρισμό	• UNI 11089:2003, Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte • NORMAL 23/87 (1987) Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte - Technical Terminology – Definitions and Description of Mortars • NORMAL 36/92 (1992) Glossario per l'Edilizia Storica nei Trattati dal XV al XIX Sec.- Glossary for Historic Building in Treatises from the 15th to the 19th Century • NORMAL 27/88, 1988. Caratterizzazione di una malta. • NORMAL 23/86 Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte
Ορυκτολογικός- Πετρογραφικός χαρακτηρισμός	• UNI 11305 (2009). Cultural Heritage – Historic Mortars – Guidelines for Mineralogical-Petrographic, Physical and Chemical Characterisation. • UNI 11176 (2006). Cultural Heritage – Petrographic Description of a Mortar.
Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) & μικροανάλυση Ακτινών Χ	• UNI 11139 (2004). Historic Mortars – Determination of Free Lime and Free Magnesia. • UNI 11140-1 (2004). Historic Mortars – Determination of Carbon Dioxide Content. • UNI 11088 (2003). Historic and Restoration Mortars – Chemical Characterisation of a Mortar. Determination of Siliceous Aggregate Content and Selected Soluble Species. • NORMAL 31/89 (1989). Determinazione della calce e della magnesia. Determination of Residual Lime and Magnesia. • NORMAL 32/89 (1989). Determinazione gas-volumetrica della CO₂. Gas-Volumetric Determination of CO₂.
Αποτίμηση της ενανθράκωσης σε βάθος με φαινολοφθαλείνη Περιεκτικότητα διαλυτών αλάτων	• EN 14630:2006 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method • NORMAL 13/83 (1983). Dosaggio dei sali solubili. Determination of Soluble Salts.

5.2.6.5. Διάγνωση της φθοράς

Η διάγνωση της φθοράς των ιστορικών υλικών αποτελεί απαραίτητο στάδιο της διαγνωστικής μελέτης και αποσκοπεί στην αναγνώριση και τεκμηρίωση των μηχανισμών που προκαλούν ή επιταχύνουν την υποβάθμιση των υλικών, της δομικής λειτουργίας και της μορφολογικής ακεραιότητας του μνημείου.

Η τεκμηρίωση και ανάλυση των μηχανισμών φθοράς επιτρέπει:

- (i) τον σχεδιασμό επεμβάσεων συντήρησης των ιστορικών υλικών
- (ii) τον σχεδιασμό και την επιλογή υλικών αποκατάστασης με αυξημένη ανθεκτικότητα,
- (iii) τον σχεδιασμό εργασιών που μειώνουν ή και εξαλείφουν τους παράγοντες φθοράς.

Η διαδικασία βασίζεται στη συσχέτιση των παρατηρούμενων μορφών φθοράς με τα αίτια που τις προκαλούν, αξιοποιώντας συνδυαστικά δεδομένα ιστορικής, αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής και δομοστατικής τεκμηρίωσης, περιβαλλοντικές παραμέτρους, ευρήματα και αποτελέσματα μη καταστροφικού ελέγχου και αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων των ιστορικών υλικών.

5.2.6.5.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες

Οι ακόλουθοι ορισμοί εναρμονίζονται με τη σχετική ευρωπαϊκή τυποποίηση (ΕΛΟΤ EN 15898 E2:2020, ΕΛΟΤ EN 16096:2012) και τη διεθνή ορολογία αναφοράς (ICOMOS-ISCS, Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns, 2008):

Παράγοντας φθοράς

Κάθε φυσικό, χημικό, βιολογικό ή ανθρωπογενές αίτιο ή συνθήκη που προκαλεί, επιταχύνει ή διευκολύνει τη μεταβολή των ιδιοτήτων ενός υλικού ή δομικού στοιχείου.

Μηχανισμός φθοράς

Η φυσική, χημική ή βιολογική διεργασία μέσω της οποίας ένας παράγοντας φθοράς προκαλεί μεταβολή/υποβάθμιση του υλικού (π.χ. κρυστάλλωση αλάτων, υδρόλυση, βιολογική αποικοδόμηση) ή δομικού στοιχείου.

Φαινόμενο φθοράς (decay pattern)

Η παρατηρήσιμη ή μετρήσιμη εκδήλωση του μηχανισμού φθοράς επί του υλικού ή της επιφάνειας (π.χ. αποφλοίωση, ρηγμάτωση, κρούστα, αποσάθρωση).

Βλάβη (damage)

Το τελικό αποτέλεσμα της φθοράς σε όρους απώλειας υλικού, φέρουσας ικανότητας, λειτουργικότητας ή αξίας του μνημείου.

Τρωτότητα (vulnerability)

Ο βαθμός επιδεκτικότητας ενός υλικού ή στοιχείου σε συγκεκριμένο μηχανισμό φθοράς, συνάρτηση των ενδογενών του χαρακτηριστικών.

Ρυθμός φθοράς

Ο ρυθμός μεταβολής της κατάστασης ενός υλικού στον χρόνο, ο οποίος καθορίζει τον βαθμό επείγοντος των επεμβάσεων.

Διάγνωση φθοράς

Η συστηματική διαδικασία αναγνώρισης, τεκμηρίωσης και ερμηνείας των φαινομένων φθοράς και των μηχανισμών/αιτίων που τα προκαλούν, με στόχο την τεκμηριωμένη υποστήριξη του σχεδιασμού επεμβάσεων.

5.2.6.5.2 Βασικές αρχές

Η διάγνωση της φθοράς διέπεται από τις ακόλουθες βασικές αρχές:

Διεπιστημονικότητα

Απαιτείται συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων επιστημονικών και τεχνικών ειδικοτήτων ανάλογα με τη φύση των παρατηρούμενων φαινομένων.

Πολυεπίπεδη προσέγγιση

η ανάλυση των φαινομένων φθοράς πραγματοποιείται τόσο σε επίπεδο μακροκλίμακας (είδος και μορφολογία της φθοράς στην κλίμακα του δομικού στοιχείου ή του μνημείου) όσο και σε επίπεδο μικροκλίμακας (κινητική και θερμοδυναμική του φαινομένου σε επίπεδο υλικού/μικροδομής), με αμφίδρομη συσχέτιση μεταξύ των δύο επιπέδων.

Αιτιώδης προσέγγιση

Η διάγνωση της φθοράς δεν πρέπει να περιορίζεται στην καταγραφή της εμφανιζόμενης βλάβης (ήτοι περιγραφική προσέγγιση), αλλά να τεκμηριώνει και αναλύει τους ενεργούς μηχανισμούς και των παραγόντων φθοράς που τους επηρεάζουν.

Χρονική διάσταση

Η διάγνωση της φθοράς, *de facto*, αφορά στην ανάλυση του ιστορικού φθοράς καθώς και στην πρόβλεψη περαιτέρω εξέλιξής της

Συστημική θεώρηση

Το εκάστοτε μνημείο ή ιστορικό δόμημα αντιμετωπίζεται ως σύστημα αλληλεπιδρώντων υλικών, δομικών στοιχείων και περιβάλλοντος, όπου η φθορά ενός υλικού ή στοιχείου μπορεί να επηρεάσει την φθορά άλλων υλικών και στοιχείων.

Αρχή της ελάχιστης επέμβασης στη διαδικασία διάγνωσης

Εφόσον είναι εφικτό, προτείνεται η χρήση μη-καταστροφικών ή ελάχιστα επεμβατικών τεχνικών και μεθόδων ελέγχου, ενώ η όποια δειγματοληψία πρέπει να περιορίζεται στο απολύτως απαραίτητο επίπεδο και έκταση.

5.2.6.5.3 Παράγοντες φθοράς

Η φθορά ενός μνημείου οφείλεται συνήθως στη συνδυασμένη δράση **ενδογενών** και **εξωγενών** παραγόντων, οι οποίοι επιδρούν συνεργιστικά και εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου.

α) Ενδογενείς παράγοντες

Οι ενδογενείς παράγοντες σχετίζονται με τα εγγενή χαρακτηριστικά του μνημείου και των δομικών του υλικών και περιλαμβάνουν ενδεικτικά:

- ορυκτολογική και χημική σύσταση των υλικών,
- χαρακτηριστικά μικροδομής (π.χ. πορώδες, κατανομή μεγέθους πόρων)
- φυσικές (π.χ. διαπερατότητα) και φυσικοχημικές ιδιότητες
- μηχανικές ιδιότητες
- ανισοτροπία δομικών υλικών / ετερογένεια των δομικών στοιχείων,
- ασυμβατότητα μεταξύ αυθεντικών και μεταγενέστερων υλικών,
- κατασκευαστικές ατέλειες ή αστοχίες,
- γεωμετρικές αποκλίσεις, διαφορικές καθιζήσεις και ανακατανομές τάσεων,
- φυσική γήρανση των υλικών

β) Εξωγενείς παράγοντες

Οι εξωγενείς παράγοντες προέρχονται από το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και περιλαμβάνονται:

- είδος ατμόσφαιρας (ρυπασμένη / ατμοσφαιρικοί ρύποι, θαλασσινή / αλατονέφωση)
- επίδραση υγρασίας σε όλες τις μορφές της (αερολύματα, ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, ανερχόμενη υγρασία, κατερχόμενη υγρασία, συμπύκνωση υδρατμών, όξινη εναπόθεση κ.α.)
- μεταφορά και κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων, εξανθήσεις
- θερμοκρασιακές μεταβολές
- θερμοϋγρικοί κύκλοι,
- κύκλοι παγετού / απόψυξης,
- διόγκωση μεταλλικών συνδέσμων
- σεισμοί, δυναμικές φορτίσεις και γεωτεχνικές μεταβολές,
- επίδραση δυνατών ανέμων,
- ηλιακή ακτινοβολία και φωτοοξειδωση,
- βιολογικοί παράγοντες (μικροοργανισμοί, φύκη, λειχήνες, φυτική βλάστηση),
- ανθρώπινες επεμβάσεις, χρήση ασύμβατων υλικών και λανθασμένες πρακτικές συντήρησης,
- χαρακτηριστικά κλίματος (κατανομή, προσανατολισμός και ένταση περιβαλλοντικών παραγόντων)
- χαρακτηριστικά μικροκλίματος (προσανατολισμός, ιδιαίτερη θέση στο κτίριο, μορφολογία επιφάνειας, τρόπος διαβροχής)
- επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, οι οποίες μεταβάλλουν τη συχνότητα και την ένταση των μηχανισμών φθοράς.

Η διάγνωση της φθοράς και η αποκάλυψη του μηχανισμού που επιδρά σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα, στο επίπεδο της μακροκλίμακας που αφορά στο είδος και τη μορφολογία της διάβρωσης και στο επίπεδο της μικροκλίμακας που αφορά στην κινητική του φαινομένου (ταχύτητα διάβρωσης) και στην θερμοδυναμική του φαινομένου (πιθανότητα διάβρωσης)

Τα φαινόμενα της φθοράς σε συνάρτηση με την παθολογία του μνημείου κατηγοριοποιούνται ως ακολούθως:

- Επιφανειακές κρούστες (γυψοποίηση, όξινη ανθρακική κρούστα κ.α.)
- Κρυστάλλωση αλάτων
- Αποσάθρωση κονιαμάτων
- Ασύμβατα υλικά (τσιμεντοπικά υλικά, υλικά αποκατάστασης με ασύμβατη μικροδομή)
- Φθορά από μηχανικούς παράγοντες (ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές, άνισες κατανομές θερμοκρασίας, διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής, έντονα θερμικά φαινόμενα, ανάπτυξη μηχανικών τάσεων λόγω παγετού, ανάπτυξη μηχανικών τάσεων λόγω διόγκωσης μεταλλικών συνδέσμων, σεισμικές δονήσεις)
- Βιολογική φθορά (βιολογικές κρούστες, επίδραση από βακτήρια, άλγη, μύκητες – ακτινομύκητες, λειχήνες, ανάπτυξη δέντρων και φυτών, περιπτώματα πτηνών)

Τα παραπάνω φαινόμενα φθοράς οφείλονται σε διακριτές δράσεις και διεργασίες:

Πίνακας 5.2.6-4 Ταξινόμηση δράσεων και διεργασιών φθοράς για τα κυριότερα φαινόμενα φθοράς

Δράσεις	Διεργασία φθοράς	Κύρια φαινόμενα φθοράς
Φυσικές	Κύκλοι ύγρυνσης – ξήρανσης, Θερμικά σοκ, Επίδραση ανέμου	Απόσπαση κόκκων, διάβρωση εκτριβής, ρήξη συνέχειας, ρηγμάτωση, κ.α.
Φυσικοχημικές	Κρυστάλλωση αλάτων, Ενυδάτωση, Θείωση εν ξηρώ	Εκλεκτική αποσάθρωση υλικών, διάρρηξη συνδετικών υλικών, κ.α.
Χημικές και βιοχημικές	Υδρόλυση, Διάλυση, Οξειδωση, Χηλική συμπλοκοποίηση, Θείωση, κ.α.	Χημική αποσύνθεση, διάλυση και εξαλλοίωση συνδετικών υλικών, σχηματισμός κρούστας, υποχώρηση μετώπων επιφάνειας

5.2.6.5.4 Αλληλεπίδραση παραγόντων φθοράς

Η ταξινόμηση παραγόντων και φαινομένων φθοράς σε ενδογενείς/εξωγενείς και σε φυσικές/φυσικοχημικές/χημικές-βιοχημικές διεργασίες, δεν πρέπει να εκλαμβάνεται ως μονοσήμαντη. Κατ' αρχάς, σπάνια ένας παράγοντας φθοράς δρα μόνος του και ανεξάρτητα, αντίθετα, συνήθως συμπεριλαμβάνεται σε μια μεγαλύτερη αλυσίδα αλληλεπιδράσεων. Δεύτερον, είναι σύνηθες διαφορετικά φαινόμενα φθοράς να έχουν το ίδιο ή παρόμοιο τελικό αποτέλεσμα φθοράς ή βλάβης, δυσχεραίνοντας την διάκριση των πραγματικών αιτίων.

Ενδεικτικά, παρατίθενται συνήθεις σχέσεις αλληλεπίδρασης που υπογραμμίζουν τον πολυπαραγοντικό χαρακτήρα της φθοράς:

1. Η ανερχόμενη υγρασία μεταφέρει και συγκεντρώνει διαλυτά άλατα στη ζώνη εξάτμισης της επιφάνειας της τοιχοποιίας. Η επαναλαμβανόμενη (κυκλική) κρυστάλλωση και επαναδιάλυσή τους, σε συνδυασμό με τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, οδηγούν σταδιακά σε κοκκώδη αποσάθρωση ή αποφλοίωση, με ένταση που εξαρτάται από τον ρυθμό εξάτμισης και το πορώδες του υλικού.
2. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, σε συνδυασμό με τη βροχή και την υγρασία, δημιουργεί συχνά διαφορετικά προϊόντα φθοράς πάνω στο ίδιο δομικό ή αρχιτεκτονικό στοιχείο. Για

παράδειγμα, δημιουργούνται κρούστες (π.χ. μαύρες κρούστες, γύψος) στις προστατευμένες επιφάνειες, ενώ στις εκτεθειμένες σε βροχή επιφάνειες η φθορά εκφράζεται ως διαβρωτική απώλεια υλικού.

3. Μια προϋπάρχουσα ρωγμή διευκολύνει την είσοδο νερού. Στη συνέχεια το νερό επιταχύνει τοπικούς μηχανισμούς (π.χ. διάβρωση μετάλλων, ανάπτυξη ριζών, δράση παγετού), και αυτοί με τη σειρά τους διευρύνουν περαιτέρω τη ρωγμή λόγω ανάπτυξης μηχανικών τάσεων.
4. Ύπαρξη ασύμβατων υλικών από παλαιότερες επεμβάσεις (π.χ. τσιμέντα ή στεγανωτικά επιχρίσματα) που εμποδίζουν τη φυσική διαπνοή της τοιχοποιίας. Ως αποτέλεσμα η υγρασία και τα διαλυτά άλατα επιλεκτικά συγκεντρώνονται στην διεπιφάνεια του ασύμβατου υλικού αποκατάστασης με το αυθεντικό ιστορικό υλικό το οποίο και διαβρώνεται με εντονότερο ρυθμό.
5. Μια σεισμική καταπόνηση σε στοιχείο που έχει ήδη χάσει μέρος της αντοχής του λόγω χημικής ή βιολογικής φθοράς μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε έκταση και κατανομή που δεν θα αναμενόταν από τη σεισμική δράση μόνη της.

Στο Παράρτημα Β-III παρατίθενται σχετικά χαρακτηριστικά παραδείγματα όσον αφορά στην αλληλεπίδραση παραγόντων φθοράς.

5.2.6.5.5 Μεθοδολογία διάγνωσης της φθοράς

Η διάγνωση της φθοράς οργανώνεται σε διακριτά, αλληλένδετα στάδια, τα οποία δεν είναι απαραίτητα αυστηρά διαδοχικά, αλλά ενίοτε αλληλεπικαλύπτονται και επαναλαμβάνονται, καθώς νέα ευρήματα οδηγούν σε αναπροσαρμογή της διαγνωστικής στρατηγικής:

1. Τεκμηρίωση και χαρτογράφηση φθοράς: Συστηματική επιτόπια μακροσκοπική παρατήρηση, φωτογραφική τεκμηρίωση και αποτύπωση της χωρικής κατανομής των φαινομένων φθοράς επί γεωμετρικού υποβάθρου, με χρήση τυποποιημένης ορολογίας και υπομνήματος.
2. Διατύπωση αρχικών διαγνωστικών υποθέσεων: Με βάση την αρχική μακροσκοπική παρατήρηση και τα διαθέσιμα ιστορικά, αρχιτεκτονικά και δομοστατικά δεδομένα, διατυπώνονται πιθανοί μηχανισμοί φθοράς προς διερεύνηση.
3. Επιλογή και εφαρμογή μεθόδων επιτόπιας έρευνας και μη καταστροφικού ελέγχου: Επιλέγονται κατά προτεραιότητα μη επεμβατικές ή ελάχιστα επεμβατικές τεχνικές, ανάλογα με τον προς διερεύνηση μηχανισμό.
4. Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις: Πραγματοποιείται δειγματοληψία υλικών, όπου απαιτείται, σε αντιπροσωπευτικά και τεκμηριωμένα σημεία του μνημείου, με τη μικρότερη δυνατή έκταση και αισθητική όχληση.
5. Περιβαλλοντική και μικροκλιματική παρακολούθηση: Καταγραφή θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ρύπων και λοιπών περιβαλλοντικών παραμέτρων, σε βάθος χρόνου όπου κρίνεται απαραίτητο, και όπου είναι εφικτό, ιδίως όσον αφορά φαινόμενα φθοράς με εποχιακή ή κυκλική συμπεριφορά.
6. Ανάλυση και συσχέτιση δεδομένων: Συνδυαστική αξιολόγηση των ευρημάτων όλων των μεθόδων και συσχέτισή τους με τα δεδομένα των λοιπών μελετών τεκμηρίωσης.
7. Τεκμηρίωση συμπερασμάτων: Σύνταξη έκθεσης διάγνωσης φθοράς, με σαφή προσδιορισμό των ενεργών μηχανισμών, της επικινδυνότητάς τους και των προτεινόμενων κατευθύνσεων για τον σχεδιασμό επεμβάσεων.

Η διάγνωση της φθοράς πραγματοποιείται μέσω ποικίλων μεθόδων ανάλογα με τα παρατηρούμενα φαινόμενα φθοράς. Σημειώνεται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται συνδυασμός μεθόδων για την αποκάλυψη των μηχανισμών φθοράς.

Πίνακας 5.2.6-5 Ενδεικτικές μέθοδοι διάγνωσης βάσει του εκτιμώμενου μηχανισμού φθοράς

Μηχανισμός / αίτιο	Ενδεικτικές μέθοδοι διάγνωσης
Ρηγματώσεις, παραμορφώσεις, διαφορικές καθιζήσεις	Οπτική τεκμηρίωση, γεωμετρική αποτύπωση, τρισδιάστατη τεκμηρίωση, γεωδαιτική παρακολούθηση, δομοστατική ανάλυση
Εσωτερικές ασυνέχειες, αποκολλήσεις, κενά	Γεωραντάρ (GPR), υπερηχητικές μέθοδοι, κρουσιμέτρηση, υπέρυθρη θερμογραφία
Υγρασία και μεταφορά νερού	Μετρήσεις υγρασίας, θερμογραφία υπερύθρου, μικροκλιματική παρακολούθηση, ηλεκτρικές μέθοδοι
Άλατα	Δειγματοληψία και χημικές αναλύσεις, ιοντική χρωματογραφία, XRD, SEM-EDS, αγωγιμομετρία, ποιοτική ανίχνευση ιόντων
Αλλοίωση ορυκτολογικής σύστασης	XRD, Raman, FTIR, πολωτική μικροσκοπία, διαφορική θερμική και θερμοβαρυμετρική ανάλυση
Μικροδομή και πορώδες	Οπτική και ηλεκτρονική μικροσκοπία, ποροσιμετρία υδραργύρου (MIP), BET, δοκιμές υδαταπορρόφησης και ολικής εμβάπτισης σε νερό
Υποβάθμιση μηχανικών ιδιοτήτων	Μη καταστροφικές μέθοδοι, σκληρομετρήσεις, κρουσιμετρία, υπερηχοσκοπικές μέθοδοι, εργαστηριακές μηχανικές δοκιμές, συντελεστής θερμικής διαστολής
Βιολογική φθορά	Οπτική μικροσκοπία, ψηφιακή μικροσκοπία, SEM-EDS, μικροβιολογικές και μοριακές αναλύσεις (μεταγενομική ανάλυση, DNA sequencing)
Περιβαλλοντική επιβάρυνση	Παρακολούθηση θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ρύπων, αερολυμάτων και μικροκλίματος

Στο Παράρτημα Β-III παρατίθενται χαρακτηριστικοί μηχανισμοί ανά κατηγορία ιστορικού υλικού

5.2.6.5.6 Συσχέτιση αιτίων και μορφών φθοράς

Η διάγνωση δεν ολοκληρώνεται με την ταυτοποίηση της μορφής της φθοράς αλλά με την τεκμηρίωση του μηχανισμού που την προκάλεσε. Για τον σκοπό αυτό αξιολογούνται συνδυαστικά:

- οι μορφές και η χωρική κατανομή της φθοράς,
- οι φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών,
- η παρουσία και η συμβατότητα τυχόν προγενέστερων επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης,
- οι περιβαλλοντικές συνθήκες,
- η δομική συμπεριφορά του μνημείου

Η ολοκληρωμένη συσχέτιση των παραπάνω δεδομένων επιτρέπει την αναγνώριση των ενεργών μηχανισμών φθοράς, την αξιολόγηση της επικινδυνότητάς τους, την πρόγνωση της

εξέλιξής τους και τη διαμόρφωση τεκμηριωμένων στρατηγικών προστασίας, συντήρησης και αποκατάστασης, σύμφωνα με τις αρχές της διεπιστημονικής διαγνωστικής προσέγγισης.

Η συσχέτιση αιτίων και μορφών φθοράς πραγματοποιείται συστηματικά, σε στάδια:

- Διατύπωση εναλλακτικών υποθέσεων: Αξιολόγηση πιθανών μηχανισμών φθοράς που οδηγούν στο ίδιο τελικό αποτέλεσμα.
- Επιλογή διαγνωστικών μεθόδων: Επιλέγονται, κατά προτεραιότητα, οι μέθοδοι που διακρίνουν αποτελεσματικότερα μεταξύ των εναλλακτικών υποθέσεων.
- Έλεγχος συνέπειας με το σύνολο των δεδομένων: Η επικρατέστερη υπόθεση πρέπει να συνάδει με όλα τα ευρήματα, τόσο αυτά που αφορούν από την διαγνωστική μελέτη, αλλά και αυτά που είναι διαθέσιμα βάσει της ιστορικής, γεωμετρικής, αρχιτεκτονικής και δομοστατικής τεκμηρίωση καθώς και με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αν τα ευρήματα δεν είναι συμβατά με την υπόθεση μηχανισμού φθοράς, αυτό αποτελεί ένδειξη ότι είτε η υπόθεση χρειάζεται αναθεώρηση, είτε ότι δρα συνεργιστικά και άλλος μηχανισμός.
- Διάκριση πρωτογενούς αιτίου από επακόλουθες συνέπειες: Για τον αποτελεσματικότερο σχεδιάτως αναδεικνύεται και στις αλυσίδες συνεργειών της Π.3.1, ένα εμφανές εύρημα (π.χ. ρηγμάτωση) μπορεί να είναι το αποτέλεσμα προγενέστερου, λιγότερο εμφανούς μηχανισμού (π.χ. σταδιακή απώλεια μηχανικών ιδιοτήτων λόγω βιολογικής φθοράς), η ταυτοποίηση του οποίου είναι κρίσιμη για την αποτελεσματικότητα της επέμβασης.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τυπικά διαγνωστικά ερωτήματα, οι πιθανοί μηχανισμοί φθοράς με τους οποίους συνδέονται, ενδεικτικές μέθοδοι διάγνωσης και τρόποι αξιολόγησης ευρημάτων

Πίνακας 5.2.6-6 Συσχέτιση αιτίων και μορφών φθοράς στην κλίμακα του μνημείου

Εύρημα διάγνωσης της φθοράς	Πιθανός μηχανισμός	Ενδεικτικές μέθοδοι διερεύνησης του μηχανισμού φθοράς	Τρόπος αξιολόγησης
Ρηγματώσεις	Σεισμική δράση, θερμικές παραμορφώσεις, φαινόμενα διαφορικής καθίζησης	Γεωμετρική τεκμηρίωση, γεωδαιτική παρακολούθηση, γεωραντάρ, υπερηχοσκόπηση, δομοστατική ανάλυση	Συσχέτιση γεωμετρικών μεταβολών, μηχανικών τάσεων και εσωτερικών ασυνεχειών
Αποσάθρωση δομικού υλικού	Κρυστάλλωση αλάτων, παγετός, χημική διάβρωση	Περίθλαση ακτίνων Χ, φασματοσκοπία Raman, φασματοσκοπία FTIR, ηλεκτρονική μικροσκοπία – μικροανάλυση (SEM–EDS), ποροσιμετρία υδραργύρου	Ταυτοποίηση αλάτων, μεταβολές ορυκτολογικής σύστασης και χαρακτηριστικών μικροδομής
Αποκολλήσεις	Υγρασία, διαλυτά άλατα, ασύμβατα υλικά ή προγενέστερες	Θερμογραφία υπερύθρου, γεωραντάρ, υπερηχοσκόπηση, ποροσιμετρία υδραργύρου	Εντοπισμός κενών, θερμοϋγρική ανάλυση, ανάλυση συμβατότητας

Εύρημα διάγνωσης της φθοράς	Πιθανός μηχανισμός	Ενδεικτικές μέθοδοι διερεύνησης του μηχανισμού φθοράς	Τρόπος αξιολόγησης
Φαινόμενα υγρασίας	επεμβάσεις συντήρησης Ανερχόμενη υγρασία, κατερχόμενη υγρασία, δεισδυσση, συμπίκνωση	Μετρήσεις υγρασίας (υγρόμετρο), θερμογραφία υπερύθρου, μικροκλιματική παρακολούθηση με αισθητήρες	Προσδιορισμός μηχανισμού μεταφοράς νερού
Βιολογική προσβολή	Υψηλή σχετική υγρασία, φωτισμός, θρεπτικά συστατικά	Μικροβιολογικές αναλύσεις, μεταγενομική ανάλυση, περιβαλλοντικές μετρήσεις	Ταυτοποίηση μικροοργανισμών και παραγόντων ανάπτυξης τους
Εξέλιξη της φθοράς	Χωρική και χρονική διαφοροποίηση των παραγόντων φθοράς	Περιοδική παρακολούθηση, αισθητήρες, φωτογραμμετρία, γεωδαιτικές μετρήσεις	Χρονική μεταβολή δεικτών φθοράς

5.2.6.5.7 Αξιολόγηση επικινδυνότητας και ιεράρχηση ευρημάτων διάγνωσης της φθοράς

Τα ευρήματα της διάγνωσης της φθοράς αξιολογούνται ως προς την επικινδυνότητά τους, με στόχο την τεκμηριωμένη ιεράρχηση προτεραιοτήτων για τον σχεδιασμό επεμβάσεων στο επόμενο στάδιο. Η αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη:

- την έκταση και τη χωρική κατανομή των φαινομένων φθοράς
- τον ρυθμό εξέλιξής τους (ενεργός ή σταθεροποιημένος μηχανισμός)
- τον κίνδυνο για τη δομική ασφάλεια του μνημείου ή μεμονωμένων στοιχείων του
- τον κίνδυνο απώλειας υλικού, μορφολογικών ή καλλιτεχνικών αξιών
- τον βαθμό αντιστρεψιμότητας του φαινομένου και τη δυνατότητα αποτελεσματικής παρέμβασης
- τον βαθμό αλληλεξάρτησης με άλλα φαινόμενα φθοράς

Η συνδυασμένη εκτίμηση της πιθανότητας εξέλιξης των φαινομένων και της σοβαρότητας των συνεπειών τους έχει σκοπό να κατατάξει τα ευρήματα σε επίπεδα προτεραιότητας παρέμβασης, η οποία με τη σειρά της θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης.

5.2.6.5.8 Τεχνική έκθεση

Τα ευρήματα της διάγνωσης φθοράς τεκμηριώνονται σε σχετική έκθεση, η οποία αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της διαγνωστικής μελέτης και τη βάση για τον σχεδιασμό των επεμβάσεων. Η έκθεση διάγνωσης φθοράς περιλαμβάνει:

- Συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε και των μεθόδων/τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν,
- Χαρτογράφηση και φωτογραφική τεκμηρίωση της φθοράς ανά στοιχείο/περιοχή μνημείου
- Συγκεντρωτικούς πίνακες συσχέτισης αιτίων και μορφών φθοράς
- Συμπεράσματα ανά κατηγορία υλικού/στοιχείου ως προς τους εκτιμώμενους ενεργούς μηχανισμούς φθοράς και την πρόγνωση της εξέλιξής τους
- Ιεράρχηση ευρημάτων βάσει της επικινδυνότητάς τους
- Κατευθύνσεις και προτάσεις για τον σχεδιασμό επεμβάσεων συντήρησης, την επιλογή υλικών αποκατάστασης και τα μέτρα μείωσης ή εξάλειψης των παραγόντων φθοράς,
- Προτάσεις για συμπληρωματική έρευνα ή παρακολούθηση, εφόσον κρίνεται απαραίτητο

Η έκθεση συντάσσεται έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ιχνηλασιμότητα των ευρημάτων (σαφής αναφορά θέσης, ημερομηνίας, μεθόδου και οργάνων μέτρησης) και η δυνατότητα μελλοντικής συγκριτικής αξιολόγησης της εξέλιξης της φθοράς στο πλαίσιο προγραμμάτων τακτικής συντήρησης και παρακολούθησης του μνημείου.

5.2.6.6. Ψηφιακή χαρτογράφηση υλικών, φθορών και διαχείριση θεματικών επιπέδων πληροφορίας

Η ψηφιακή χαρτογράφηση, όπου απαιτείται, αφορά την τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης ιστορικών κτιρίων και μνημείων, καθώς επιτρέπει την καταγραφή, τη χωρική συσχέτιση και την ολοκληρωμένη διαχείριση των δεδομένων που προκύπτουν από τις επιμέρους μελέτες.

Σκοπός της είναι η δημιουργία ενός ενιαίου ψηφιακού πληροφοριακού περιβάλλοντος, στο οποίο συγκεντρώνονται, οργανώνονται και συσχετίζονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό αποτυπώνεται η υφιστάμενη κατάσταση του δομήματος, διευκολύνεται η κατανόηση των κατασκευαστικών φάσεων, ενώ επιτρέπει τη διερεύνηση των μηχανισμών φθοράς, την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης, τη διάγνωση της παθολογίας και τον σχεδιασμό των κατάλληλων επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης.

Η ψηφιακή χαρτογράφηση δεν αποτελεί απαραίτητα στατική αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, αλλά, αν συνεχιστεί και στα επόμενα στάδια ενός έργου, μπορεί να αποτελέσει μία δυναμική διαδικασία διαχείρισης δεδομένων, η οποία μπορεί να ενημερώνεται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του μνημείου, υποστηρίζοντας τη συστηματική τεκμηρίωση, την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων.

Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται η αξιοποίηση αυτοματοποιημένης αναγνώρισης προτύπων φθοράς (automated defect/pattern recognition) με τη χρήση αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης, μετατρέποντας το ψηφιακό περιβάλλον σε ένα έξυπνο, διαγνωστικό εργαλείο στα χέρια του μηχανικού.

Η ψηφιακή χαρτογράφηση βασίζεται σε γεωαναφερμένο ψηφιακό υπόβαθρο υψηλής γεωμετρικής ακρίβειας, το οποίο μπορεί να προέρχεται από τοπογραφικές αποτυπώσεις, φωτογραμμετρικές εργασίες, ορθοεικόνες, νέφη σημείων, τρισδιάστατα μοντέλα ή άλλα κατάλληλα δεδομένα τεκμηρίωσης.

Επί του υποβάθρου αυτού πραγματοποιείται η ψηφιοποίηση των στοιχείων που πρόκειται να τεκμηριωθούν και οργανώνονται σε διακριτά θεματικά επίπεδα πληροφορίας, σύμφωνα με ενιαία ταξινόμηση και σύστημα κωδικοποίησης. Η επιλογή των θεματικών επιπέδων εξαρτάται από το αντικείμενο της μελέτης, τον τύπο του μνημείου και τους στόχους της μελέτης.

Ενδεικτικά, τα θεματικά επίπεδα μπορούν να περιλαμβάνουν υλικά, φθορές, κατασκευαστικές φάσεις και ιστορικές επεμβάσεις, ρηγματώσεις, παραμορφώσεις και άλλες δομικές βλάβες, αποτελέσματα μη καταστροφικού ελέγχου, αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων, περιβαλλοντικές παραμέτρους και δεδομένα παρακολούθησης (στο στάδιο της παρακολούθησης), επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης (στο στάδιο της υλοποίησης) και κάθε άλλη πληροφορία που απαιτείται για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση του μνημείου.

Για κάθε χαρτογραφημένο στοιχείο καταχωρούνται σε ψηφιακή βάση δεδομένων τα αντίστοιχα περιγραφικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά, τα οποία δύνανται να περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τα υλικά, την κατάσταση διατήρησης, τις παρατηρούμενες φθορές και βλάβες, τα αποτελέσματα των επιτόπιων και εργαστηριακών διερευνήσεων, καθώς και κάθε άλλη πληροφορία που σχετίζεται με την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της κατάστασης διατήρησης του μνημείου.

Η διαχείριση των δεδομένων πραγματοποιείται σε κατάλληλο ψηφιακό πληροφοριακό περιβάλλον (π.χ. GIS, HBIM ή άλλο ισοδύναμο σύστημα), το οποίο επιτρέπει τη χωρική και λογική διασύνδεση των πληροφοριών, την αναζήτηση, την ενημέρωση και την επεξεργασία τους, καθώς και την πραγματοποίηση χωρικών, θεματικών και στατιστικών αναλύσεων.

Μέσω της συνδυαστικής ανάλυσης των θεματικών επιπέδων καθίσταται δυνατή η αναγνώριση χωρικών συσχετίσεων μεταξύ των υλικών, των μορφών φθοράς, των κατασκευαστικών φάσεων, των περιβαλλοντικών παραγόντων και των αποτελεσμάτων των επιμέρους διερευνήσεων.

Τα θεματικά επίπεδα πληροφορίας και οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες αποτελούν βασικό εργαλείο για την τεκμηρίωση του τρόπου δόμησης και των κατασκευαστικών φάσεων, τη διάγνωση της παθολογίας, την αξιολόγηση της επικινδυνότητας, την ιεράρχηση των απαιτούμενων επεμβάσεων, τον σχεδιασμό των μέτρων συντήρησης και αποκατάστασης, καθώς και για τη συστηματική παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων σε βάθος χρόνου.

Επιπροσθέτως της τεκμηρίωσης, ειδικά θέματα στα οποία μπορεί να συμβάλλει η χαρτογράφηση και αποτελούν δεδομένα εισόδου για άλλες μελέτες αναφέρονται ενδεικτικά τα εξής:

- Οι θεματικοί χάρτες υλικών και κατασκευαστικών φάσεων προσφέρουν πληροφορίες οι οποίες δύνανται να αξιοποιηθούν στην αρχιτεκτονική ανάλυση, στην δομοστατική ανάλυση, στην ιστορική έρευνα, κ.α.
- Η χαρτογράφηση υλικών μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για την επί τοις εκατό (%) σύνθεση της τοιχοποιίας, εφόσον αυτή είναι εμφανής (ήτοι ποσοστά συμμετοχής δομικών υλικών -κονιαμάτων, λίθων, πλίνθων- στην τοιχοποιία, λαμβάνοντας υπόψη μια αντιπροσωπευτική περιοχή εμβαδού τουλάχιστον 1m x 1m), δεδομένο το οποίο απαιτείται από τον ΚΑΔΕΤ για την δομοστατική ανάλυση. Σε περίπτωση που το κτήριο είναι επιχρισμένο θα πρέπει να γίνουν αναγνωριστικές τομές και να ληφθούν υπόψη και τα

αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών τεχνικών, ώστε να εκτιμηθεί η σύνθεση της τοιχοποιίας έμμεσα.

5.2.6.7. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα υλικά

Η ολοκληρωμένη διάγνωση της φθοράς των υλικών πρέπει να λαμβάνει υπόψη και την συσχέτιση των ενδογενών παραγόντων των υλικών με τον περιβάλλοντα χώρο, το μικρο- και μακρο- κλίμα και τους παράγοντες της κλιματικής αλλαγής. Η επίδραση του περιβάλλοντος και της κλιματικής κρίσης στον κύκλο ζωής των υλικών είναι σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη στην επιλογή των κατάλληλων, επιτελεστικών και συμβατών υλικών καθώς και στην λήψη αποφάσεων παρέμβασης στο περιβάλλοντα χώρο, με σκοπό την μακροβιότητα και αειφορία του μνημείου.

Στο στάδιο αυτό και βάσει της φθοράς που παρατηρείται, αλλά και με βάση το σύνολο των αποτελεσμάτων της διαγνωστικής μελέτης, θα πρέπει να αναγνωρίζονται οι φυσικοχημικές δράσεις φθοράς των υλικών, παράλληλα με τα περιβαλλοντικά φορτία στα οποία καλούνται να υπηρετήσουν. Τα δεδομένα αυτά είναι σημαντικά κατά τον σχεδιασμό των νέων υλικών, τα οποία εκτός από συμβατά, καλούνται να είναι και ανθεκτικά στο περιβάλλον του μνημείου.

Η φθορά των υλικών μπορεί να οφείλεται στις επόμενες φυσικοχημικές, χημικές και βιολογικές δράσεις: υγρασία (διαβροχή, ξήρανση, παγετός), ανερχόμενη υγρασία, μεταβολές θερμοκρασίας που προκαλούν συστολές και διαστολές στα υλικά, παρουσία αλάτων (κρυστάλλωση αλάτων, διαστολές λόγω υγροσκοπικότητας αλάτων), ατμοσφαιρική ρύπανση, στατικά και δυναμικά φορτία που καταπονούν τα υλικά, παρουσία βακτηρίων, ανώτερης χλωρίδας, μικροπανίδας, παρουσία προϊόντων μεταβολισμού, παρουσία ασύμβατων υλικών που παράλληλα δύναται να επιδεινώνουν τις δράσεις που προαναφέρθηκαν

Απαραίτητη είναι η συλλογή και η ανάλυση των περιβαλλοντικών δεδομένων (αέριοι ρύποι, αιωρούμενα σωματίδια, συμπύκνωση, αλατονεφωση παγετός, κα) και χωρικών δεδομένων (υπέδαφος, γεωμορφολογία, πηγές νερού-βροχοπτώσεις, υπόγεια ρεύματα, ρυάκια, χείμαρροι, ποτάμια, λίμνες κ.α) καθώς και της μικροχλωρίδας και της βλάστησης στην περίπτωση αρχαιολογικών χώρων. Ιδανικά απαιτείται η ανάπτυξη μιας αξιακά προσανατολισμένη εκτίμησης κινδύνου (value-based risk assessment) για τη διαχείριση των υδατογενών και περιβαλλοντικών κινδύνων σε μνημεία, μέσω GIS η/και άλλων μεθόδων.

5.2.7 Κατηγοριοποίηση και χαρτογράφηση φθορών και βλαβών, αίτια και μηχανισμοί φθοράς και παθολογίας του μνημείου σε σχέση με τα περιβαλλοντικά φορτία

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 5 παρ 2η το στάδιο αυτό αναφέρεται σε καταγραφή φθορών και βλαβών και διάγνωση της παθολογίας του μνημείου, η οποία περιλαμβάνει τεχνική έκθεση και σχέδια. Στα σχέδια καταγράφονται η έκταση και η μορφή των φθορών των υλικών και των βλαβών της κατασκευής. Περιέχει αναλυτική παρουσίαση της παθολογίας και εντοπισμό των αιτίων, φθορών και βλαβών, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των διερευνήσεων των παρ. 6 και 7 του παρόντος, φθοροποιούς ή βλαπτικούς παράγοντες, μόνιμους ή περιστασιακούς, καθώς και την οικοδομική ιστορία του μνημείου.

Η χαρτογράφηση της φθοράς αποτελεί βασικό εργαλείο οπτικοποίησης και συσχέτισης της χωρικής κατανομής των φαινομένων φθοράς με τα δομικά στοιχεία και τις κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου.

Πραγματοποιείται επί επικαιροποιημένου γεωμετρικού/φωτογραμμετρικού υποβάθρου (σχέδια όψεων, ορθοφωτογραφίες, τρισδιάστατα μοντέλα), με χρήση τυποποιημένου συστήματος συμβόλων και υπομνήματος, ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ διαφορετικών μελετητών και χρονικών περιόδων.

Συνιστάται η ένταξη της χαρτογράφησης φθοράς σε ψηφιακό περιβάλλον (GIS ή BIM) που επιτρέπει τη διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης των φαινομένων, τη συσχέτισή τους με τα αποτελέσματα των λοιπών μελετών τεκμηρίωσης και τη διευκόλυνση της μελλοντικής συντήρησης του μνημείου.

5.2.8 Γεωτεχνική έρευνα, μελέτη εδάφους θεμελίωσης και προσδιορισμός στάθμης θεμελίωσης του μνημείου

Στην παρούσα ΤΟΤΕΕ γίνεται προσπάθεια τυποποίησης και ταξινόμησης όλων των απαραίτητων ενεργειών, εργασιών και επικοινωνιών που απαιτούνται από την πλευρά του γεωλόγου – γεωτεχνικού μηχανικού για τη συμβολή του στο πλαίσιο συντήρησης και παρακολούθησης αρχαιολογικών – ιστορικών μνημείων.

Η γεωλογία είναι ένα από τα πρώτα στοιχεία που οφείλει να διερευνηθεί προκειμένου να εξασφαλιστεί ο έλεγχος των πιθανών γεωκινδύνων που μπορούν να επηρεάσουν το μνημείο. Επιπρόσθετα, η γνώση της γεωλογίας της περιοχής μπορεί να δώσει απαντήσεις και σε σχέση με τα δομικά στοιχεία τα οποία απαρτίζουν ένα μνημείο.

Επιπροσθέτως εξίσου σημαντική είναι η καλή γνώση τόσο της στρωματογραφίας των εδαφικών – βραχωδών σχηματισμών (μέσω κατάλληλων γεωτεχνικών ερευνών – δειγματοληπτικών γεωτρήσεων) στους οποίους είτε εδράζονται τα αρχαιολογικά – ιστορικά μνημεία είτε συνιστούν τα πρηνή κάτω από αυτά σε περίπτωση λοφώδους αναγλύφου όσο όμως και των φυσικών αλλά και μηχανικών ιδιοτήτων αυτών μέσω κατάλληλων εργαστηριακών δοκιμών.

Η τυποποίηση των πρότυπων διεργασιών και διατύπωση προδιαγραφών πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντάς υπόψη το Ισχύον θεσμικό πλαίσιο στη Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα τον ν. 3028/2002 και εν συνεχεία τον ν. 4858/2021 *Κύρωση Κώδικα νομοθεσίας για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς*. Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη η Υπουργική Απόφαση ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929 (ΦΕΚ Β΄ 2837/05.07.2019), η οποία εκδόθηκε κατ' εφαρμογή σχετικών Προεδρικών Διαταγμάτων (ιδίως Π.Δ. 24/2019 και Π.Δ. 696/1974).

5.2.8.1 Η σημασία της γεωτεχνικής έρευνας στα μνημεία

Ο ρόλος του γεωτεχνικού μηχανικού ή/και του τεχνικού γεωλόγου στην προστασία και συντήρηση ενός μνημείου έγκειται σε δύο σημαντικά σκέλη:

- Την αναγνώριση των γεωλογικών – γεωτεχνικών κινδύνων που εμφανίζει η εκάστοτε περιοχή εγκατάστασης ενός ιστορικού μνημείου.
- Τη διερεύνηση του υπεδάφους καθώς και των εδαφοτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή του ιστορικού μνημείου, την εκτίμηση της στρωματογραφίας του εδάφους, (βάθος και πάχος κάθε διακεκριμένης εδαφικής στρώσης), τη στάθμη του υπόγειου νερού και τον προσδιορισμός των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των επί μέρους στρωμάτων.
- Την συμβολή στις εργασίες αποκατάστασης, με τον κατάλληλο προσδιορισμό των παραμέτρων των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην αποκατάσταση του μνημείου.

Κατά την ολοκλήρωση της διεπιστημονικής μελέτης η διεπιστημονική ομάδα θα πρέπει να γνωρίζει:

- Την δομή του κτηρίου-μνημείου, όσον αφορά και τα εσωτερικά στρώματα, καθώς και τη συνεκτικότητα αυτών
- Τα χαρακτηριστικά των υλικών
- Την απόκριση του μνημείου στην παρούσα κατάσταση σε στατικές και δυναμικές καταπονήσεις, αλλά και στα περιβαλλοντικά φορτία
- Τις αξίες που καλείται να προστατέψει ή να αναδείξει

Συνεπώς, στην προσπάθεια αυτή ο γεωλόγος ή/και ο γεωτεχνικός μηχανικός καλείται να συμβάλει στα πλαίσια μιας αгаστικής συνεργασίας με όλες τις επιμέρους ομάδες μηχανικών – επιστημόνων που συνεργάζονται στα πλαίσια του ερευνητικού αυτού έργου. Πιο συγκεκριμένα, επιτακτική είναι η συνεργασία του γεωλόγου - γεωτεχνικού μηχανικού ιδιαίτερα με τις παρακάτω ομάδες μηχανικών – επιστημόνων:

- Αγρονόμοι -Τοπογράφοι μηχανικοί, μηχανικοί γεωπληροφορικής
- Πολιτικοί μηχανικοί (δομοστατικοί – γεωτεχνικοί μηχανικοί)
- Χημικοί μηχανικοί, μηχανικοί υλικών
- Αρχαιολόγοι

5.2.8.2 Εξέταση γεωλογίας της περιοχής έδρασης του μνημείου

Η γεωλογική έρευνα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ορισμένα βήματα, τα βασικότερα εκ των οποίων είναι τα κάτωθι:

1. Προσδιορισμός θέσης μνημείου στο χώρο.
2. Εξέταση της περιοχής έδρασης του μνημείου. Αν θεμελιώνεται σε έδαφος ή βράχο.
3. Προσδιορισμός παραγόντων που μπορεί να οδηγήσουν στην τρωτότητα του μνημείου:
 - Ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων
 - Επιφανειακές απορροές υδάτων ή ύπαρξη υπόγειων υδάτων
 - Ειδική περίπτωση αν το μνημείο εδράζεται επί εδαφικού πρσανούς
 - Προσδιορισμός γενικότερης γεωλογίας περιοχής βάσει χαρτών της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ).

Αναλυτικότερα, ο προσδιορισμός της ακριβούς θέσης του ιστορικού μνημείου είναι καθοριστικός για την περαιτέρω αξιολόγηση των ενδεχόμενων γεωκινδύνων που παρουσιάζει. Ο προσδιορισμός του γεωλογικού σχηματισμού έδρασης, η εγγύτητα ή μη σε

ενεργά ρήγματα, η ιστορική σεισμικότητα της περιοχής, η ύπαρξη υπόγειων υδάτων καθώς και η τοπογραφία- γεωμορφολογία αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τις μετέπειτα ενέργειες προστασίας που θα πρέπει να εκτελεστούν. Επιπρόσθετα, η γεωλογία αλλά και οι εν γένει επικρατούσες γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής μπορούν να δώσουν καθοριστικά στοιχεία όσον αφορά και τα υλικά δόμησης του ιστορικού μνημείου και κατ' επέκταση τα υλικά αποκατάστασης αλλά και τις συνθήκες θεμελίωσης αυτού (μέχρι ενός ικανοποιητικού βάθους)..

Σε πιο ειδικές περιπτώσεις, όπως στην περίπτωση της έδρασης ενός μνημείου επί ενός πρανούς, συνίσταται να ακολουθηθούν οι κάτωθι ενέργειες:

1. Μακροσκοπική παρατήρηση για ύπαρξη εδαφικών διαβρώσεων επί της στέψης του πρανούς καθώς και στην γύρω περιοχή.
2. Εκτέλεση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων βάθους τέτοιου που να μας εξασφαλίζει το σύνολο της στρωματογραφικής στήλης του πρανούς.
3. Διερεύνηση υπόγειας υδροφορίας, με εγκατάσταση πιεζομετρικού σωλήνα.
4. Ανάλυση του πρανούς σε στατικές και σεισμικές συνθήκες βάσει του Ευρωκώδικα 7 και του Ευρωκώδικα 8.

Επιπρόσθετα, στην περίπτωση αυτή συνίσταται η συνεργασία με την ομάδα των τοπογράφων μηχανικών, ούτως ώστε να γίνει τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής.

Στην περίπτωση έδρασης του ιστορικού μνημείου επί βραχώδους πρανούς (π.χ. κάστρο Ακροναυπλίας, Κάστρο Παλαιάς πόλης Κέρκυρας), η τοπογραφική αποτύπωση κρίνεται επιτακτική, καθώς και η παροχή νέφους σημείων, διότι σε συνέχεια της επί τόπου παρατήρησης του γεωλόγου αλλά και του γεωτεχνικού μηχανικού μπορεί εξασφαλισθεί η καταγραφή γεωκινδύνων – επισφαλών τεμαχίων προς αποκόλληση και να γίνει σύνταξη τεχνικής έκθεσης προτεινόμενων μέτρων ευστάθειας τα οποία περιλαμβάνουν ενδεικτικά και όχι περιοριστικά, τα ακόλουθα:

- Συστήματα αγκυρώσεων βράχου
- Μεταλλικό προστατευτικό πλέγμα
- Αφαίρεση επισφαλών βραχωδών τεμαχίων

5.2.8.3 Τεχνικές προδιαγραφές γεωτεχνικών ερευνών

Για το χαρακτηρισμό των γεωτεχνικών συνθηκών του υποβάθρου της θεμελίωσης ενός ιστορικού μνημείου, καθώς και για τον χαρακτηρισμό του γεωτεχνικού προφίλ του εδάφους – βράχου θεμελίωσης, οι πλέον χαρακτηριστική μέθοδος δειγματοληψίας είναι η μέθοδος της δειγματοληπτικής γεώτρησης. Οι γεωτεχνικές εργασίες απαιτείται να πραγματοποιούνται με την τήρηση ορισμένων τεχνικών προδιαγραφών:

- Τεχνικές Προδιαγραφές Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Ξηράς για Γεωτεχνικές Έρευνες (Ε101-83), ΦΕΚ Β 363/24.06.83.
- Τεχνικές προδιαγραφές δειγματοληψίας. Τήρηση απαραίτητων εργασιών για την κατά το δυνατό καλύτερη δειγματοληψία.
- Ε 105-86 κατά ΦΕΚ 955/31-12-86 του ΥΠΕΧΩΔΕ (Δοκιμές εδαφομηχανικής)
- (Ε103-84), ΦΕΚ 70/8-2-1985 – Δοκιμές βραχομηχανικής

- Εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών για εδαφικά και βραχώδη δείγματα
- Οι σχετικοί ευρωπαϊκοί κανονισμοί (Ευρωκώδικες) και τα απαιτούμενα ΕΝ (Ευρωπαϊκά Πρότυπα)
- ΕΛΟΤ ΕΝ 1997 Ευρωκώδικας 7 «Γεωτεχνικός σχεδιασμός» (Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, Μέρος 2: Εδαφικές έρευνες και δοκιμές, καθώς και όποιο άλλο μέρος αυτού, κριθεί απαραίτητο)
- ΕΛΟΤ ΕΝ ISO 2275-1 Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές -Μέθοδοι δειγματοληψίας
- ΕΛΟΤ ΕΝ ISO 14688 Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές -Ταυτοποίηση και ταξινόμηση εδαφών
- ΕΛΟΤ ΕΝ ISO 14689-1 Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές -Ταξινόμηση βράχων
- ΕΛΟΤ ΕΝ ISO 17025 Γενικές απαιτήσεις για την ικανότητα των εργαστηρίων δοκιμών και διακριβώσεων
- ΕΛΟΤ ΕΝ ISO 22476-3 Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές -Δοκιμές πεδίου
- Όποια άλλη σχετική επίσημη προδιαγραφή (εθνικό πρότυπο) ισχύει
- Τεχνικές Προδιαγραφές ή/και περιγραφές εργασιών, που αναφέρονται στα άρθρα του Κεφ. Θ' - Πίνακα ΓΤΕ (π.χ. ASTM, AASHO, BSS, DIN κλπ.) της Απόφασης ΥΠΕΧΩΔΕ/ΔΜ ΕΟ/α/Ο/1257.
- Τεχνικές Προδιαγραφές ή/και περιγραφές εργασιών, που αναφέρονται στα άρθρα του Κεφ. Ι' - ΓΜΕ.1 και ΓΜΕ.2 της Απόφασης ΥΠΕΧΩΔΕ/ΔΜΕΟ/α/Ο/1257

5.2.8.4. Δειγματοληψία δομικών στοιχείων ιστορικού μνημείου

5.2.8.4.1 Προσδιορισμός ορυκτολογικών – πετρογραφικών ιδιοτήτων δείγματος

Για την πραγματοποίηση εργαστηριακών ή επιτόπου δοκιμών όσον αφορά δείγματα που σχετίζονται με το ιστορικό μνημείο μπορούν να γίνουν τα εξής σενάρια:

1. Επιλογή επί τόπου δείγματος από τον χώρο του μνημείου
2. Προσδιορισμός υλικού για πραγματοποίηση δοκιμών σε δείγμα αντίστοιχων χαρακτηριστικών.

Η λήψη των δειγμάτων θα πρέπει να καλύπτει όλα τα δομικά υλικά του μνημείου, τα δομικά υλικά που συνεισφέρουν στην δομική απόκριση και στις αρχιτεκτονικές/αρχαιολογικές αξίες και τα δείγματα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά. Ιδανικά για το κάθε δομικό υλικό μπορεί να ληφθεί δείγμα από διαφορετικές θέσεις του μνημείου που εκτίθενται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Θα πρέπει να είναι σαφείς οι προηγούμενες επεμβάσεις στην κατασκευή, ώστε να μην εξαχθούν λανθασμένα συμπεράσματα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πρότυπα – προδιαγραφές της δειγματοληψίας εντός του μνημείου:

- EN 16085:2012-(2012-08-01) Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules
- NORMAL 3/80 (1980) Materiali Lapidei: Campionamento, Stone Materials – Sampling
- NORMAL 16/84 (1984) Caratterizzazione di Materiali Lapidei in Opera e del loro Stato di Conservazione, Characterisation of Stone Materials In Situ and Assessment of Their State of Conservation
- NORMAL 6/81 (1981) Caratterizzazione di Materiali Litici di Cava: Schema di Scheda - Characterization of stone materials from quarries: indexing system.

Σε περίπτωση που πρέπει να επιλεγεί δείγμα με αντίστοιχα πετρογραφικά χαρακτηριστικά, απαραίτητη είναι η γνώση της προέλευσης των υλικών. Για την ορυκτολογική – πετρολογική ταύτιση εκτελούνται κυρίως οι κάτωθι δοκιμές:

- Οπτικό Μικροσκόπιο
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM) & Μικροανάλυση Ακτινών Χ
- Περίθλαση Ακτινών Χ (XRD)

Πίνακας 5.2.8 -1 Προδιαγραφές δοκιμών για προσδιορισμό ορυκτολογικών – πετρογραφικών ιδιοτήτων

Τεχνική	Πρότυπα
Οπτική μικροσκοπία – Πετρογραφία	• NORMAL 10/82 (1982) Descrizione Petrografica dei Materiali Lapidei Naturali - Petrographic Description of Natural Stone Materials • NORMAL 14/83 (1983) Sezioni Sottili e Lucide di Materiali Lapidei: Tecnica di Allestimento - Thin and Polished Sections of Stone Materials – Preparation Technique
Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) & μικροανάλυση Ακτινών Χ	• ISO 16700:2004 Microbeam analysis – Scanning electron microscopy – Guidelines for calibrating image magnification • NORMAL 8/81 (1981) Esame delle Caratteristiche Morfologiche al Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) - Examination of Morphological Characteristics by Scanning Electron Microscopy (SEM)
Περίθλαση Ακτινών Χ (XRD)	• NORMAL 34/91 (1991) Analisi di Materiali Argillosi mediante XRD - Analysis of Clay Materials by X-Ray Diffraction (XRD)

5.2.8.4.2 Προσδιορισμός μηχανικών ιδιοτήτων δείγματος

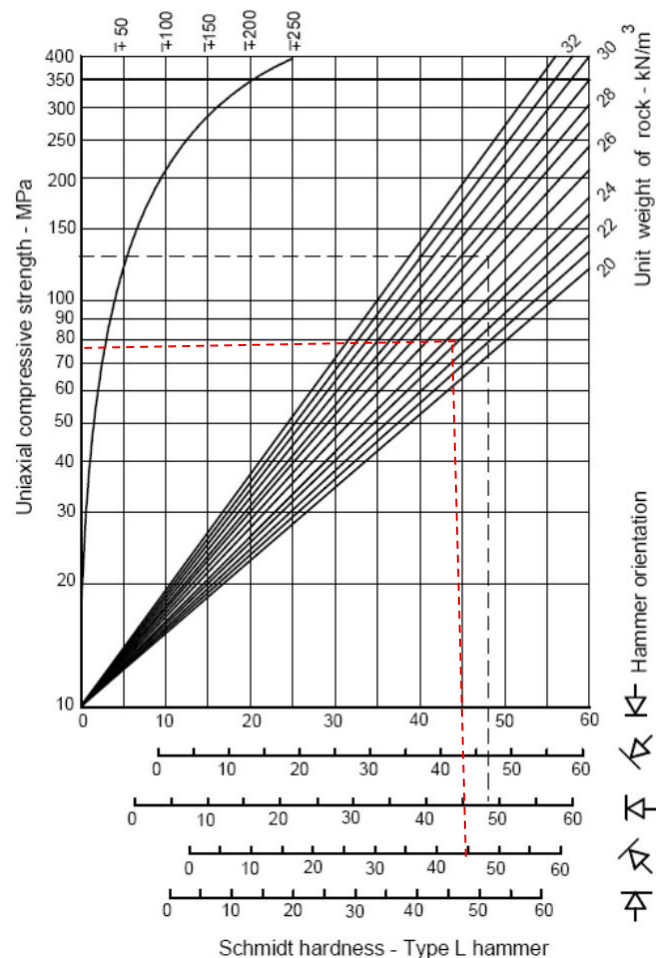
Όσον αφορά τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του δείγματος, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο και για την δομική αξιολόγηση ιστορικού μνημείου, οι δοκιμές οι οποίες επιλέγονται είναι οι κάτωθι:

- Αντοχή σε μοναξονική θλίψη
- Point Load (λιγότερο συχνά)
- Κρουσίμετρο (Schmidt Hammer)

Απ' τις παραπάνω δοκιμές αυτή που ενδείκνυται περισσότερο είναι η αντοχή σε μοναξονική θλίψη, διότι παρέχει τα απαραίτητα μηχανικά χαρακτηριστικά (ν , E , G) για τον περαιτέρω έλεγχο της κατασκευής. Η δοκιμή Point Load εφαρμόζεται στην περίπτωση που το δοκίμιο δεν πληροί τις προδιαγραφές για εκτέλεση δοκιμής αντοχής σε μοναξονική θλίψη.

Πίνακας 5.2.8-2 Προδιαγραφές δοκιμών για προσδιορισμό μηχανικών ιδιοτήτων λίθων

Τεχνικές	Πρότυπα
Αντοχή σε μοναξονική θλίψη	D7012 – 23 - Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures
Point Load Tests	D5731 – 16 Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications
Κρουσίμετρο (Schmidt Hammer)	ASTM D5873, Εμπειρική συσχέτιση μεταξύ δοκιμής κρουσίμετρου και αντοχής σε μοναξονική θλίψη



Εικόνα 5.2.8-1 Υπολογισμός JCS από την σκληρότητα της σφύρας Schmidt (Deere & Miller, 1966)

5.2.8.5 Μη καταστρεπτικές μέθοδοι για γεωτεχνικές έρευνες

Σε αντίθεση με τις λεγόμενες “καταστρεπτικές μεθόδους”, δηλαδή ερευνητικές γεωτρήσεις, ερευνητικά φρέατα και δοκιμές φόρτισης πασσάλων, στην περίπτωση της διερεύνησης συνθηκών εδάφους ιστορικών- πολιτιστικών μνημείων οι γεωφυσικές μέθοδοι εμφανίζουν ορισμένα πλεονεκτήματα όπως:

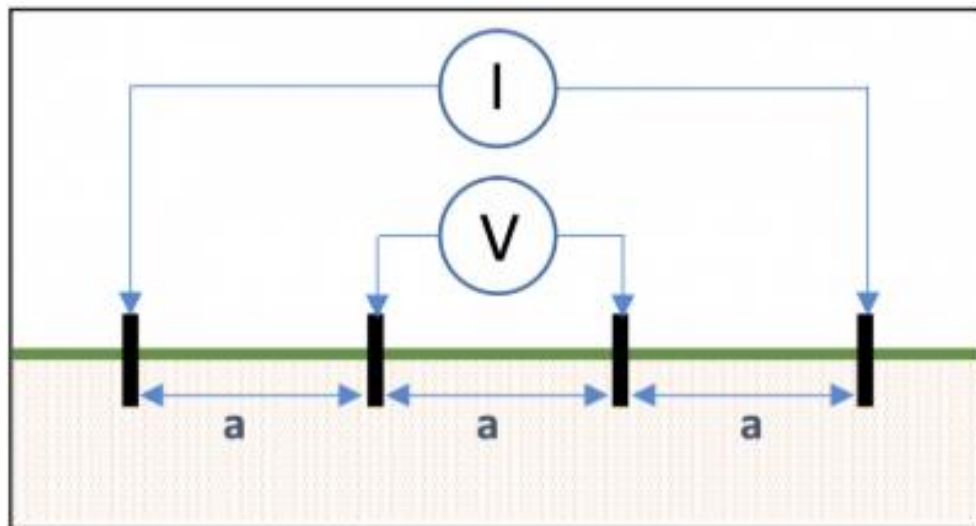
- Είναι μη καταστρεπτικές μέθοδοι.
- Δυνατότητα διερεύνησης σε μεγάλα βάθη. Πιο μακροσκοπική εικόνα
- Μπορούν να προσδιορίσουν την ύπαρξη θαμμένων υποδομών κάτω από ένα μνημείο.

5.2.8.5.1 Γεωηλεκτρικές μέθοδοι διασκόπησης

Η μέτρηση της αντίστασης του εδάφους πραγματοποιείται κυρίως με τη μέθοδο Wenner, στην οποία τέσσερα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίση απόσταση (a) κατά μήκος νοητής ευθείας. Στη συνέχεια μετριέται η τάση μεταξύ των δύο εσωτερικών ηλεκτροδίων και διαιρείται με το ρεύμα που διέρχεται από τα εξωτερικά ηλεκτρόδια. Η τιμή που προκύπτει είναι η τιμή της αντίστασης (R). Ακολούθως, υπολογίζεται η φαινόμενη ειδική αντίσταση (R_a) σύμφωνα με τη σχέση:

$$R_a = 2\pi a R \quad (5.2.8.5.1.1)$$

όπου a η απόσταση των ηλεκτροδίων (m) και R η μετρούμενη αντίσταση (Ω). Η τιμή που προκύπτει από την εφαρμογή της σχέσης αναπαριστά την αντίσταση του εδάφους σε βάθος ισοδύναμο με την απόσταση των ηλεκτροδίων. Ως εκ τούτου, εάν για παράδειγμα τα ηλεκτρόδια τοποθετηθούν σε απόσταση $a=2\text{ μ}$ τότε η τιμή που θα προκύψει από την εφαρμογή της σχέσης ισοδυναμεί με την αντίσταση του εδάφους σε βάθος 2μ. Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται σε σχέση με ορισμένο κέντρο με αύξηση της απόστασης a κατά βήματα.



Εικόνα 5.2.8-2 Διάταξη γεωηλεκτρικής μεθόδου Wenner

Οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι εκτελούνται σύμφωνα με τα πρότυπα:

- IEEE Standard 81 Part 1
- BS EN 50522 ή BS 7430

5.2.8.5.2 Σεισμική μέθοδος (Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW)

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στη μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής της λεγόμενης διατμητικής ταχύτητας διάδοσης του ήχου εντός του υπεδάφους μέσω μιας ειδικής πειραματικής διάταξης (σεισμογράφος και σειρά γεωφώνων). Σε αντίθεση με τις κλασικές σεισμικές μεθόδους διάθλασης και ανάκλασης, η MASW βασίζεται στην ανάλυση της ταχύτητας διάδοσης των επιφανειακών κυμάτων, επιτρέποντας τον υπολογισμό της κατακόρυφης κατανομής της ταχύτητας των κυμάτων διάτμησης (S) κάτω από την περιοχή έρευνας. Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών, όπως το μέτρο διάτμησης, το μέτρο ελαστικότητας, το μέτρο όγκου, η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα, η σεισμική ενίσχυση και ο λόγος Poisson, συσχετίζονται άμεσα με την ταχύτητα Vs. Συνεπώς, ο προσδιορισμός της μεταβολής της Vs στο υπέδαφος είναι ιδιαίτερα σημαντικός στη γεωτεχνική έρευνα.

Σε περίπτωση μελέτης αρχαιολογικού χώρου προτιμάται η παθητική μέθοδος και όχι η ενεργητική που απαιτεί την χρήση σφύρας για παραγωγή κυμάτων, καθώς τίθεται ζήτημα καταστροφής του μνημείου.

5.2.8.5.3 Γεωραντάρ

Η τεχνική του γεωραντάρ αναφέρθηκε στην ενότητα του χαρακτηρισμού των υλικών. Όσον αφορά στις γεωτεχνικές έρευνες, το γεωραντάρ χρησιμοποιείται για ανίχνευση καλωδίων, σωληνώσεων, κενών, στρωμάτων, αρχαιολογικών στοιχείων. Ειδικότερα, η διασκόπηση με γεωραντάρ στο στάδιο αυτό αναφέρεται στην αποκάλυψη:

- ✓ Την παρουσία κενών, ασυνεχειών, ρωγμών, αποκολλήσεων στρώσεων στον περιβάλλοντα χώρο του μνημείου
- ✓ Την παρουσία υγρασίας ή υπόγειας υδροφορίας
- ✓ Την διαφοροποίηση των υλικών ή του τρόπου δόμησης σε βάθος
- ✓ Την παρουσία και το πάχος διαφορετικών στρωμάτων

Όπως επεξηγείται στο Παράρτημα Β-Ι, όσο μεγαλύτερη η συχνότητα → μεγαλύτερη ανάλυση, μικρότερο βάθος διείσδυσης και αντίστροφα, όσο χαμηλότερη η συχνότητα → μεγαλύτερο βάθος, χαμηλότερη ανάλυση.

Πίνακας 5.2.8-2 Σχέση συχνότητας με εφαρμογές γεωραντάρ για γεωτεχνικές έρευνες

Συχνότητα (MHz)	Εμβέλεια διείσδυσης	Εφαρμογές
25–100	έως ~20 m (κατά περίπτωση)	γεωλογικές έρευνες, πολύ βαθιά αντικείμενα
100–500	~5–10 m	χρήση σε μηχανικές/γεωτεχνικές εφαρμογές
500–1200	~1–5 m	αστικές εφαρμογές, αναγνώριση αγωγών
>1200	<1 m	λεπτομερής απεικόνιση θεμελιώσεων, δομικές επιθεωρήσεις στοιχείων έδρασης

Το πρότυπο βάσει του οποίου χρησιμοποιείται το γεωραντάρ είναι το ASTM D6432 - 11 Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation.

5.2.8.6 Αξιολόγηση σεισμικής επικινδυνότητας

Για τη σεισμική επικινδυνότητα ενός ιστορικού μνημείου απαιτούνται μια σειρά από ενέργειες:

1. Ανάλυση μικροτεκτονικών χαρτών της περιοχής του μνημείου
2. Ιστορική σεισμικότητα περιοχής (Παραπομπή σε ιστορικές πηγές και καταγραφή σεισμικών γεγονότων)
3. Επεξεργασία υφιστάμενων γεωτεχνικών εργασιών προηγούμενων μελετών για τον προσδιορισμό του εδαφικού προφίλ.
4. Κατάταξη υποβάθρου περιοχής κατά ΕΑΑΚ 2000 και Ευρωκώδικα 8.

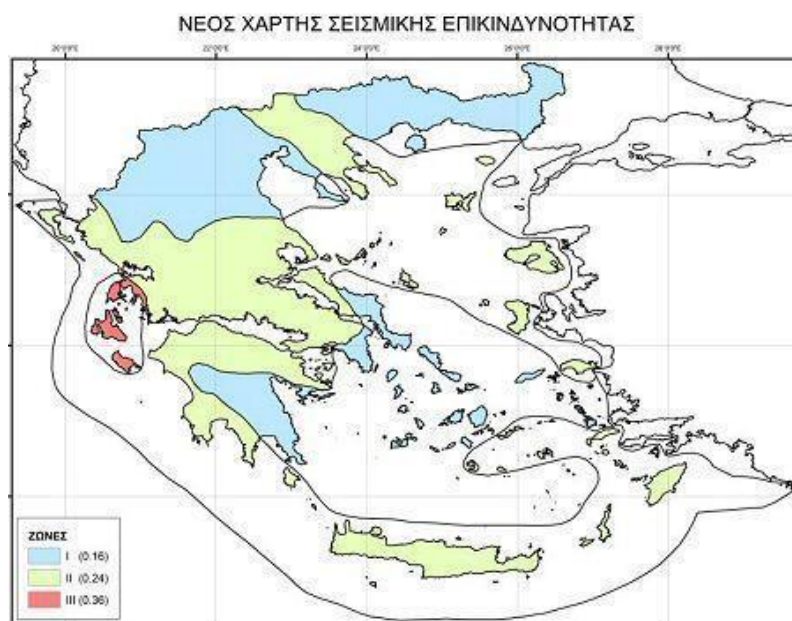
Η μελέτη της σεισμικής επικινδυνότητας και τρωτότητας ενός μνημείου αποτελεί μια σύνθετη μελέτη, καθώς οι υφιστάμενες ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας και οι αντίστοιχες επιταχύνσεις που έχουν οριστεί έχουν σχεδιαστεί με βάση τη σύγχρονη καταγραφή σεισμικών γεγονότων. Αυτό βέβαια εμπεριέχει τον κίνδυνο να αγνοηθούν τυχόν σεισμικές επιταχύνσεις μεγαλύτερες των δεδομένων. Για τον λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η διερεύνηση της ιστορικής σεισμικότητας της περιοχής.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσπασθμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Εικόνα 5.2.8-3 Κατηγορίες εδάφους (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000)

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	–	–
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1			

Εικόνα 5.2.8-4 Κατηγορίες εδάφους (Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 1, EN 1998-1)



Εικόνα 5.2.8-5 Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (ΕΑΑΚ 2000)

5.2.8.7 Γεωτεχνική έρευνα (παρουσίαση, αξιολόγηση και μελέτη) μέσω κατάλληλων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων

Θα πραγματοποιηθεί κατάλληλη γεωλογική-γεωτεχνική έρευνα με τη διάτρηση ικανού αριθμού δειγματοληπτικών γεωτρήσεων - με σκοπό τη διερεύνηση του υπεδάφους καθώς και των εδαφοτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή του ιστορικού μνημείου. Ειδικότερα, οι έρευνες θα αποβλέπουν στα ακόλουθα:

- i. Εκτίμηση της στρωματογραφίας του εδάφους
- ii. Στάθμη του υπόγειου νερού
- iii. Προσδιορισμός των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των επί μέρους στρωμάτων στις θέσεις έρευνας.

Στη συνέχεια, βάση των αποτελεσμάτων της γεωλογικής-γεωτεχνικής έρευνας θα γίνεται γεωτεχνική αξιολόγηση των συνθηκών του υπεδάφους στην περιοχή του υπό μελέτη ιστορικού μνημείου που θα περιλαμβάνει τα εξής:

- i. Καθορισμός και συνοπτική περιγραφή της αναμενόμενης γεωτεχνικής στρωματογραφίας, του βάθους αλλά και του πάχους κάθε γεωτεχνικού στρώματος που επικρατεί στην υπό εξέταση περιοχή.
- ii. Γεωτεχνική αξιολόγηση των διαθέσιμων στοιχείων (επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών που θα εκτελεστούν σε δείγματα των γεωτρήσεων) και προσδιορισμό των αναμενόμενων γεωτεχνικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης καθώς και το εύρος διακύμανσης των γεωτεχνικών παραμέτρων αντοχής τους.
- iii. Καθορισμός των κρίσιμων γεωτεχνικών παραμέτρων διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας, των εμφανιζόμενων στην περιοχή ενδιαφέροντος εδαφικών και βραχωδών γεωτεχνικών στρωμάτων.
- iv. Στοιχεία σεισμικότητας του εδάφους.

Όλες οι εργασίες υπαίθρου θα εκτελεσθούν σύμφωνα με τις κατωτέρω εγκεκριμένες αντίστοιχες τεχνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ και του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 7.

- «περί Τεχνικών Προδιαγραφών Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Ξηράς για Γεωτεχνικές έρευνες» Ε101/83 (ΦΕΚ 363/8/24-6-1983).
- «Υπουργική απόφαση ΔΜΕΟ/α/0/1257/9.08.2005, Κανονισμός Προεκτιμώμενων αμοιβών μελετών και υπηρεσιών σύμφωνα με το Ν.3316/05».
- «ΕΛΟΤ EN 1997-2, Ευρωκώδικας 7».
- ΕΛΟΤ EN ISO 22475-1 και EN ISO 22476, «Γεωτεχνικές Έρευνες Υπαίθρου και Δοκιμές».

Οι εργαστηριακές δοκιμές θα περιλαμβάνουν (ενδεικτικά και όχι περιοριστικά):

- Δοκιμές κατάταξης και προσδιορισμού φυσικών ιδιοτήτων
- Δοκιμές προσδιορισμού Μηχανικών ιδιοτήτων
- Δοκιμές βραχομηχανικής

Το είδος και το πλήθος των εργαστηριακών δοκιμών θα εξαρτάται από το είδος των εδαφικών σχηματισμών που θα συναντηθούν, σε συνδυασμό και με τα εδαφικά χαρακτηριστικά που απαιτείται να προσδιοριστούν για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό του έργου.

Οι εργαστηριακές δοκιμές θα εκτελούνται σύμφωνα με τις εγκεκριμένες αντίστοιχες τεχνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ που ακολουθούν, όπως έχουν πρόσφατα επικαιροποιηθεί σύμφωνα με τα διαλαμβανόμενα στον Ευρωκώδικα 7:

- «Περί Προδιαγραφών Εργαστηριακών και επιτόπου Δοκιμών Εδαφομηχανικής» Ε105-86 (ΦΕΚ 955/Β/31-12-86).
- «Περί Προδιαγραφών επιτόπου Δοκιμών Βραχομηχανικής Ε102-84 και Εργαστηριακών Δοκιμών Βραχομηχανικής Ε103-84 (ΦΕΚ 70/Β/8-2-1985).
- «ΕΛΟΤ EN 1997-2, Ευρωκώδικας 7».
- ΕΛΟΤ EN ISO 17892-1 έως και 17892-12 for Soil laboratory tests
- ASTM και ISRM for Rock Mechanics tests

Η Γεωτεχνική Μελέτη θα περιλαμβάνει ενδεικτικά και όχι περιοριστικά τον έλεγχο αλλά και τον γεωτεχνικό σχεδιασμό όλων των απαραίτητων μέτρων προστασίας των συνθηκών ευστάθειας και θεμελίωσης των ιστορικών μνημείων, τους γεωτεχνικούς ελέγχους σε θέσεις κρίσιμων γεωτεχνικών διατομών της φέρουσας ικανότητας της θεμελίωσης έναντι θραύσης του εδαφικού στρώματος έδρασης, τους υπολογισμούς αναμενόμενων καθιζήσεων (άμεσες ή και από στερεοποίηση), των δεικτών εδάφους, τον έλεγχο κινδύνου έναντι ρευστοποίησης του εδάφους αλλά και προτάσεις και διαστασιολόγηση συστημάτων αντιστήριξης (μέσω κατάλληλων αναλύσεων ευστάθειας).

5.2.9 Ιστορική Σεισμικότητα- Ενόργανες καταγραφές

Καταγραφή της ιστορικής σεισμικότητας της περιοχής ενδιαφέροντος, η οποία περιλαμβάνει τους σεισμούς του παρελθόντος, αντλώντας πληροφορίες μέσω γραπτών ιστορικών πηγών, καταλόγων ιστορικών σεισμικών γεγονότων και καταλόγων ενόργανων καταγεγραμμένων σεισμών. Αναφέρεται η επίπτωση των ιστορικών σεισμών στο μνημείο και στις κατασκευές στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (αισθητότητα, μικρές υλικές ζημιές, σοβαρές βλάβες, καταρρεύσεις). Επιπλέον, καταγράφονται οι επιπτώσεις σεισμών που έπληξαν την περιοχή ενδιαφέροντος, προγενέστερων του μνημείου.

5.2.10 Καταγραφή και διάγνωση των προβλημάτων του χώρου

Η καταγραφή και διάγνωση των προβλημάτων του χώρου αποσκοπεί στην αναγνώριση, αξιολόγηση και τεκμηρίωση των παραγόντων του φυσικού, πολεοδομικού, λειτουργικού και κοινωνικού περιβάλλοντος που επηρεάζουν την προστασία, τη διατήρηση, την ανάδειξη και τη λειτουργία του μνημείου.

Η διερεύνηση βασίζεται στα συμπεράσματα της ιστορικής, αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής και περιβαλλοντικής τεκμηρίωσης και εξετάζει τόσο τον άμεσο περιβάλλοντα χώρο όσο και το ευρύτερο χωρικό και τοπιακό πλαίσιο εντός του οποίου εντάσσεται το μνημείο.

Η καταγραφή και διάγνωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την καταγραφή των υφιστάμενων χρήσεων γης και δραστηριοτήτων που επηρεάζουν το μνημείο,
- β) την αξιολόγηση των πολεοδομικών, χωροταξικών και αναπτυξιακών πιέσεων που ασκούνται στον χώρο,

-
- γ) την καταγραφή και αξιολόγηση στοιχείων του φυσικού και ανθρωπογενούς τοπίου που συνδέονται με την κατανόηση και ανάδειξη του μνημείου,
 - δ) την αξιολόγηση των οπτικών φυγών, των αξόνων θέασης και της ευρύτερης οπτικής αντίληψης του μνημείου,
 - ε) την καταγραφή και αξιολόγηση στοιχείων που προκαλούν οπτική, λειτουργική ή περιβαλλοντική υποβάθμιση του χώρου,
 - στ) την αξιολόγηση της προσβασιμότητας, των κυκλοφοριακών συνθηκών και των δικτύων κίνησης πεζών και οχημάτων,
 - ζ) την αξιολόγηση των υφιστάμενων υποδομών και δικτύων που επηρεάζουν τη λειτουργία ή την προστασία του μνημείου,
 - η) την καταγραφή και αξιολόγηση λειτουργικών προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση, τη διαχείριση, την επισκεψιμότητα ή τη λειτουργική οργάνωση του χώρου,
 - θ) την καταγραφή και αξιολόγηση γεωτεχνικών προβλημάτων, όπως κατολισθήσεις, βραχοπτώσεις, καθιζήσεις, διαβρώσεις ή άλλες γεωδυναμικές διεργασίες που επηρεάζουν ή δύνανται να επηρεάσουν το μνημείο και τον περιβάλλοντα χώρο του,
 - ι) την καταγραφή και αξιολόγηση υδραυλικών προβλημάτων, όπως πλημμυρικά φαινόμενα, επιφανειακές απορροές, ανεπαρκής αποστράγγιση, διάβρωση από ύδατα ή άλλες υδρολογικές διεργασίες που επηρεάζουν την προστασία και τη διατήρηση του μνημείου,
 - ια) την καταγραφή περιβαλλοντικών παραγόντων και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που ενδέχεται να επηρεάζουν την κατάσταση διατήρησης του μνημείου,
 - ιβ) την αξιολόγηση της σχέσης του μνημείου με τον περιβάλλοντα χώρο, το ιστορικό τοπίο και τα γειτονικά μνημεία ή ιστορικά σύνολα,
 - ιγ) την αναγνώριση κινδύνων, συγκρούσεων χρήσεων και περιορισμών που δύνανται να επηρεάσουν τον σχεδιασμό των επεμβάσεων.

Τα συμπεράσματα της καταγραφής και διάγνωσης των προβλημάτων του χώρου λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαμόρφωση των αρχών και στόχων επέμβασης, την αρχιτεκτονική προμελέτη και τον σχεδιασμό του περιβάλλοντος χώρου του μνημείου.

5.2.11 Μελέτη της ένταξης και επιτάχυνσης των διεργασιών της φθοράς και της παθολογίας με βάση τα δεδομένα της κλιματικής αλλαγής

Η μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αποσκοπεί στην αναγνώριση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών δράσεων που επιδρούν σε ένα δόμημα, καθώς και στην μεταβολή αυτών λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Οι περιβαλλοντικές αυτές δράσεις, και κυρίως οι μεταβολές αυτών, δύνανται να επιταχύνουν ή να τροποποιήσουν τους μηχανισμούς φθοράς των δομικών υλικών, επηρεάζοντας τα φυσικοχημικά, μηχανικά και αισθητικά χαρακτηριστικά τους, ενώ σε πολλές περιπτώσεις επηρεάζουν αρνητικά και τη δομική συμπεριφορά του δομήματος, αυξάνοντας την τρωτότητά του έναντι φυσικών κινδύνων. Ιδιαίτερα σημαντικές δεν είναι μόνο οι ακραίες τιμές των περιβαλλοντικών δράσεων, αλλά κυρίως οι ακραίες μεταβολές αυτών σε μικρά χρονικά διαστήματα.

Η αξιολόγηση βασίζεται στη συσχέτιση των αναμενόμενων κλιματικών μεταβολών με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μνημείου: τα υλικά που το απαρτίζουν, τα μορφολογικά και κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά, την κατάσταση διατήρησης των υλικών και του δομήματος, καθώς και το περιβάλλον στο οποίο εντάσσεται.

Η μελέτη περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- την αξιολόγηση και καταγραφή της έκθεσης του μνημείου σε μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες και ακραία φυσικά φαινόμενα, όπως πλημμύρες, καύσωνες, παρατεταμένες ξηρασίες, πυρκαγιές, έντονες βροχοπτώσεις, ισχυρούς ανέμους, κατολισθήσεις, διάβρωση και λοιπούς φυσικούς κινδύνους,
- την αξιολόγηση της πιθανής επιτάχυνσης φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών φθοράς,
- τη διερεύνηση της επιδεκτικότητας των δομικών υλικών στη φθορά, δηλαδή την επίδραση των μεταβολών της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, των κύκλων ύγρυνσης-ξηράνσης, των κύκλων παγετού, της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της μεταφοράς διαλυτών αλάτων και κρυστάλλωσης αυτών, στα δομικά υλικά,
- την αξιολόγηση της επίδρασης των κλιματικών μεταβολών στη δομική συμπεριφορά, στη λειτουργικότητα και στη μακροχρόνια διατήρηση του δομήματος,
- την αξιολόγηση της τρωτότητας και της ανθεκτικότητας του δομήματος,
- τη διερεύνηση ιστορικών και παραδοσιακών κατασκευαστικών πρακτικών, βιοκλιματικών χαρακτηριστικών και τοπικών τεχνικών που συμβάλλουν στην προσαρμογή και στην ανθεκτικότητα του δομήματος έναντι των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών,
- τη διατύπωση μέτρων πρόληψης, προσαρμογής και ενίσχυσης της ανθεκτικότητας, κατά τρόπο συμβατό με τις αξίες, την αυθεντικότητα και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μνημείου,
- την αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων, συστημάτων παρακολούθησης, μοντέλων HBIM, Ψηφιακών Διδύμων και εργαλείων ανάλυσης δεδομένων για την εκτίμηση κινδύνων, τη διερεύνηση σεναρίων εξέλιξης της φθοράς και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων.

Τα συμπεράσματα της διερεύνησης αξιοποιούνται για την αξιολόγηση των κινδύνων, τον σχεδιασμό και την επιλογή των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης, την κατάρτιση προγραμμάτων παρακολούθησης και προληπτικής συντήρησης, καθώς και για τη μακροχρόνια διαχείριση και προστασία του μνημείου.

5.3 Στρατηγική και πρόταση αποκατάστασης

5.3.1 Μεθοδολογία διαμόρφωσης ολοκληρωμένης πρότασης αποκατάστασης

Η διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης πρότασης αποκατάστασης η οποία θα βασίζεται στην αξιολόγηση των ευρημάτων της φάσης τεκμηρίωσης – διαγνωστικής μελέτης, πρέπει να βασίζεται σε μια ολιστική Στρατηγική και κατάλληλη μεθοδολογία που θα διέπονται από τις ακόλουθες βασικές αρχές:

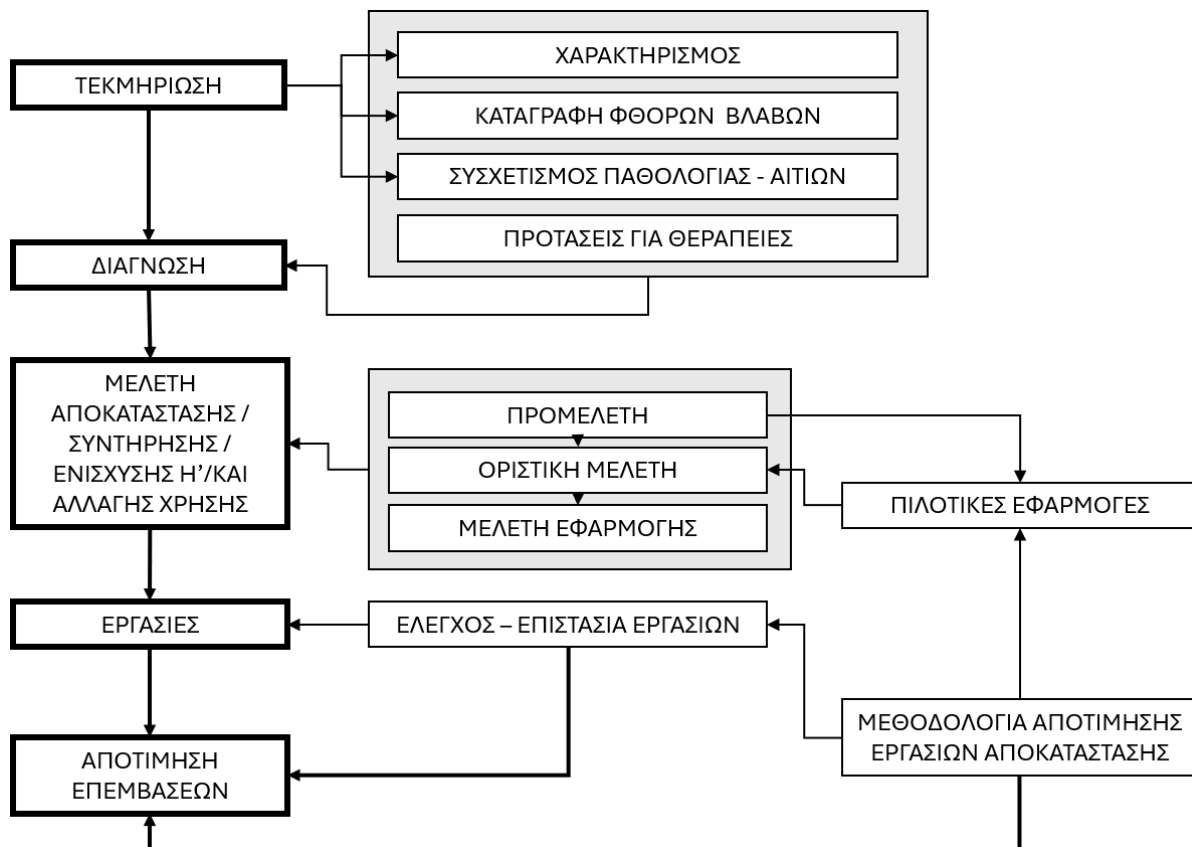
- Διασφάλιση συμβατότητας με τα αρχιτεκτονικά και ιστορικά χαρακτηριστικά και τις αξίες του ακίνητου μνημείου
- Διασφάλιση συμβατότητα των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης που προκρίνονται και εφαρμόζονται μέσω της διεπιστημονικής μεθοδολογίας και των σχετικών μελετών
- Διασφάλιση της επιτελεσματικότητας των επεμβάσεων, μέσω ολοκληρωμένης δομητικής ανάλυσης και αξιολόγησης κινδύνων

- Διασφάλιση της Αειφορίας του μνημείου, όσον αφορά στην αύξηση του χρόνου ζωής του μνημείου και των επεμβάσεων, την βελτίωση της επιδεκτικότητας του σε περιβαλλοντικούς παράγοντες και την βελτίωση της ανθεκτικότητάς του.

Για να διασφαλιστούν τα ανωτέρω απαιτείται ο προσδιορισμός παραμέτρων ελέγχου των προτεινόμενων υλικών και επεμβάσεων συντήρησης, ενίσχυσης, αποκατάστασης και προστασίας, ήτοι:

- Εισαγωγή επιστημονικών και τεχνικών κριτηρίων επιλογής των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης
- Προσδιορισμός των απαραίτητων προδιαγραφών για τα υλικά και επεμβάσεις συντήρησης
- Προσδιορισμός των παραμέτρων ελέγχου για την διασφάλιση της ποιότητας, δηλαδή του βαθμού της επίτευξης της προδιαγεγραμμένης επιτελεστικότητας

Η πρόταση αποκατάστασης δεν είναι αποκομμένη από τα υπόλοιπα στάδια του έργου αλλά απορρέει από την υιοθέτηση μιας μεθοδολογίας ολοκληρωμένης διάγνωσης, σχεδιασμού και αποτίμησης, όπως διαγραμματικά παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.



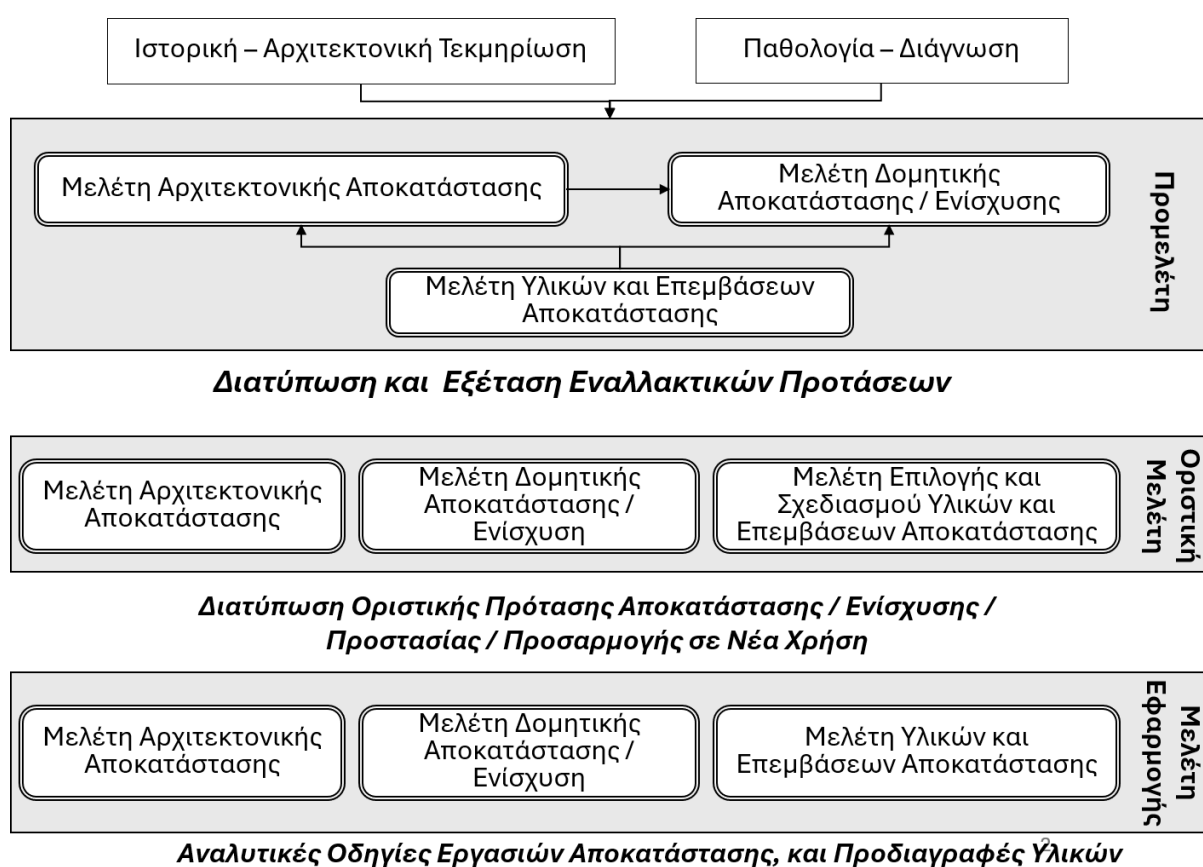
Εικόνα 5.3-1 Μεθοδολογία Ολοκληρωμένης Διάγνωσης Σχεδιασμού και Αποτίμησης (Togkalidou et al., 2003)

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 3 παρ. 1 & 2 κάθε επέμβαση σε μνημείο μελετάται διεξοδικά στο πλαίσιο της ισχύουσας εθνικής νομοθεσίας και των Διεθνών Αρχών που διέπουν τις επεμβάσεις σε μνημεία, όπως η Σύμβαση της Γρανάδας (ν. 2039/1992, ΦΕΚ 61 Α'), η

Σύμβαση της Βαλέτας (ν. 3378/2005, ΦΕΚ 203 Α'), καθώς και άλλων σχετικών Χαρτών και Συμβάσεων. Τα στάδια εκπονήσεως της μελέτης είναι τα εξής:

- α) προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας (Σχέδιο - Πλαίσιο). Συντάσσεται για εργασίες μείζονος σημασίας του άρθρου 2 παρ. 2α της παρούσας ή για επεμβάσεις σε μνημεία μείζονος σημασίας ή σε μνημεία και χώρους μεγάλης κλίμακας.
- β) προμελέτη
- γ) οριστική μελέτη
- δ) μελέτη εφαρμογής και τεχνικές προδιαγραφές έργου
- ε) τεύχη δημοπράτησης σε περίπτωση ανάθεσης του έργου σε τρίτους

Η προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας αναφέρθηκε στην ενότητα 5.1. Όσον αφορά στην ολοκληρωμένη μελέτη επεμβάσεων, τα στάδια αυτής και οι επιμέρους στόχοι συνοψίζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 5.3-2 Μελέτη επεμβάσεων – στάδια και ενέργειες

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 6 παρ. 1 οι μελέτες μνημείων και αρχαιολογικών χώρων περιλαμβάνουν εν γένει αρχιτεκτονική μελέτη, μελέτη φέρουσας κατασκευής (στατική μελέτη), μελέτες εγκαταστάσεων, έργων υποδομής και διαμορφώσεων περιβάλλοντος χώρου. Η εκπόνηση των μελετών έργων υποδομής, εγκαταστάσεων και περιβάλλοντος χώρου κ.λπ. διέπεται από τεχνικές προδιαγραφές, που περιλαμβάνονται στο π.δ. 696/1974, όπως ισχύει, και σε λοιπούς κανονισμούς ανά κατηγορία μελέτης. Σε κάθε περίπτωση, οι μελετητικές επιλογές ελέγχονται όχι μόνο για την τεχνική αρτιότητά τους, αλλά και για τη συμφωνία τους με την δεοντολογία των επεμβάσεων σε μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους.

Το γενικότερο πλαίσιο στόχων και κριτηρίων ελέγχου των σχετικών μελετών συνοψίζεται στην Εικόνα 5.3-3, ενώ οι στόχοι επιμέρους βασικών μελετών ανάλογα τα διάφορα επίπεδα του μνημείου παρουσιάζεται συνοπτικά στην Εικόνα 5.2-4.



Εικόνα 5.3-3 Μελέτη επεμβάσεων – βασικοί στόχοι και κριτήρια

	Μελέτη Αρχιτεκτονικής Αποκατάστασης	Μελέτη Δομητικής Αποκατάστασης / Ενίσχυση	Μελέτη Υλικών Αποκατάστασης
ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	Μορφολογική αποκατάσταση, Ανάδειξη, Λειτουργικότητα νέας διαμόρφωσης	Εξασφάλιση δομοστατικής επάρκειας και ασφάλειας σε σεισμικό κίνδυνο	Συμβατότητα, Προστασία από φθορά, οφειλόμενη σε ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες, ανθεκτικότητα
ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ			
ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	Αισθητική συμβατότητα, λειτουργικότητα		Προστασία από φθορά, οφειλόμενη σε ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες, ανθεκτικότητα

Εικόνα 5.3-4 Στόχοι επιμέρους βασικών μελετών ανάλογα τα διάφορα επίπεδα του μνημείου

5.3.2 Μελέτη φέρουσας ικανότητας κατασκευής

Αντικείμενο της μελέτης φέρουσας ικανότητας μνημείου/διατηρητέου δομήματος (στατικής μελέτης) είναι η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του στην υφιστάμενη κατάσταση, έναντι στατικών και σεισμικών καταπονήσεων (προμελέτη), η διατύπωση μέτρων επέμβασης για την αποκατάσταση, επισκευή ή ενίσχυση του φέροντος οργανισμού του ή τμημάτων αυτού και η αποτίμηση των μέτρων επέμβασης (οριστική μελέτη) και η διαστασιολόγηση μέτρων επέμβασης (μελέτη εφαρμογής). Συνεπώς, η μελέτη φέρουσας ικανότητας κατασκευής εκτελείται σε στάδια α): προμελέτη, β): οριστική μελέτη και γ): μελέτη εφαρμογής. Όλα τα αναφερόμενα στη συνέχεια αφορούν μνημεία/διατηρητέα δομήματα αποτελούμενα από λιθοσώματα και κονίαμα (Ιστορικές κατασκευές) και όχι κατασκευές χωρίς κονίαμα (εν ξηρώ δόμηση- Αρχαιοελληνικά και Ρωμαϊκά).

Ακολουθώντας τη φιλοσοφία των σύγχρονων κανονισμών, η αποτίμηση ενός μνημείου/διατηρητέου δομήματος έναντι σεισμικών δράσεων γίνεται με βάση τις Στάθμες Επιτελεστικότητας (ΣΕ) όπου εξετάζει εάν το μνημείο/διατηρητέο δόμημα είναι ικανό να μη ξεπεράσει μια συγκεκριμένη Στάθμη Επιτελεστικότητας, η οποία αντιστοιχεί σε καθορισμένο επίπεδο βλάβης (ΕΒ) στην περίπτωση όπου συμβαίνει σεισμός καθορισμένης περιόδου επαναφοράς -TR (ή ετήσιου ρυθμού υπέρβασης λ , $\lambda=1/TR$) και πιθανότητας υπέρβασης (p). Οι Στάθμες Επιτελεστικότητας ορίζονται κατά ΕΚ8 ως «Άμεση Χρήση» (ΑΧ), «Περιορισμένες Βλάβες» (ΠΒ), «Σημαντικές Βλάβες» (ΣΒ) και «Οιονεί Κατάρρευση» (ΟΚ) (βλ. Πίνακα 5.3.2-1). Οι στάθμες αυτές μπορούν να οριστούν τόσο ως προς τα φέροντα στοιχεία (ακεραιότητα δομήματος), όσο και ως προς την ακεραιότητα των μη-φερόντων στοιχείων αρχιτεκτονικής αξίας, τα οποία περιλαμβάνει το δόμημα.

Η μελέτη φέρουσας ικανότητας γίνεται για τις Στάθμες Επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» (ΣΒ) και «Οιονεί Κατάρρευση» (ΟΚ) και σκοπό έχει να εξασφαλίσει ότι το μνημείο/διατηρητέο δόμημα, οριακά δεν καταρρέει κατά τη διάρκεια του σεισμού στη Στάθμη ΟΚ σε συνδυασμό με την Κατηγορία Επιπτώσεων (ΚΕ) στην οποία ανήκει.

Τα μνημεία/ διατηρητέα δομήματα μπορούν να καταταγούν σε Κατηγορίες Επιπτώσεων ΚΕ ανάλογα με την Επισκεψιμότητα/Χρήση τους, η οποία σχετίζεται με την απώλεια της ανθρώπινης ζωής ή τον τραυματισμό καθώς επίσης και την Ιστορική -Αρχιτεκτονική και Μνημειακή τους αξία. Ακολουθώντας τις διατάξεις του ΕΚ8, στον Πίνακα 5.3.2-2 προτείνονται ΚΕ, ενώ στον Πίνακα 5.3.2-3 προτείνεται η επιλογή ΚΕ των μνημείων/διατηρητέων δομημάτων ανάλογα με τη επισκεψιμότητα/χρήση και σπουδαιότητα τους.

Ανεξάρτητα από την ΚΕ του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος, η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης (προμελέτη) γίνεται για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας ΟΚ. Ανεξάρτητα από την Κατηγορία Επιπτώσεων του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος, η αποτίμηση του ενισχυμένου/ανασχεδιασμένου μνημείου/διατηρητέου δομήματος (οριστική μελέτη) γίνεται τόσο για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας ΣΒ όσο και για τη Στάθμη ΟΚ (στόχοι ενίσχυσης/ανασχεδιασμού)

Πίνακας 5.3.2-1 Στάθμες Επιτελεστικότητας

Πίνακας 1: Στάθμες Επιτελεστικότητας

Βλάβες κατά EMS-98*	Επίπεδο βλάβης (EB) κατά EMS-98*	Στάθμες Επιτελεστικότητας κατά ΕΚ8		Επισκεψιμότητα/Χρήση Επίπτωση στην ανθρώπινη ζωή	Φέρουσα Ικανότητα Κατασκευής		Αρχιτεκτονική και Ιστορική Αξία
		Φέροντα Στοιχεία	Μη- φέροντα στοιχεία		Φέροντα Στοιχεία	Μη- φέροντα στοιχεία	
	EB1: Χωρίς εμφανείς βλάβες	ΑΧ	αχ	Λειτουργικό, επισκέψιμο και ασφαλές δόμημα	Χωρίς βλάβες	Χωρίς βλάβες	Αναλλοίωτη
	EB2: Ελαφριές βλάβες	ΠΒ	πβ	Λειτουργικό, επισκέψιμο και ασφαλές δόμημα	Ελαφριές βλάβες Η στατική επάρκεια του δομήματος δεν επηρεάζεται	Πολύ περιορισμένες βλάβες	Χωρίς ή μικρή επίδραση
	EB3: Σημαντικές βλάβες Το δόμημα δεν κινδυνεύει με κατάρρευση	ΣΒ	σβ	Κατά τη διάρκεια του σεισμού υπάρχει μικρή πιθανότητα σοβαρού τραυματισμών επισκεπτών-χρηστών Μη λειτουργικό, μη επισκέψιμο μη ασφαλές δόμημα σε επερχόμενο σεισμό	Εμφάνιση επισκευάσιμων βλαβών. Η φέρουσα ικανότητα του δομήματος δεν έχει εξαντληθεί πλήρως. Δεν υπάρχει κίνδυνος απώλειας στατικής ευστάθειας (κατάρρευση)	Αναμένονται βλάβες ή και μερικές πτώσεις	Σημαντική Απώλεια
	EB4: Βαριές μη επιδιορθώσιμες βλάβες, Οριακή μη κατάρρευση	ΟΚ	οκ	Κατά τη διάρκεια του σεισμού υπάρχει μεγάλη πιθανότητα σοβαρού τραυματισμών επισκεπτών-χρηστών Απαγορευτική χρήση- Μη επισκέψιμο Κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή	Σημαντικές, εκτεταμένες μη επισκευάσιμες βλάβες. Σημαντική μείωση φέρουσας ικανότητας του δομήματος σε οριζόντιες καταπονήσεις. Οριακά το δόμημα φέρει τα κατακόρυφα φορτία του	Σημαντικές βλάβες και πτώσεις	Τεράστια Απώλεια
	EB5: Κατάρρευση- Ερείπια	Κ	κ	Απαγορευτική χρήση	Απώλεια ευστάθειας	Κατάρρευση	Ολοκληρωτική Απώλεια Ερείπια

EMS-98: European Macroseismic Scale 1998

Κεφαλαία: Στάθμες Επιτελεστικότητας Φερόντων Στοιχείων, πεζά: Στάθμες επιτελεστικότητας μη φερόντων στοιχείων

ΑΧ, αχ: Άμεση Χρήση

ΠΒ, πβ: Περιορισμένες βλάβες

ΣΒ, σβ: Σημαντικές βλάβες

ΟΚ, οκ: Ολοκλήρωση Κατάρρευση

Κ, κ: Κατάρρευση

Ανά περίπτωση, η Πολιτεία σε συνεννόηση με τον ιδιοκτήτη, δύναται να ορίζει διαφορετικές ΣΕ για την υφιστάμενη κατάσταση και διαφορετικές ΣΕ για την ενίσχυση/ανασχεδιασμό του υπό εξέταση μνημείου/ διατηρητέου δομήματος, λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικό-οικονομικά κριτήρια, ενώ η ΚΕ και η Επισκεψιμότητα/Χρήση ενός μνημείου/διατηρητέου δομήματος μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τα αποτελέσματα της προμελέτης και της οριστικής μελέτης για τη ΣΕ ΟΚ. Επιπλέον, αλλαγή στη Επισκεψιμότητα/Χρήση μπορεί να προταθεί από την Πολιτεία όταν δεν ικανοποιούνται οι στόχοι ανασχεδιασμού με τα προτεινόμενα μέτρα επεμβάσεων (π.χ. Ικανοποίηση μόνο Στάθμης Επιτελεστικότητας ΣΒ και όχι ΟΚ).

Πίνακας 5.3.3-2: Κατηγορία Επιπτώσεων Μνημείων/Διατηρητέων Δομημάτων

Κατηγορία Επιπτώσεων Μνημείων/Διατηρητέων Δομημάτων	Ενδεικτικός Χαρακτηρισμός	
	Απώλεια ζωής ή τραυματισμός	Ιστορική - Αρχιτεκτονική - Μνημειακή Αξία
ΚΕ3-b: Υψηλότεατη επίπτωση	Υψηλή	Τεράστια
ΚΕ3-a: Υψηλή επίπτωση	Υψηλή	Πολύ μεγάλη
ΚΕ2: Κανονική επίπτωση	Μέση	Σημαντική
ΚΕ1: Χαμηλή επίπτωση	Χαμηλή	Μικρή

Πίνακας 5.3.2-3: Κατηγορίες Επιπτώσεων Μνημείων/ Διατηρητέων Δομημάτων ανάλογα με την Επισκεψιμότητα/Χρήση

Επισκεψιμότητα /Χρήση	Κατηγορίες Επιπτώσεων Μνημείων/ Διατηρητέων Δομημάτων		
	ΚΕ2	ΚΕ3-a	ΚΕ3-b
E1	Κατοικίες σε Ιστορικούς Οικισμούς	Μνημεία που χρησιμοποιούνται ως Μουσεία, Σχολεία, Χώροι συνάθροισης κοινού	Μνημεία με συνεχή λατρευτική χρήση ή επισκεψιμότητα
E2	Περιστασιακή Κατοίκηση ή κατά διαστήματα παρουσία ολιγομελών ομάδων Μουσεία επισκέψιμα υπό όρους	Μνημεία με περιστασιακή λατρευτική χρήση ή επισκεψιμότητα	
E3	Προσπέλαση μόνο σε υπηρεσιακό προσωπικό Ανοικτά Μνημεία		

Ανεξάρτητα
Επισκεψιμότητας

Μνημεία Εθνικής
Σημασίας (Σ2, Σ3)

Μνημεία Παγκόσμιας
Κληρονομιάς (Σ1)
Μνημεία τα οποία
χρησιμοποιούνται ως
εγκαταστάσεις
ζωτικής σημασίας π.χ.
νοσοκομεία,
πυροσβεστικοί
σταθμοί

Ε1: Μεγάλη- Συνεχής παρουσία κοινού, Ε2: Μέτρια - Περιστασιακή παρουσία κοινού, Ε3: Μικρή-Παρουσία μόνο υπηρεσιακού προσωπικού, επισκέπτες σε απόσταση

Σ1: Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς («Κορυφαία» Μνημεία), Σ2: Μνημεία Εθνικής Σημασίας («Μείζονος» Σημασίας), Σ3: Μνημεία Εθνικής Σημασίας «Τοπικού» ενδιαφέροντος*

Στην Κατηγορία CC1 μπορούν να ενταχθούν Μνημεία τα οποία χρησιμοποιούνται ως αποθηκευτικοί χώροι ή ελεύθερα ιστάμενοι τοίχοι περίφραξης.

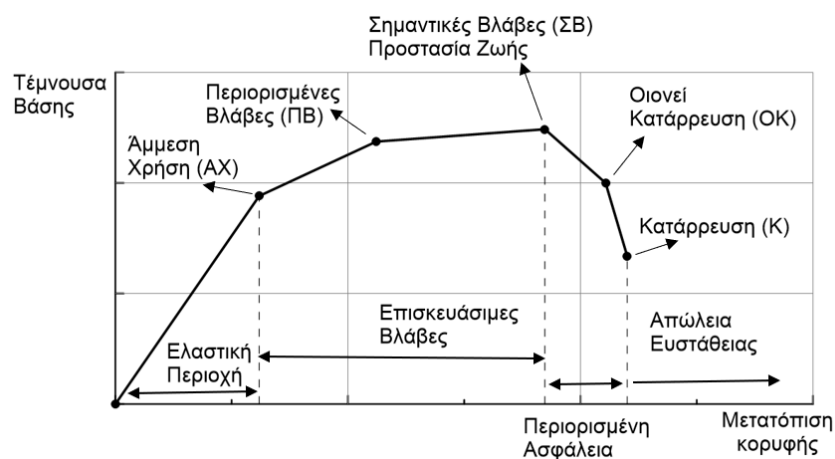
* Κατηγορίες σύμφωνα με τον Νέο Αρχαιολογικό Νόμο

Οι ΣΕ ορίζονται ξεχωριστά για τα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία, σε συνδυασμό με την ΚΕ (Πίνακας 5.3.2-4) (ΚΕi). Στον Πίνακα 5.3.2-4, ο δείκτης ΚΕi παίρνει τιμές 2, 3-a και 3-b και δηλώνει σεισμούς με περίοδο επαναφοράς 475, 600 και 900 χρόνια για τη Στάθμη ΣΒ και 1600, 2500 και 5000 χρόνια για τη Στάθμη ΟΚ (βλ. Σεισμικές δράσεις-Προμελέτη).

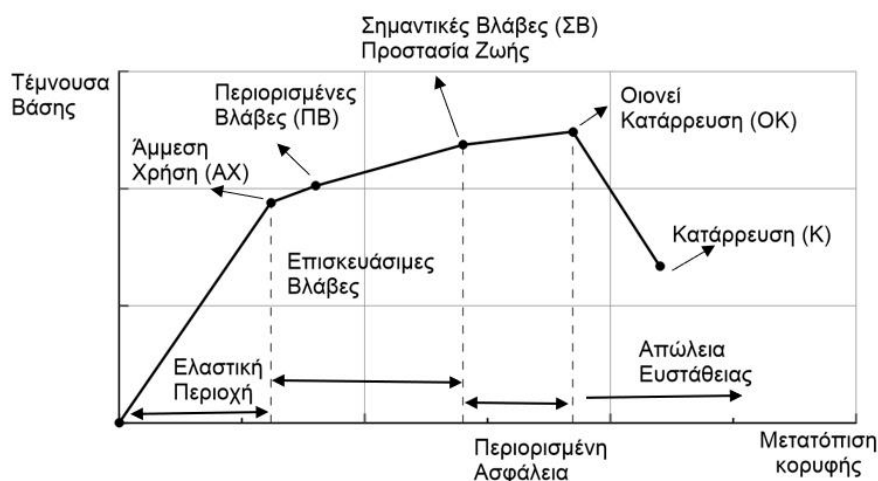
Πίνακας 5.3.2-4: Συνδυασμός επιτελεστικότητας για φέροντα και μη φέροντα στοιχεία

		Φέροντα Στοιχεία		
		ΑΧ	ΣΒ	ΟΚ
Στάθμες Επιτελεστικότητας				
Μη- φέροντα στοιχεία	ΑΧ	ΑΧ _{ΚΕi} -αχ _{ΚΕi}	ΣΒ _{ΚΕi} -αχ _{ΚΕi}	ΟΚ _{ΚΕi} -αχ _{ΚΕi}
	ΣΒ	ΑΧ _{ΚΕi} -σβ _{ΚΕi}	ΣΒ _{ΚΕi} -σβ _{ΚΕi}	ΟΚ _{ΚΕi} -σβ _{ΚΕi}
	ΟΚ	ΑΧ _{ΚΕi} -οκ _{ΚΕi}	ΣΒ _{ΚΕi} -οκ _{ΚΕi}	ΟΚ _{ΚΕi} -οκ _{ΚΕi}

Στόχος της ανάλυση κατά την προμελέτη είναι η καμπύλη ικανότητας του μνημείου/διατηρητέου δομήματος σε όρους Τέμνουσας Βάσης- μετατόπισης κορυφής (διατιθέμενη αντοχή σε όρους δύναμης-μετατόπισης). Λόγω της ψαθυρής φύσης της τοιχοποιίας, η ικανοποίηση των κριτηρίων κάθε ΣΕ γίνεται σε όρους δύναμης με την σύγκριση Απαιτήσης προς Διατιθέμενη Αντοχή ((Τέμνουσα Βάσης). Για ψαθυρά υλικά, οι ΣΕ μπορούν να ορίζονται στην Καμπύλη Ικανότητας όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.3.2-1α και 5.3.2-1β. Κατά την οριστική μελέτη, η καμπύλη Ικανότητας του επισκευασμένου /ενισχυμένου φορέα έχει αντίστοιχη μορφή με αυτών των Σχημάτων 5.3.2-1α και 5.3.2-1β, εκτός αν οι επεμβάσεις οδηγήσουν το υπό εξέταση μνημείο/ διατηρητέο δόμημα σε πλάστιμη συμπεριφορά.



α)



β)

Σχήμα 5.3.2-1. Καμπύλη Ικανότητας ψαθυρής συμπεριφοράς - Σημεία Επιτελεστικότητας

5.4 Προμελέτη

5.4.1 Ανάλυση και αξιολόγηση της προκαταρκτικής μελέτης σκοπιμότητας

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 7 παρ. 1 η προμελέτη για κάθε κατηγορία μελέτης περιέχει ανάλυση και αξιολόγηση της προκαταρκτικής μελέτης σκοπιμότητας, αν υπάρχει, καθώς και των δεσμεύσεων στις οποίες ενδεχομένως υπόκειται η ανάπτυξη του προγράμματος, σύνοψη - έλεγχο - αξιολόγηση των δεδομένων που προκύπτουν από την εκτέλεση του προγράμματος μελετών και εργασιών τεκμηρίωσης, και προτάσεις για την συμπλήρωση του ως άνω προγράμματος στο επόμενο στάδιο της μελέτης, εφόσον απαιτείται. Εφόσον δεν υπάρχει προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας, στην προμελέτη περιλαμβάνεται η διατύπωση προγράμματος μελετών και εργασιών τεκμηρίωσης ανά κατηγορία μελέτης.

5.4.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση και τοπογραφική αποτύπωση

5.4.2.1 Στόχοι και απαιτήσεις γεωμετρικής τεκμηρίωσης και τοπογραφικής αποτύπωσης

Η γεωμετρική τεκμηρίωση και η τοπογραφική αποτύπωση μνημείων εξυπηρετούν τρεις θεμελιώδεις στόχους. Πρωταρχικός σκοπός αποτελεί η συστηματική κατανόηση της ιστορίας, των κατασκευαστικών φάσεων, της γεωμετρίας και της μορφολογίας του μνημείου. Παράλληλα, η τεκμηρίωση αποσκοπεί στον προσδιορισμό των απαιτήσεων που θα διέπουν τη διαγνωστική φάση της μελέτης, ενώ αποτελεί επίσης τη βάση για τη διατύπωση των τελικών προδιαγραφών της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Τα παράγωγα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης (δισδιάστατα ή τρισδιάστατα) αποτελούν το απαραίτητο υπόβαθρο όπου θα βασιστούν οι επόμενες μελέτες.

5.4.2.2 Ποιοτικός έλεγχος και επικύρωση

Το σύνολο των παραγόμενων δεδομένων και παραγώγων υπόκειται σε διαδικασία ποιοτικού ελέγχου και επικύρωσης. Ορίζονται σαφή κριτήρια αποδοχής δεδομένων, εφαρμόζεται έλεγχος πληρότητας της αποτύπωσης και ακολουθούνται τυποποιημένες διαδικασίες επικύρωσης των τελικών παραγώγων, ώστε να διασφαλίζεται η καταλληλότητά τους για τις προβλεπόμενες χρήσεις.

5.4.2.3 Εξειδικευμένες γεωμετρικές τεκμηριώσεις

Όταν οι απαιτήσεις της μελέτης το επιβάλλουν, εφαρμόζονται εξειδικευμένες μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης αυξημένης ακρίβειας. Στις μεθόδους αυτές περιλαμβάνονται η υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατη σάρωση laser, η φωτογραμμετρία υψηλής ανάλυσης, η υψηλής ακρίβεια αποτύπωση για την καταγραφή ρωγμών και γεωμετρικών αποκλίσεων, καθώς και ο συνδυασμός πολλαπλών μεθόδων και δεδομένων μέσω τεχνικών συγχώνευσης (data fusion), με σκοπό τη μέγιστη δυνατή πληρότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

5.4.2.4 Παραδοτέα γεωμετρικής τεκμηρίωσης στη φάση της προμελέτης

Κατά τη φάση της προμελέτης, η γεωμετρική τεκμηρίωση καταλήγει σε ένα ολοκληρωμένο σύνολο παραδοτέων αυξημένων απαιτήσεων σε σχέση με τα προβλεπόμενα για προγενέστερες φάσεις. Τα παραδοτέα αυτά περιλαμβάνουν υψηλής ακρίβειας νέφη σημείων, αναλυτικά γραμμικά σχέδια κατόψεων, τομών και όψεων, καθώς και ψηφιακά μοντέλα πληροφοριών κτηρίου ιστορικής κληρονομιάς (HBIM). Επιπλέον, απαιτείται η εκπόνηση χαρτών υλικών και παθολογίας τόσο σε δισδιάστατη όσο και σε τρισδιάστατη παρουσίαση, οι οποίοι αποτυπώνουν την υφιστάμενη κατάσταση του μνημείου με επαρκή χωρική πληρότητα και θεματική ανάλυση. Τέλος, συντάσσονται αναλυτικές αναφορές ακρίβειας και μεθοδολογίας, οι οποίες τεκμηριώνουν τις επιλογές που έγιναν κατά τη διαδικασία αποτύπωσης και πιστοποιούν την ποιότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Πίνακας 5.4.2-1 Στάδια και διαδικασίες γεωμετρικής τεκμηρίωσης και σχετικά πρότυπα

Στάδια και διαδικασίες Γ.Τ.	Standards / Πρότυπα
Αυτοψία - Προκαταρκτική έρευνα – Διαδικασίες πριν το πεδίο	
Εργασίες Πεδίου	
<u>Συλλογή πρωτογενών δεδομένων:</u> Ίδρυση δικτύου Γεωδαιτικές μετρήσεις Λήψη φωτογραμμετρικών εικόνων (επίγειες, ΣμηΕΑ) Τρισδιάστατες σαρώσεις (laser, structured light κ.τ.λ.)	• Theory of field procedures - ISO 17123-1:2018 • Terrestrial laser scanners - ISO 17123-9:2018 • Object and environmental representation for image-based rendering in VR/MAR – ISO/IEC 23488:2022 • Optics and optical instruments — Geodetic and surveying instruments — Vocabulary – ISO 9849:2017
Έλεγχος πληρότητας και επάρκειας πρωτογενών δεδομένων	
Εργασίες γραφείου (υπολογισμοί): Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων	• Spatial schema - ISO 19107:2019 • Temporal schema - ISO 19108:2002
<u>Τοπογραφικών – Γεωδαιτικών μετρήσεων:</u> Υπολογισμός τρισδιάστατων συντεταγμένων μεμονωμένων σημείων δικτύου (στάσεις, σημεία επίγειου ελέγχου, σημεία λεπτομερειών κ.τ.λ.) Δημιουργία Τοπογραφικού Διαγράμματος Δημιουργία 2D σχεδίων (βασικές κατόψεις, αποκλίσεις κ.α.) (προαιρετικό)	• Spatial referencing by coordinates – ISO 19111:2019 • Metadata - ISO 19115:2014 • Data quality - ISO 19157:2013
<u>Φωτογραμμετρικών εργασιών:</u> Φωτογραμμετρικοί υπολογισμοί Βαθμονόμηση μηχανών Προσανατολισμοί εικόνων Παραγωγή νεφών σημείων (από τις φωτογραμμετρικές λήψεις) Συνένωση γειτονικών νεφών Φιλτράρισμα/καθαρισμός/Απομάκρυνση θορύβου	• Spatial referencing by coordinates - ISO 19111 • Metadata - ISO 19115:2014 • Data quality - ISO 19157:2013 • Imagery and gridded data - ISO 19121:2000

2D επεξεργασία:

Δημιουργία Ψηφιακού μοντέλου επιφανείας
Καθορισμός επιπέδων προβολής και
μεγέθους εδαφοψηφίδας
Αλγόριθμος ορθοφωτογραφίας
Παραγωγή ορθοφωτογραφιών
Έλεγχος (πληρότητας, ακρίβειας, ανάλυσης
κ.τ.λ.)

- Schema for coverage geometry and functions - ISO 19123:2018
- Imagery and gridded data components – ISO 19124:2023

3D επεξεργασία:

Δημιουργία πλέγματος
Δημιουργία επιφάνειας
Απόδοσης υψούς (προαιρετικό)
3D μοντέλο
FEM – Τομές (οριζόντιες, κατακόρυφες
κ.τ.λ.)
Περιγραφή επιφάνειας - Έλεγχος και
διόρθωση σφαλμάτων

- Schema for coverage geometry and functions - ISO 19123:2018
 - Imagery, gridded and coverage data framework - ISO 19129:2009
-

5.4.2.5 Ανάλυση παραμορφώσεων και παθολογίας

Η ανάλυση παραμορφώσεων και παθολογίας αφορά στα ακόλουθα:

- Εντοπισμός γεωμετρικών αποκλίσεων
- Ανάλυση παραμορφώσεων
- Παρακολούθηση ρωγμών
- Καταγραφή φέροντος οργανισμού
- Συσχέτιση με δομική συμπεριφορά

Στη διαγνωστική μελέτη περιλαμβάνεται η ανάλυση πιθανών παραμορφώσεων και η αποτύπωση της παθολογίας του μνημείου. Με χρήση εξοπλισμού γεωμετρικής τεκμηρίωσης (υψηλής ακρίβειας laser scanning, φωτογραμμετρία υψηλής ανάλυσης ή/και συνδυασμός μεθόδων) ώστε η κλίμακα αποτύπωσης και απόδοσης των προϊόντων γεωμετρικής τεκμηρίωσης να καλύπτουν τις ελάχιστες προδιαγραφές, είναι εφικτός ο εντοπισμός αποκλίσεων (απόκλιση κατακόρυφου και άλλες γεωμετρικές αποκλίσεις) και η καταγραφή άλλων διαφοροποιήσεων της μορφολογίας του μνημείου (ρηγματώσεις, διαμπερείς ρωγμές, αποκολλήσεις δομικών υλικών και άλλα στοιχεία παθολογίας). Τα παραγόμενα προϊόντα σε συνδυασμό με την καταγραφή του φέροντα οργανισμού συσχετίζονται με λογισμικά δομοστατικής ανάλυσης και σχεδιασμού για τη μελέτη δομικής συμπεριφοράς.

5.4.2.6 Σημαιολογικός εμπλουτισμός μοντέλων

Ο σημαιολογικός εμπλουτισμός μοντέλων αφορά στα ακόλουθα

- Καταγραφή υλικών
- Χαρτογράφηση παθολογίας
- Σύνδεση με ιστορικά δεδομένα
- Μεταδεδομένα και τεκμηρίωση

Στα μοντέλα γεωμετρικής τεκμηρίωσης γίνεται ο σημασιολογικός εμπλουτισμός με την καταγραφή των δομικών υλικών και της φθοράς (από τη διαγνωστική μελέτη υλικών και φθοράς) σε δισδιάστατους χάρτες και τρισδιάστατα μοντέλα κτιριακών πληροφοριών. Στα προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης (όψεις και τομές) υλοποιείται η χαρτογράφηση της παθολογίας με δεδομένα από τη διαγνωστική μελέτη (αρχιτεκτονική, υλικών, δομοστατική). Γίνεται ο εμπλουτισμός με ιστορικά δεδομένα, στοιχεία που αφορούν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του μνημείου (συσχέτιση με τις κατασκευαστικές φάσεις) καθώς και με δεδομένα από την ιστορική τεκμηρίωση του μνημείου.

5.4.2.7 Παραδοτέα γεωμετρικής τεκμηρίωσης

Τα παραδοτέα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι τα ακόλουθα

- Υψηλής ακρίβειας νέφη σημείων
- Αναλυτικά σχέδια (κατόψεις, τομές, όψεις)
- Μοντέλα HBIM
- Χάρτες υλικών και παθολογίας (δισδιάστατη και τρισδιάστατη παρουσίαση)
- Αναφορές ακρίβειας και μεθοδολογίας

5.4.3 Αρχιτεκτονική προμελέτη

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 7 παρ. 2 η αρχιτεκτονική προμελέτη περιέχει:

- α) Τεχνική έκθεση που περιλαμβάνει τη βασική επίλυση των μορφολογικών, τεχνικών και λειτουργικών προβλημάτων του μνημείου, ήτοι διατύπωση και αιτιολόγηση πρότασης (ενδεχομένως και εναλλακτικών προτάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας αξιολόγησης και της δεοντολογίας των επεμβάσεων σε μνημεία) για την αρχιτεκτονική αποκατάσταση, όπως την προσθήκη νέου υλικού, τη διατήρηση των στοιχείων όλων των φάσεων του μνημείου ή την επιλογή μιας από τις ιστορικές φάσεις του και ενδεχομένως τμημάτων άλλων φάσεων, που θα αποκατασταθούν και αναδειχθούν με την προτεινόμενη επέμβαση και την εφαρμογή τυχόν νέας χρήσης στο μνημείο. Περιέχει, επίσης, γενική τεχνική περιγραφή και προσεγγιστικό προϋπολογισμό δαπάνης του μελετώμενου έργου.
- β) Σχέδια προτάσεων, τα οποία αποδίδουν γραφικώς τα αναφερόμενα στην έκθεση και στα οποία γίνεται σαφής αναφορά σε άλλες μελέτες που τυχόν χρησιμοποιήθηκαν. Στα σχέδια περιλαμβάνονται απαραίτητως γενικό τοπογραφικό σχέδιο με τους ισχύοντες όρους δόμησης και επιτρεπόμενες χρήσεις, κατόψεις, όψεις, απαραίτητες τομές, σχηματικά προοπτικά ή αξονομετρικά σχέδια, πρόπλασμα ή φωτορεαλιστική απεικόνιση, εφόσον αυτό κρίνεται σκόπιμο, προκειμένου να καταστεί κατανοητή η προτεινόμενη λύση. Ο ακριβής προσδιορισμός των κλιμάκων των σχεδίων εξαρτάται από την έκταση και τη φύση του υπό μελέτη έργου.

5.4.3.1 Διαμόρφωση και Τεκμηρίωση της Αρχιτεκτονικής Πρότασης

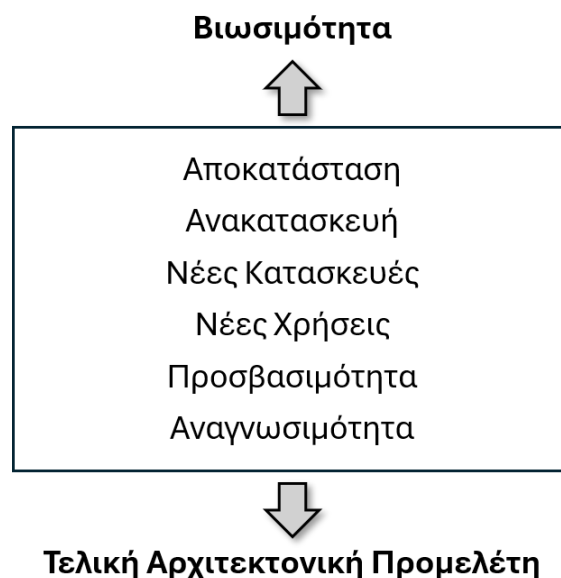
Η αρχιτεκτονική προμελέτη αποσκοπεί στη διαμόρφωση και τεκμηρίωση της βασικής πρότασης προστασίας, διατήρησης, αποκατάστασης, ανάδειξης ή προσαρμογής του μνημείου σε νέα χρήση, βάσει των συμπερασμάτων της τεκμηρίωσης και των απαιτήσεων του έργου.

Η αρχιτεκτονική πρόταση διαμορφώνεται με γνώμονα τη διατήρηση των χαρακτηριστικών στοιχείων και των αξιών του μνημείου και λαμβάνει υπόψη την υφιστάμενη κατάσταση διατήρησής του, τις λειτουργικές απαιτήσεις, τις ανάγκες προσβασιμότητας, τις απαιτήσεις ασφάλειας και τις παραμέτρους του περιβάλλοντος χώρου.

Η αρχιτεκτονική πρόταση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη διατύπωση της γενικής στρατηγικής επέμβασης υπό το πρίσμα της βιωσιμότητας το έργου,
- β) την τεκμηρίωση των προτεινόμενων επεμβάσεων διατήρησης, αποκατάστασης, αναστήλωσης, ανακατασκευής ή ανάδειξης,
- γ) τη διερεύνηση της διατήρησης, απομάκρυνσης ή τροποποίησης μεταγενέστερων επεμβάσεων,
- δ) τη διερεύνηση της ένταξης νέων λειτουργιών ή χρήσεων,
- ε) τη διερεύνηση της ανάγκης νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων,
- στ) τη διαμόρφωση των βασικών αρχών οργάνωσης του περιβάλλοντος χώρου,
- ζ) την προκαταρκτική ενσωμάτωση των απαιτήσεων προσβασιμότητας και εξυπηρέτησης των χρηστών.

Η αρχιτεκτονική πρόταση τεκμηριώνεται με τεχνική έκθεση και τα απαραίτητα σχέδια, σε κατάλληλη κλίμακα, ώστε να καθίσταται σαφής η φιλοσοφία και το περιεχόμενο των προτεινόμενων επεμβάσεων.



Εικόνα 5.4.3-1 Πλαίσιο αξιολόγησης των βασικών αρχιτεκτονικών επιλογών.

5.4.3.2 Καθορισμός Αρχών και Στόχων Επέμβασης

Ο καθορισμός των αρχών και στόχων επέμβασης αποσκοπεί στη σύνθεση των συμπερασμάτων της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης και της αρχιτεκτονικής προμελέτης και στη διαμόρφωση του πλαισίου που θα διέπει την εκπόνηση της οριστικής μελέτης.

Οι αρχές επέμβασης προκύπτουν από τη συνεκτίμηση των αξιών και των χαρακτηριστικών στοιχείων του μνημείου, της κατάστασης διατήρησής του, των λειτουργικών απαιτήσεων του έργου και των αναγκών προστασίας και ανάδειξής του.

Ο καθορισμός των αρχών επέμβασης περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τον προσδιορισμό των στοιχείων που διατηρούνται, προστατεύονται ή αναδεικνύονται,
- β) τον προσδιορισμό των στοιχείων που δύναται να απομακρυνθούν, να τροποποιηθούν ή να αντικατασταθούν, κατόπιν τεκμηρίωσης,
- γ) την αξιολόγηση της δυνατότητας αποκατάστασης προγενέστερων μορφών ή οικοδομικών φάσεων,
- δ) τη διερεύνηση της σκοπιμότητας και της δυνατότητας ανακατασκευής τμημάτων του μνημείου, με βάση τον βαθμό τεκμηρίωσής τους, τη συμβολή τους στην κατανόηση του μνημείου και τις αρχές της αυθεντικότητας και της αναγνωσιμότητας.
- ε) τον καθορισμό των βασικών αρχών για τυχόν νέες κατασκευές, προσθήκες ή συμπληρώσεις,
- στ) τον καθορισμό των βασικών αρχών οργάνωσης των χρήσεων και των λειτουργιών,
- ζ) τον καθορισμό των βασικών κατευθύνσεων για τις επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο.

Οι αρχές και οι στόχοι επέμβασης τεκμηριώνονται στην αρχιτεκτονική προμελέτη και αποτελούν τη βάση για την εκπόνηση της οριστικής μελέτης.

5.4.3.3 Αναγνωσιμότητα του μνημείου και των επεμβάσεων

Βασική αρχή των επεμβάσεων αποκατάστασης αποτελεί η διατήρηση της αναγνωσιμότητας του μνημείου και της ιστορικής του εξέλιξης.

Η αρχιτεκτονική μελέτη οφείλει να διασφαλίζει ότι οι διαδοχικές ιστορικές φάσεις, τα αυθεντικά στοιχεία και οι σύγχρονες επεμβάσεις μπορούν να αναγνωρίζονται και να ερμηνεύονται χωρίς να προκαλείται σύγχυση ως προς τη χρονολόγηση, τη λειτουργία ή την ιστορική προέλευσή τους.

Για τον σκοπό αυτό αξιολογούνται:

- ο βαθμός διατήρησης των αυθεντικών μορφολογικών και κατασκευαστικών στοιχείων,
- η αναγνωρισιμότητα των διαδοχικών οικοδομικών φάσεων,
- η σαφής διάκριση μεταξύ αυθεντικών και νέων στοιχείων,
- η συμβατότητα των νέων επεμβάσεων ως προς την κλίμακα, τη μορφή, τα υλικά και την κατασκευαστική λογική,
- η δυνατότητα τεκμηρίωσης και ερμηνείας των επεμβάσεων από μελλοντικούς μελετητές και χρήστες.

Οι νέες προσθήκες και επεμβάσεις πρέπει να εντάσσονται αρμονικά στο μνημείο χωρίς να αλλοιώνουν τον χαρακτήρα του, παραμένοντας ταυτόχρονα αναγνωρίσιμες ως σύγχρονες επεμβάσεις. Η τεκμηρίωση της αναγνωσιμότητας αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της αιτιολόγησης των αρχιτεκτονικών επιλογών.

5.4.3.4 Ανακατασκευή Ιστορικών Τμημάτων και Στοιχείων

Η διερεύνηση της δυνατότητας ανακατασκευής ή επανασύνθεσης ιστορικών στοιχείων αποσκοπεί στην αποκατάσταση της αναγνωσιμότητας, της λειτουργικής ή μορφολογικής συνοχής και της κατανόησης του μνημείου, χωρίς να θίγονται η αυθεντικότητα, η ακεραιότητα και η ιστορική αξιοπιστία του.

Η ανακατασκευή εξετάζεται μόνο όταν τεκμηριώνεται επαρκώς η αρχική μορφή, η θέση, η γεωμετρία, η κατασκευή και η ιστορική τεκμηρίωση των προς ανακατασκευή στοιχείων και όταν συμβάλλει ουσιαστικά στην προστασία, την ανάδειξη ή τη λειτουργική αποκατάσταση του μνημείου.

Η διερεύνηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την αξιολόγηση του βαθμού ιστορικής, αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής και κατασκευαστικής τεκμηρίωσης των προς ανακατασκευή στοιχείων,
- β) τη διερεύνηση της αναγκαιότητας και της συμβολής της ανακατασκευής στην προστασία, κατανόηση, ανάδειξη ή λειτουργική αποκατάσταση του μνημείου,
- γ) την αξιολόγηση της συμβατότητας της ανακατασκευής με τις αρχές της αυθεντικότητας, της ακεραιότητας και της αναγνωσιμότητας του μνημείου,
- δ) τη διερεύνηση της δυνατότητας σαφούς διάκρισης μεταξύ αυθεντικών, ανακατασκευασμένων και νέων στοιχείων,
- ε) την αξιολόγηση της συμβατότητας των προτεινόμενων μορφών, υλικών και κατασκευαστικών τεχνικών με τα χαρακτηριστικά του μνημείου,
- στ) την αξιολόγηση των επιπτώσεων της ανακατασκευής στη μορφή, την ιστορική εξέλιξη και την ερμηνεία του μνημείου.

Η ανακατασκευή δεν βασίζεται σε υποθετικές ή εικαστικές αποκαταστάσεις χωρίς επαρκή επιστημονική τεκμηρίωση. Κάθε πρόταση ανακατασκευής οφείλει να στηρίζεται σε αξιόπιστα ιστορικά, αρχαιολογικά, αρχιτεκτονικά ή κατασκευαστικά δεδομένα και να αιτιολογείται ως προς τη συμβολή της στην προστασία, κατανόηση και ανάδειξη του μνημείου.

Η τεκμηρίωση της ανακατασκευής ενσωματώνεται στην αρχιτεκτονική προμελέτη και εξειδικεύεται στα επόμενα στάδια της μελέτης.

5.4.3.5 Διερεύνηση Εναλλακτικών Λύσεων και Τεκμηρίωση Επιλογής

Η αρχιτεκτονική προμελέτη δύναται να περιλαμβάνει τη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων ή προσεγγίσεων αποκατάστασης, ιδίως σε περιπτώσεις κατά τις οποίες απαιτείται η αξιολόγηση διαφορετικών δυνατοτήτων προστασίας, αποκατάστασης, ανάδειξης ή επανάχρησης του μνημείου.

Η διερεύνηση των εναλλακτικών λύσεων αποσκοπεί στην τεκμηριωμένη αξιολόγηση των πιθανών επιλογών και στη διαμόρφωση της προτεινόμενης λύσης, λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα της τεκμηρίωσης, τις αξίες και τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου, τις ανάγκες προστασίας του, καθώς και τις λειτουργικές, τεχνικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους του έργου.

Κατά τη διερεύνηση των εναλλακτικών λύσεων εξετάζονται, κατά περίπτωση:

- α) διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς τη διατήρηση, αποκατάσταση ή ανάδειξη επιμέρους οικοδομικών φάσεων,
- β) διαφορετικές δυνατότητες ένταξης νέων χρήσεων ή λειτουργιών,
- γ) εναλλακτικές λύσεις για την οργάνωση των απαιτούμενων νέων κατασκευών ή προσθηκών,
- δ) διαφορετικές προσεγγίσεις διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου,
- ε) εναλλακτικές λύσεις για την ενσωμάτωση των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, μέτρων προσβασιμότητας ή στοιχείων εξυπηρέτησης των χρηστών.

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων τεκμηριώνεται σε τεχνική έκθεση, στην οποία παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε λύσης, τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της, καθώς και η αιτιολόγηση της επιλογής της προτεινόμενης λύσης. Η τεκμηρίωση της επιλεγείσας λύσης αποτελεί στοιχείο της αρχιτεκτονικής προμελέτης και λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαδικασία γνωμοδότησης και έγκρισης του έργου.

5.4.3.6 Συμβατότητα Χρήσεων και Λειτουργική Οργάνωση

Η διερεύνηση της συμβατότητας των χρήσεων και της λειτουργικής οργάνωσης αποσκοπεί στην αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ των απαιτήσεων της υφιστάμενης ή προτεινόμενης χρήσης και των χαρακτηριστικών του μνημείου, με στόχο τη διασφάλιση της προστασίας των αξιών του και της βιώσιμης λειτουργίας του.

Η διερεύνηση βασίζεται στα συμπεράσματα της ιστορικής, αρχιτεκτονικής και κατασκευαστικής τεκμηρίωσης, στις ανάγκες λειτουργίας του έργου και στις απαιτήσεις που απορρέουν από το θεσμικό πλαίσιο προστασίας του μνημείου.

Η διερεύνηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την καταγραφή της υφιστάμενης ή προτεινόμενης χρήσης και των λειτουργικών απαιτήσεών της,
- β) την αξιολόγηση της συμβατότητας της χρήσης με τον χαρακτήρα, την τυπολογία, τη μορφή και τις δυνατότητες του μνημείου,
- γ) τη διερεύνηση των απαιτούμενων επεμβάσεων για την υποστήριξη της χρήσης και την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στα χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου, στην αυθεντικότητα, την αναγνωσιμότητα και την ιστορική φυσιογνωμία του μνημείου, και ιδίως στη φέρουσα κατασκευή και στα ιστορικά δομικά στοιχεία,
- δ) την οργάνωση των λειτουργικών ενοτήτων, των κινήσεων χρηστών και των απαιτούμενων υποστηρικτικών χώρων, συμπεριλαμβανομένων των απαιτούμενων ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και δικτύων.
- ε) τη διερεύνηση των απαιτήσεων προσβασιμότητας, ασφάλειας, εξυπηρέτησης κοινού και λειτουργικής υποστήριξης,
- στ) τη διερεύνηση της δυνατότητας μελλοντικών προσαρμογών χωρίς ουσιώδη αλλοίωση των χαρακτηριστικών του μνημείου.

Η επιλογή νέας χρήσης σε μνημείο τεκμηριώνεται, κατά περίπτωση, μέσω συγκριτικής αξιολόγησης εναλλακτικών λειτουργικών σεναρίων. Η αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη ιδίως τη

συμβατότητα της χρήσης με τον χαρακτήρα, τα χαρακτηριστικά και τις αξίες του μνημείου, την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων επεμβάσεων και των επιπτώσεών τους, καθώς και τη συμβολή της προτεινόμενης χρήσης στη μακροχρόνια προστασία, τη βιωσιμότητα και τη λειτουργική ένταξη του μνημείου στο σύγχρονο κοινωνικό και πολεοδομικό περιβάλλον. Τα συμπεράσματα της διερεύνησης τεκμηριώνονται στην αρχιτεκτονική προμελέτη και λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαμόρφωση της προτεινόμενης λύσης και των επιμέρους επεμβάσεων.

5.4.3.7 Ένταξη Νέων Κατασκευών, Προσθηκών και Συμπληρώσεων

Η διερεύνηση της ένταξης νέων κατασκευών, προσθηκών και συμπληρώσεων αποσκοπεί στην κάλυψη λειτουργικών, τεχνικών ή άλλων αναγκών του έργου, κατά τρόπο συμβατό με τον χαρακτήρα, τις αξίες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μνημείου.

Η διερεύνηση βασίζεται στα συμπεράσματα της τεκμηρίωσης, της αξιολόγησης των αξιών του μνημείου και των αρχών επέμβασης και λαμβάνει υπόψη τη μορφολογία, την κλίμακα, τη χωρική οργάνωση και τη φυσιογνωμία του μνημείου και του περιβάλλοντός του.

Η διερεύνηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την τεκμηρίωση της αναγκαιότητας των προτεινόμενων νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων,
- β) την αξιολόγηση της θέσης, του μεγέθους, της μορφής και της χωρικής οργάνωσής τους σε σχέση με το μνημείο,
- γ) τη διερεύνηση της επίδρασής τους στην αναγνωσιμότητα, την αυθεντικότητα και την κατανόηση του μνημείου,
- δ) την αξιολόγηση της συμβατότητάς τους με τα μορφολογικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του μνημείου,
- ε) τη διερεύνηση της δυνατότητας διακριτής αναγνώρισης των νέων στοιχείων από τα ιστορικά τμήματα του μνημείου,
- στ) τη διερεύνηση της δυνατότητας μελλοντικής αφαίρεσης ή τροποποίησής τους χωρίς ουσιώδη βλάβη των ιστορικών δομών.

Η τεκμηρίωση των νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων περιλαμβάνεται στην αρχιτεκτονική προμελέτη και εξειδικεύεται στα επόμενα στάδια της μελέτης.

5.4.3.8 Ενσωμάτωση Απαιτήσεων Προσβασιμότητας

Η διερεύνηση των απαιτήσεων προσβασιμότητας αποσκοπεί στη διασφάλιση της κατά το δυνατόν ισότιμης πρόσβασης και χρήσης του μνημείου, σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και τις απαιτήσεις προστασίας του.

Η διερεύνηση βασίζεται στα συμπεράσματα της τεκμηρίωσης, στη λειτουργική οργάνωση του έργου και στις ισχύουσες διατάξεις περί προσβασιμότητας, λαμβάνοντας υπόψη τον χαρακτήρα, τη μορφή, την κατασκευαστική δομή και τους περιορισμούς που απορρέουν από την προστασία του μνημείου.

Η διερεύνηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την καταγραφή των απαιτήσεων προσβασιμότητας που σχετίζονται με τη χρήση του μνημείου,
- β) την αξιολόγηση των δυνατοτήτων πρόσβασης και κίνησης στους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους,
- γ) τη διερεύνηση των απαιτούμενων διαμορφώσεων ή εγκαταστάσεων για την εξυπηρέτηση ατόμων με αναπηρία και εμποδιζόμενων ατόμων,
- δ) την αξιολόγηση των επιπτώσεων των προτεινόμενων μέτρων στα χαρακτηριστικά στοιχεία και στις αξίες του μνημείου,
- ε) τη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η πλήρης εφαρμογή των απαιτήσεων προσβασιμότητας δεν είναι συμβατή με την προστασία του μνημείου,
- στ) την τεκμηρίωση της επιλεγείσας λύσης και των κριτηρίων που οδήγησαν στην επιλογή της.

Τα συμπεράσματα της διερεύνησης ενσωματώνονται στην αρχιτεκτονική προμελέτη και εξειδικεύονται στα επόμενα στάδια της μελέτης.

5.4.3.9 Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας της Προτεινόμενης Λύσης

Η αξιολόγηση της βιωσιμότητας της προτεινόμενης λύσης αποσκοπεί στη διασφάλιση ότι οι προτεινόμενες επεμβάσεις συμβάλλουν στη μακροχρόνια προστασία, διατήρηση, λειτουργία και διαχείριση του μνημείου, σύμφωνα με τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης και της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η αξιολόγηση βασίζεται στα συμπεράσματα της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης, στις αρχές επέμβασης, στη λειτουργική οργάνωση του έργου και στις απαιτήσεις διατήρησης του μνημείου, λαμβάνοντας υπόψη τον αναμενόμενο κύκλο ζωής των επεμβάσεων, τις ανάγκες συντήρησης και τις μελλοντικές απαιτήσεις προσαρμογής.

Η αξιολόγηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την εκτίμηση της συμβολής της προτεινόμενης λύσης στη μακροχρόνια διατήρηση των χαρακτηριστικών στοιχείων και των αξιών του μνημείου,
- β) την αξιολόγηση της λειτουργικής βιωσιμότητας της προτεινόμενης χρήσης και της δυνατότητας προσαρμογής της σε μελλοντικές ανάγκες χωρίς ουσιώδη αλλοίωση του μνημείου,
- γ) την εκτίμηση των απαιτήσεων λειτουργίας, συντήρησης και διαχείρισης του μνημείου μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων,
- δ) την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας της προτεινόμενης λύσης έναντι φυσικών και ανθρωπογενών κινδύνων, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, όπου απαιτείται,
- ε) την αξιολόγηση της συμβατότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων με τις αρχές της αποδοτικής χρήσης πόρων, της κυκλικής οικονομίας και της ελαχιστοποίησης των μη αναστρέψιμων επεμβάσεων,
- στ) την εκτίμηση της συνολικής δυνατότητας του μνημείου να διατηρήσει τη λειτουργική, ιστορική και πολιτιστική του αξία κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Η αξιολόγηση της βιωσιμότητας τεκμηριώνεται στην αρχιτεκτονική προμελέτη και λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή της προτεινόμενης λύσης, ώστε να διασφαλίζεται η ισόρροπη αντιμετώπιση των απαιτήσεων προστασίας, λειτουργίας, ανθεκτικότητας και διαχείρισης του μνημείου.

5.4.4 Προμελέτη φέρουσας ικανότητας κατασκευής (στατική μελέτη)

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 7 παρ. 3 η προμελέτη φέρουσας ικανότητας κατασκευής (στατική μελέτη) περιέχει:

- α) Τεχνική έκθεση που περιλαμβάνει αποτίμηση και έλεγχο του υφισταμένου μνημείου ή διατηρητέου κτηρίου και γενική περιγραφή των προτεινόμενων επεμβάσεων επί της φέρουσας κατασκευής. Συντάσσεται τόσο για υφιστάμενα δομήματα χωρίς εμφανείς βλάβες ή φθορές, για τα οποία ενδέχεται να απαιτηθεί αντισεισμικός ανασχεδιασμός τους, όσο και για εκείνα που έχουν υποστεί βλάβες. Περιλαμβάνει τη μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς και αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας, η οποία εμπεριέχει την (μέσω απλών ή προηγμένων υπολογιστικών προσομοιωμάτων του συνόλου του μνημείου καθώς και τμημάτων του, για την διαπίστωση τοπικών μηχανισμών αστοχίας) επαλήθευση και διάγνωση των αιτίων των βλαβών του μνημείου, τον έλεγχο και την υπολογιστική τεκμηρίωση των ασθενών δομικών χαρακτηριστικών του, την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του στην υφιστάμενη κατάσταση και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων των αναλύσεων (υπό μορφή εντατικών μεγεθών και μετακινήσεων), καθώς και των αποτελεσμάτων των ελέγχων ανά δομικό στοιχείο ή ανά περιοχή του μνημείου, ώστε να συσχετίζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων με τις βασικές παρατηρούμενες βλάβες. Συμπεριλαμβάνονται τεύχη υπολογισμών και ελέγχων, γενική τεχνική περιγραφή των προτεινόμενων επεμβάσεων επί της φέρουσας κατασκευής, προτάσεις και προδιαγραφές υλικών επεμβάσεων επί της φέρουσας κατασκευής, καθώς και προσεγγιστικός προϋπολογισμός δαπάνης του μελετώμενου έργου.*
- β) Σχέδια προτάσεων, τα οποία αποδίδουν γραφικώς τα αναφερόμενα στην έκθεση και στα οποία γίνεται σαφής αναφορά σε άλλες μελέτες που τυχόν χρησιμοποιήθηκαν. Στα σχέδια περιλαμβάνονται κατόψεις, όψεις και τομές φέρουσας κατασκευής, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τυχόν φθορές ή βλάβες, καθώς και σχέδια προτεινόμενων επεμβάσεων. Ο ακριβής προσδιορισμός των κλιμάκων των σχεδίων εξαρτάται από την έκταση και τη φύση του υπό μελέτη έργου.*

Η προμελέτη φέρουσας ικανότητας κατασκευής (στατική μελέτη) έχει ως σκοπό την αποτίμηση του μνημείου/ διατηρητέου δομήματος στην υφιστάμενη κατάστασή του (με ή χωρίς βλάβες) και την πρόταση μέτρων επέμβασης. Η αποτίμηση γίνεται για τη ΣΕ ΟΚ. Στην περίπτωση μη ύπαρξης βλαβών, η αποτίμηση θα γίνει με χρήση αριθμητικού προσομοιώματος, ενώ στην περίπτωση όπου το κτίριο έχει υποστεί βλάβες κατά την διάρκεια ενός σεισμού, η αποτίμηση του μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλογα με τις εμφανιζόμενες βλάβες, χωρίς αριθμητικό προσομοίωμα. Για τα στοιχεία που δεν έχουν εμφανίσει βλάβες, η αντοχή μπορεί να εκτιμηθεί από την κρίσιμη αστοχία του μέλους (κάμψη, ολίσθηση αρμών, διαγώνια ρηγμάτωση).

Κατά τη φάση της προμελέτης για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του μνημείου/διατηρητέου δομήματος, ο έλεγχος μπορεί να γίνεται μόνο για δράσεις εντός

επιπέδου, υπό την προϋπόθεση ότι τα προτεινόμενα μέτρα επεμβάσεων θα εξασφαλίσουν την αποφυγή μερικής ή ολικής κατάρρευσης από δράσεις στην εκτός επιπέδου διεύθυνση.

Η μελέτη φέρουσας ικανότητας αξιοποιεί τα αποτελέσματα της τεκμηρίωσης- διαγνωστικής μελέτης. Ανάλογα με την πληρότητα και την ακρίβεια τους, σε συνδυασμό με τις παραδοχές της ανάλυσης, ο μηχανικός επιλέγει την κατάλληλη Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) ώστε να ληφθούν υπόψη οι αβεβαιότητες που προκύπτουν από i): τη σύνθετη γεωμετρία του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος, ii): την πολυπλοκότητα της δομής του φέροντος οργανισμού του και iii): τη δυσκολία προσδιορισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών του και της ψαθυρή φύσης της τοιχοποιίας. Σύμφωνα τον ΕΚ8-3:2025, η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (Knowledge Level) καθορίζεται από τον βαθμό διερεύνησης (περιορισμένη- Limited-L, εκτεταμένη- Extensive -E, πλήρης -Comprehensive -C) ως προς την γεωμετρική τεκμηρίωση (G), την κατασκευαστική ανάλυση (D) και την τεκμηρίωση των υλικών (M) και λαμβάνει τις τιμές 1, 2 και 3. Ανάλογα με τις τιμές αυτές, υπολογίζεται ο συντελεστής αξιοπιστίας δεδομένων γ_{RD} , ο οποίος διαφοροποιείται ανάλογα με τους ελέγχους ασφαλείας, τη μορφή αστοχίας (καμπτική ή διατμητική) και την εξεταζόμενη Στάθμη Επιτελεστικότητας. Οι υπολογισμοί των αντοχών πραγματοποιούνται για τις μέσες τιμές των υλικών. Σε περιπτώσεις μνημείων/διατηρητέων δομημάτων ΚΕ3-α ή ΚΕ3-β μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας. Αντίστοιχες διατάξεις για τη ΣΑΔ αναφέρονται και στον ΚΑΔΕΤ.

5.4.4.1 Δράσεις

Η αποτίμηση γίνεται για στατικές και σεισμικές δράσεις, για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας ΟΚ. Οι στατικές δράσεις περιλαμβάνουν το ίδιο βάρος του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος, τα μόνιμα και κινητά φορτία ανάλογα με τη χρήση του. Οι σεισμικές δράσεις για κάθε ΣΕ υπολογίζονται από τα σεισμολογικά στοιχεία στη θέση του μνημείου/διατηρητέου δομήματος σύμφωνα με το ισχύον κανονιστικό κείμενο (Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας), την Κατηγορία Εδάφους και την ΚΕ (Πίνακας 5.3.2-2). Η σεισμική δράση που ορίζεται στους κανονισμούς αναφέρεται σε βράχο, (Κατηγορία Εδάφους Α κατά ΕΚ8), σε ΚΕ2 και ΣΕ ΣΒ. Ο υπολογισμός της σεισμικής δράσης για διαφορετικές ΚΕ και ΣΕ, γίνεται με χρήση των συντελεστών επιτελεστικότητας γ_{RD} . Υιοθετούνται οι τιμές γ_{RD} όπως προτείνονται από το κανονιστικό κείμενο του ΕΚ8-1-1 και τροποποιούνται από το αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Στον Πίνακα 5.4.4-1, δίνονται οι συντελεστές γ_{RD} , ενώ στους Πίνακες 5.4.4-2 και 5.4.4-3 δίνεται η αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης και περίοδος επαναφοράς ανά ΣΕ και ΚΕ. Στις περιπτώσεις όπου κρίνεται απαραίτητο, πραγματοποιείται Πιθανολογική Ανάλυση Σεισμικού Κινδύνου για τον προσδιορισμό της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (ή των φασματικών επιταχύνσεων S_a , S_b) ανά εξεταζόμενη ΣΕ, ή Αιτιοκρατική Ανάλυση Σεισμικού Κινδύνου όταν το σεισμοτεκτονικό περιβάλλον στην περιοχή του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος είναι γνωστό. Στη δεύτερη περίπτωση, η ΣΕ ΟΚ αντιστοιχεί στα αποτελέσματα της Αιτιοκρατικής μεθόδου λαμβάνοντας υπόψη μέση τιμή συν μία τυπική απόκλιση ($\mu+1\sigma$), ενώ η ΣΕ ΣΒ αντιστοιχεί στα 2/3 των αποτελεσμάτων της ΣΕ ΟΚ.

Πίνακας 5.4.4-1: Συντελεστής επιτελεστικότητας γ_{RD}

Στάθμη Επιτελεστικότητας	ΚΕ1	ΚΕ2	ΚΕ -a	ΚΕ 3-b
ΟΚ	1,00	1,50	1,75	2,20
ΣΒ	0,8	1,00	1,10	1,25
ΠΒ	0,60	0,60	0,65	0,65
ΑΧ	0,40	0,50	0,50	0,60

Πίνακας 5.4.4-2: Πιθανότητα υπέρβασης για διάρκεια ζωής 50 χρόνια

Στάθμη Επιτελεστικότητας	ΚΕ1	ΚΕ2	ΚΕ -a	ΚΕ 3-b
ΟΚ	8,00	3,08	1,98	1,00
ΣΒ	16,62	9,99	8,00	5,40
ΠΒ	39,35	35,26	32,97	30,03
ΑΧ	63,21	56,54	56,54	39,35

Πίνακας 5.4.4-3: Περίοδος Επαναφοράς T_{RP}

Στάθμη Επιτελεστικότητας	ΚΕ1	ΚΕ2	ΚΕ -a	ΚΕ 3-b
ΟΚ	600	1600	2500	5000
ΣΒ	275	475	600	900
ΠΒ	100	115	125	140
ΑΧ	50	60	60	100

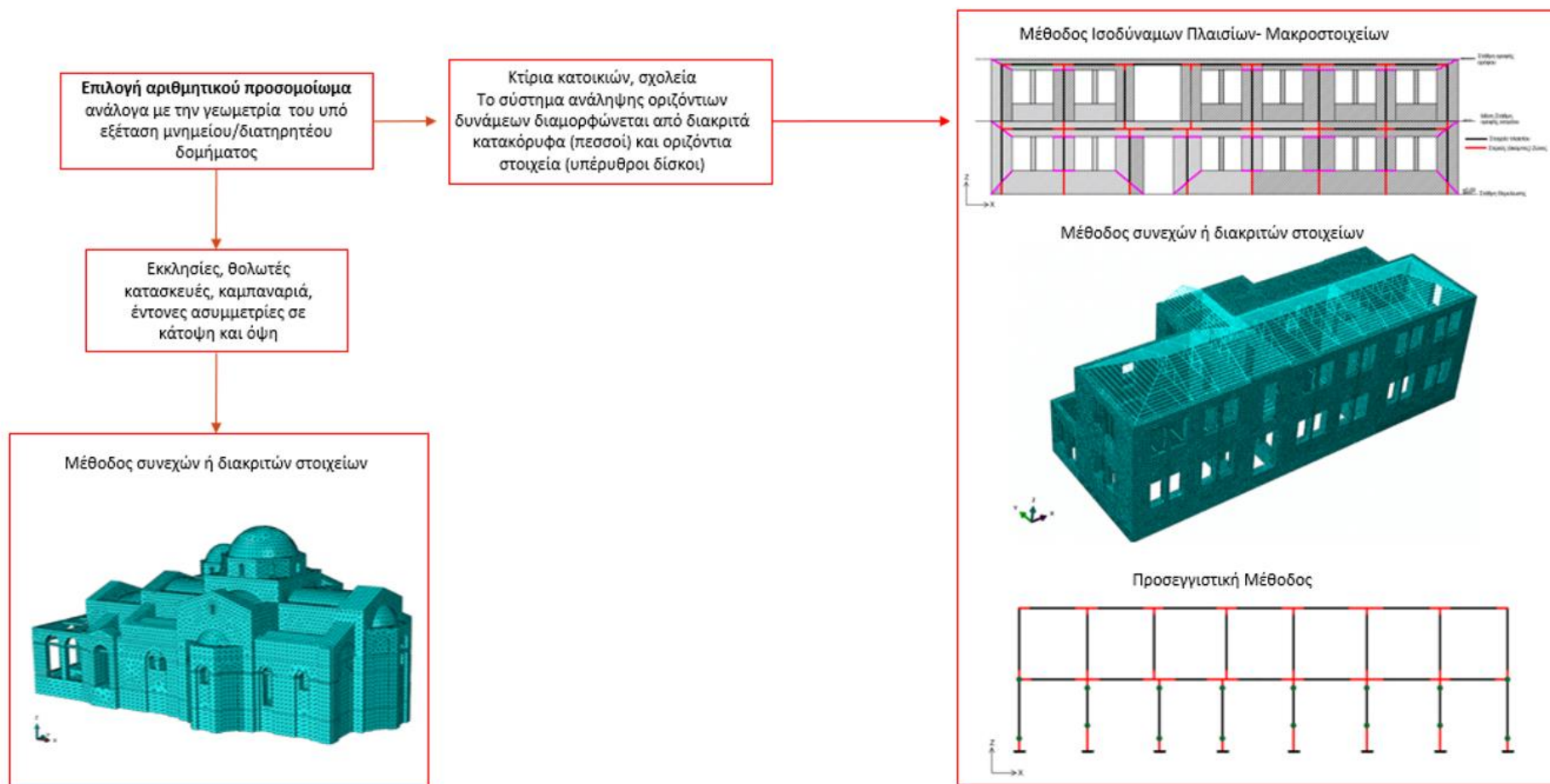
Συνδυασμός δράσεων: Η αποτίμηση γίνεται για τον γενικό συνδυασμό δράσεων $G+\psi_2 Q \pm EXY$ όπως ορίζεται στο ισχύον κανονιστικό κείμενο. Ο συντελεστής ψ_2 λαμβάνει τιμές ανάλογα με τη Επισκεψιμότητα/Χρήση. Τα φορτία χιονιού και ανέμου συνδυάζονται σύμφωνα με τις διατάξεις ΕΚ0.

5.4.4.2 Προσομοίωμα

Η μελέτη για την αποτίμηση του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος μπορεί να γίνεται μέσω προσεγγιστικών μεθόδων (SLAMA- Simple Lateral Mechanical Analysis), απλών (Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων-, Μέθοδος Μακροστοιχείων) ή προηγμένων αριθμητικών προσομοιωμάτων (χωρική προσομοίωση με συνεχή, διακριτά ή εφαρμοσμένα πεπερασμένα στοιχεία –Finite Elements, Discrete, Applied Finite Elements). Ο μελετητής επιλέγει αριθμητικό προσομοίωμα ανάλογα με τη γεωμετρία-πολυπλοκότητα και τη διάταξη των φερόντων στοιχείων του συστήματος ανάληψης οριζόντιων και κατακόρυφων δυνάμεων του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος (Σχήμα 5.4.4.-1).

Ενδεικτικά αναφέρεται, για τη μελέτη αποτίμησης μίας διατηρητέας κατοικίας ή ενός σχολείου, όπου το στατικό σύστημά τους διαμορφώνεται από πεσσούς και υπέρθυρων δίσκων (οριζόντιες ζώνες) σε διευθύνσεις περίπου κάθετες μεταξύ τους, με ή χωρίς διαφραγματική λειτουργία, επιλέγεται η μέθοδος των Ισοδύναμων Πλαισίων ή Μακροστοιχείων ενώ για τη μελέτη αποτίμησης ενός βυζαντινού ναού με τρούλο, θόλους και σταυροθόλια, επιλέγεται η μέθοδος των συνεχών, διακριτών ή εφαρμοσμένων πεπερασμένων στοιχείων. Το αριθμητικό

προσομοίωμα θα πρέπει να αναπαριστά με τη σχετική ακρίβεια τη γεωμετρία του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος, τον κατακόρυφο (τοιχοποιίες) και τον οριζόντιο φέροντα οργανισμό (στέγη, πατώματα) όπως αυτά προκύπτουν από την τοπογραφική, γεωμετρική και κατασκευαστική αποτύπωση του (βλ. 5.2.5). Γενικά, προτιμητέα είναι η χωρική προσομοίωση του συνόλου του μνημείου/διατηρητέου δομήματος, χωρίς να αποκλείεται η προσομοίωση τμήματος αυτού (π.χ. ανάλυση κάθε όψης σε δόμημα χωρίς διαφραγματική λειτουργία). Επιπλέον, το αριθμητικό προσομοίωμα του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος θα πρέπει να λαμβάνει τα ευρήματα της γεωτεχνικής μελέτης ως προς τον τρόπο θεμελίωσης και το βάθος αυτής (βλ. 5.2.8).



Σχήμα 5.4.4-1. Επιλογή αριθμητικού προσομοιώματος

5.4.4.3 Μηχανικά Χαρακτηριστικά Τοιχοποιίας

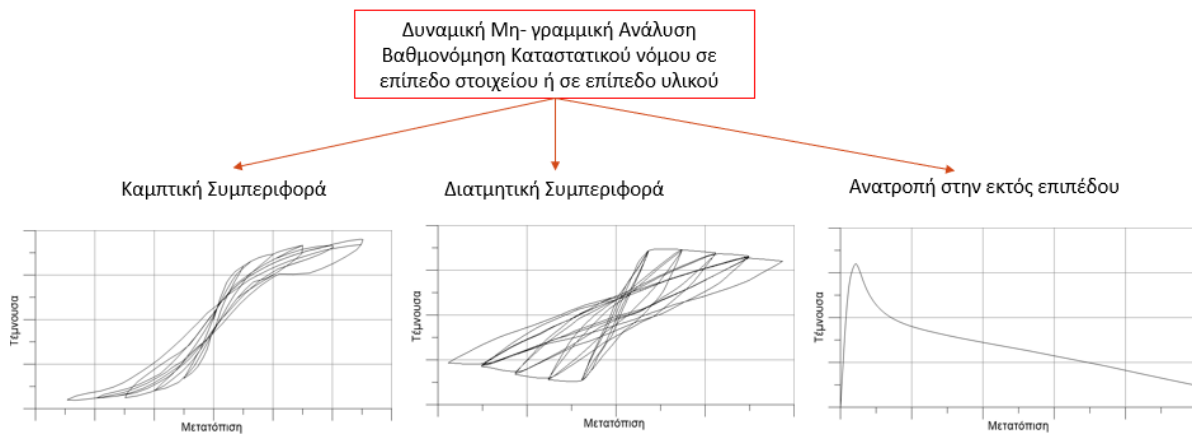
Στον Πίνακα 5.4.4-4, δίνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά ανά τύπο τοιχοποιίας (π.χ. οπτοπλινθοδομή, λιθοδομή) για την ανάλυση του αριθμητικού προσομοιώματος του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος και τον υπολογισμό των αντοχών πεσσών και υπέρθυρων δίσκων (Προσομοίωση με Μέθοδο Ισοδύναμων Πλαισίων ή Μικροστοιχείων) με εφαρμογή των σχέσεων κατά ΚΑΔΕΤ και ΕΚ8-3. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν από την τεκμηρίωση υλικών (βλ 5.2.6), από δοκιμές, από αντιπροσωπευτικές «ερήμην» τιμές οι οποίες προτείνονται από ΚΑΔΕΤ και ΕΚ8-3 ή από ημι-εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού (ΕΚ8-3, ΚΑΔΕΤ) οι οποίες λαμβάνουν υπόψη την αντοχή λίθου και κονιάματος (τεκμηρίωση υλικών) και τον τρόπο δόμησης (κατασκευαστική τεκμηρίωση). Όλες οι τιμές για τους υπολογισμούς θεωρούνται μέσες, ενώ στις περιπτώσεις αναλύσεων ευαισθησίας, οι τιμές αυτές τροποποιούνται κατάλληλα ($\pm\sigma$ - τυπική απόκλιση).

Πίνακας 5.4.4-4. Μηχανικά Χαρακτηριστικά τοιχοποιίας

E	Μέτρο Ελαστικότητας
ν	Λόγος Poisson (λαμβάνεται 0.25 κατά ΕΚ6)
G	Μέτρο Διάτμησης $G = E/(1 + 2\nu)$ - για θεώρηση ισότροπου υλικού
ρ	Πυκνότητα
f_c	Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας (κάθετα στους οριζόντιους αρμούς)
f_t	Διαγώνια εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας
f_h	Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς. Ελλείψει δεδομένων λαμβάνεται ίση με $f_h = 0.5 \cdot f_c$
f_b	Ανηγμένη θλιπτική αντοχή λιθοσωμάτων
f_{bt}	Εφελκυστική αντοχή λιθοσωμάτων Ελλείψει δεδομένων λαμβάνεται ίση με: $f_{bt} = 0.1 \cdot f_b$
f_{v0}	Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας υπό μηδενικό αξονικό φορτίο
μ	Συντελεστής τριβής της τοιχοποιίας ίσος με 0.50
μ_j	Τοπικός συντελεστής τριβής ίσος με 0.60

Στην περίπτωση μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης με χρήση χρονοϊστοριών, η περιγραφή της συμπεριφοράς της τοιχοποιίας (καταστατικός νόμος) σε συνδυασμό με τη μέθοδο προσομοίωσης, μπορεί να είναι σε επίπεδο στοιχείου (π.χ. Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων) και όρους δύναμης/ροπής-μετατόπισης/στροφής ή σε επίπεδο υλικού και όρους τάσεων-παραμορφώσεων (π.χ. Πεπερασμένα Στοιχεία). Σε κάθε περίπτωση, ο καταστατικός νόμος θα πρέπει να περιγράφει τη συμπεριφορά της τοιχοποιίας (μάκροπροσομοίωση) ή των συνιστώντων υλικών της (μικροπροσομοίωση - λιθόσωμα, κονίαμα, αρμός κονιάματος) υπό ανακυκλιζόμενη ένταση. Ανάλογα με την προσομοίωση (Ισοδύναμα Πλαίσια ή Πεπερασμένα/Διακριτά Στοιχεία) οι παράμετροι περιγραφής των μετελαστικών κλάδων, μπορούν να επιλέγονται από πειραματικά αποτελέσματα ή από ενδεικτικές τιμές που δίνονται στην βιβλιογραφία. Γενικά, προτείνεται πριν την ανάλυση του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος, η αριθμητική ανάλυση ενός λυγηρού (καμπτική συμπεριφορά) και ενός χθαμαλού τοίχου (διατμητική συμπεριφορά) υπό ανακυκλιζόμενη εντός επιπέδου φόρτιση, παρουσία κατακόρυφου φορτίου για τους τύπους τοιχοποιίας που συναντιούνται σε αυτό. Με τη διαδικασία αυτή, μπορούν να βαθμονομηθούν οι ιδιότητες της

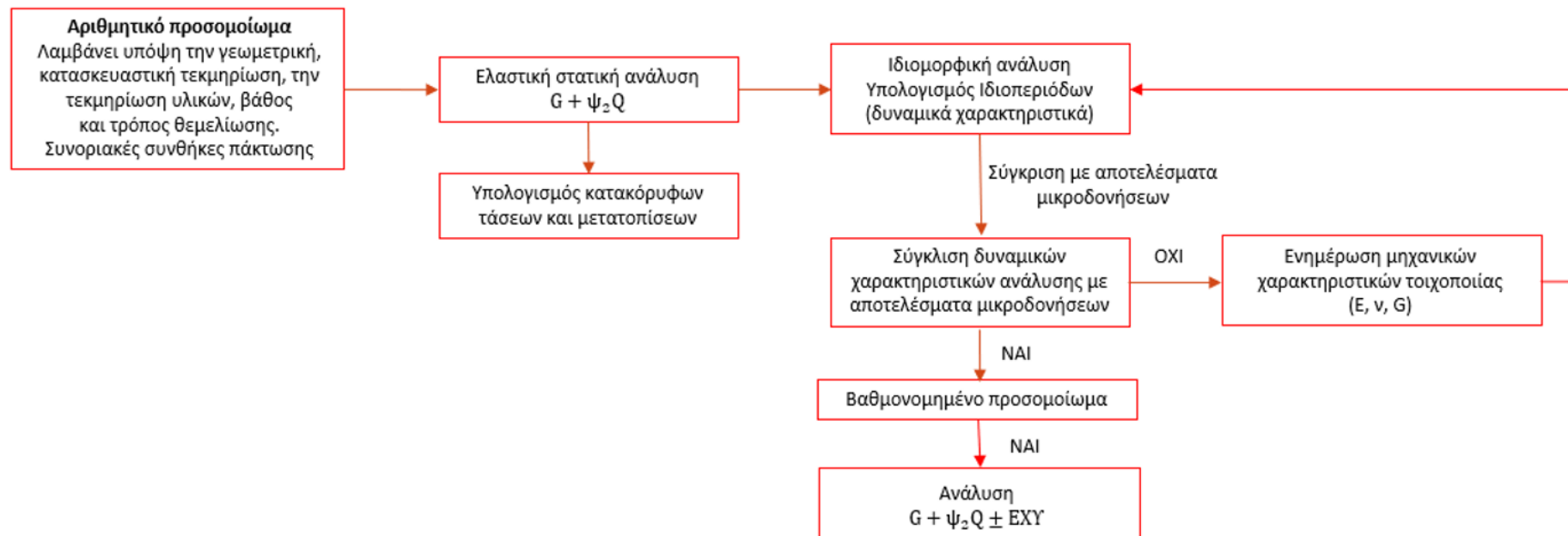
τοιχοποιίας στην ανελαστική περιοχή ή και των συνιστώντων υλικών της και να ελεγχθεί η καταλληλότητα του καταστατικού νόμου στις δύο βασικές μορφές αστοχίας της τοιχοποιίας σε δράσεις εντός επιπέδου. Στην περίπτωση όπου ο καταστατικός νόμος περιγράφει ταυτόχρονα αστοχία για δράσεις στην εκτός επιπέδου διεύθυνση, προτείνεται επιπλέον η ανάλυση ενός τοίχους σε συνθήκες ανατροπής (Σχήμα 5.4.4.-2).



Σχήμα 5.4.4-2. Βαθμονόμηση μη γραμμικού καταστατικού νόμου έναντι ανακυκλιζόμενης εντός επιπέδου δράσης και σε ανατροπή (εκτός επιπέδου)

5.4.4.4 Βαθμονόμηση Προσομοιώματος

Τα αποτελέσματα των μικροδονήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση του αριθμητικού προσομοιώματος. Επιλέγονται αρχικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά (E , G , ν -βλ. προηγούμενη παράγραφο) και πραγματοποιείται ιδιομορφική ανάλυση με θεώρηση πάκτωσης στη βάση του προσομοιώματος. Οι κύριες ιδιοπερίοδοι ανά διεύθυνση της ιδιομορφικής ανάλυσης, συγκρίνονται με τις ιδιοπερίόδους οι οποίες υπολογίζονται από τη μέθοδο των μικροδονήσεων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την ικανοποιητική σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει το ισοδύναμο δυναμικά προσομοίωμα του προς ανάλυση μνημείου/διατηρητέου δομήματος (Σχήμα 5.4.4-3). Στην περίπτωση αυτή, η ΣΑΔ θεωρείται Υψηλή.



Σχήμα 5.4.4.-3 Βαθμονόμηση αριθμητικού προσομοιώματος

5.4.4.5 Ανάλυση

Η ανάλυση για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μπορεί να είναι ελαστική στατική ή μη γραμμική δυναμική με εν χρόνω ολοκλήρωση. Στους σύγχρονους κανονισμούς (EC8-3-2025, ΚΑΔΕΤ) για την αποτίμηση με βάση τις ΣΕ, προτείνεται ως κύρια μέθοδος ανάλυσης η μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover) και αναφέρεται σε φορείς χωρίς έντονες ακανονικότητες σε κάτοψη και καθ' ύψος και προτείνεται κύρια στην ανάλυση με το Μέθοδο των Ισοδύναμων Πλαισίων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής θα πρέπει να αξιολογούνται και να κρίνονται με μεγάλη προσοχή από τους μελετητές μηχανικούς στην περίπτωση μνημείων και διατηρητέων δομημάτων, καθώς οι παραδοχές της ανάλυσης αυτής δύσκολα ικανοποιούνται στους φορείς αυτούς.

5.4.4.5.1 Ελαστική Ανάλυση

Η ελαστική στατική ανάλυση ενδείκνυται για την προσομοίωση με τη Μέθοδο των Ισοδύναμων Πλαισίων με εφαρμογή της Μεθόδου οριζόντιας φόρτισης. Επιβάλλεται καθ' ύψος του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος, κατανομή οριζόντιας δύναμης (Τέμνουσα βάσης απαίτησης) όπως αυτή ορίζεται από τα κανονιστικά κείμενα (π.χ. σύμφωνα με τα ύψη των μαζών, τη δεσπόζουσα ιδιομορφή ανά διεύθυνση κτλ.). Ο συντελεστής συμπεριφοράς q λαμβάνεται ίσος με 1.20 για τη ΣΕ ΣΒ και 1.50 για τη ΣΕ ΟΚ. Η ανάλυση γίνεται ξεχωριστά ανά διεύθυνση $\pm X/\pm Y$ για τις εξεταζόμενες ΣΕ.

Εναλλακτικά μπορεί να πραγματοποιηθεί «Προσεγγιστική μη γραμμική ανάλυση- Μέθοδος βήμα προς βήμα» όπου πραγματοποιούνται ελαστικές αναλύσεις σε βήματα, με το προσομοίωμα του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος να μεταβάλλεται σταδιακά με την τοποθέτηση αρθρώσεων στα άκρα του μέλους που φτάνει την τέμνουσα αντοχή τους. Η ανάλυση γίνεται μέχρι την εξάντληση της αντοχής των μελών (δημιουργία μηχανισμού) και αποτέλεσμα της ανάλυσης αυτής είναι η Καμπύλη Ικανότητας μέχρι τη μέγιστη αντοχή (Σχήμα 5.3.2-1α).

5.4.4.5.2 Μη γραμμική δυναμική ανάλυση

Η μη γραμμική ανάλυση ενδείκνυται για την προσομοίωση με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων, Διακριτών και Εφαρμοσμένων Στοιχείων. Στην ανάλυση αυτή λαμβάνεται επίσης υπόψη η γεωμετρική μη γραμμικότητα. Στη μη γραμμική δυναμική ανάλυση με εν χρόνω ολοκλήρωση, επιβάλλονται οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης στη βάση του μνημείου/διατηρητέου δομήματος στις τρεις μεταφορικές διευθύνσεις (XYZ) για τη ΣΕ ΟΚ. Πραγματοποιείται σειρά αναλύσεων με τις οριζόντιες συνιστώσες επιτάχυνσης της εδαφικής κίνησης να επιβάλλονται κατά $+X/+Y$ και $-X/-Y$ και επαναλαμβάνονται με την εναλλαγή αυτών (η συνιστώσα X επιβάλλεται στη διεύθυνση Y και η συνιστώσα Y επιβάλλεται στη διεύθυνση X), ενώ η κατακόρυφη συνιστώσα μένει αμετάβλητη. Ο ΕΚ8 δίνει κριτήρια επιλογής και κλιμάκωσης χρονοϊστοριών επιτάχυνσης.

5.4.4.5.3 Επιλογή χρονοϊστοριών επιτάχυνσης ανά εξεταζόμενη Στάθμη Επιτελεστικότητας

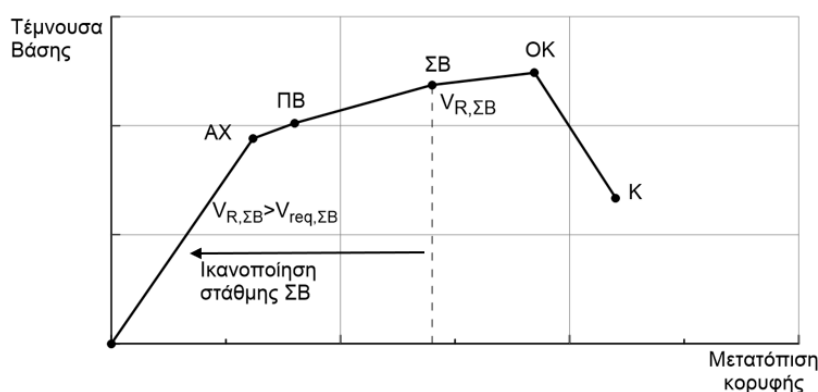
Οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης για τη δυναμική μη γραμμική ανάλυση επιλέγονται από βάσεις δεδομένων (π.χ. ESM, PEER) από καταγεγραμμένα πραγματικά σεισμικά γεγονότα. Η

επιλογή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του σεισμού, την απόσταση σεισμικής πηγής – θέσης μνημείου/διατηρητέου δομήματος (π.χ. επικεντρική απόσταση, απόσταση Joyner-Boore), τον μηχανισμό γένεσης του σεισμού αν είναι γνωστός (οριζόντιο, ανάστροφο, κανονικό ρήγμα) και τις εδαφικές συνθήκες. Το μέγεθος του σεισμού και η απόσταση μπορεί να προκύψουν από την ανάδρομη ανάλυση εκτίμησης σεισμικού κινδύνου.

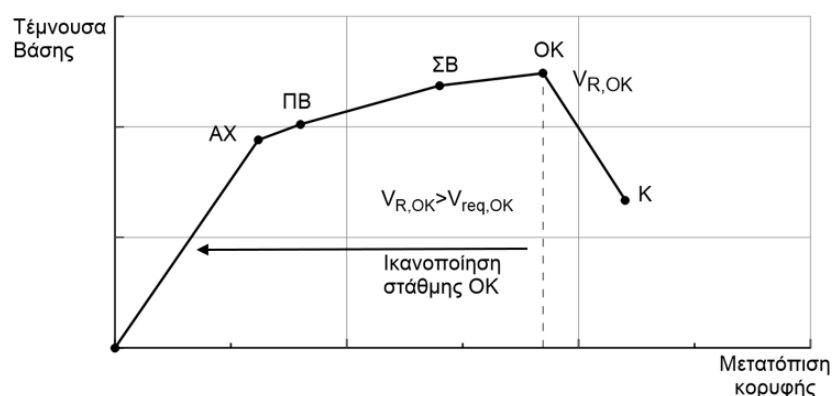
Ο ΕΚ8 δίνει κριτήρια επιλογής και κλιμάκωσης χρονοϊστοριών επιτάχυνσης στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις ώστε να είναι συμβατές με το Ελαστικό Φάσμα Οριζόντιων Επιταχύνσεων του ΕΚ8 (Στοχευόμενο Φάσμα) για κάθε εξεταζόμενη ΣΕ. Η συμβατότητα ελέγχεται σε ένα εύρος περιόδων από $0,2T_{\min}$ έως $1,5T_{\max}$, όπου $T_{\min}$ και $T_{\max}$, η ελάχιστη και μέγιστη περίοδος ενδιαφέροντος στις διευθύνσεις Χ και Υ. Αντίστοιχη διαδικασία προτείνεται και για την κατακόρυφη διεύθυνση. Ως Στοχευόμενο Φάσμα μπορεί επίσης να επιλεγεί το Φάσμα Ομοιόμορφου Σεισμικού Κινδύνου ή το Δεσμευμένο Φάσμα για κάθε εξεταζόμενη ΣΕ. Σύμφωνα με τον ΕΚ8, ο ελάχιστος αριθμός χρονοϊστοριών είναι 7.

5.4.4.6 Ικανοποίηση ΣΕ

Η ικανοποίηση μίας Στάθμης Επιτελεστικότητας γίνεται σε όρους Τέμνουσας με τη σύγκριση Απαίτησης προς Αντοχή. Μία στάθμη ικανοποιείται όταν η αντοχή V_R είναι μεγαλύτερη από την απαίτηση V_{req} της στάθμης αυτής (Σχήματα 5.4.4-4α και 5.4.4.-4β).



α)



β)

Σχήμα 5.4.4-4. Ικανοποίηση κριτηρίου Επιτελεστικότητας σε όρους τέμνουσας: α): Στάθμη ΣΒ και β): Στάθμη ΟΚ

5.4.4.6.1 Ελαστική Ανάλυση - Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων

Ο έλεγχος μπορεί να γίνεται σε επίπεδο τέμνουσας ανά στοιχείο (π्रेसός, υπέρθυρος δίσκος). Η τέμνουσα αντοχής κάθε στοιχείου υπολογίζεται ως η μικρότερη τιμή τέμνουσας λόγω αστοχίας σε κάμψη, ολίσθηση αρμών ή διαγώνια ρηγμάτωση, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις αντοχής όπως αυτές περιγράφονται στον ΚΑΔΕΤ ή στον ΕΚ8-3. Οι υπολογισμοί γίνονται για τις μέσες τιμές υλικών λαμβάνοντας συντελεστή γ_{RD} ανάλογα με τη ΣΑΔ. Η τέμνουσα αντοχή κάθε στοιχείου συγκρίνεται με την απαίτηση της ανάλυσης (λόγος απαίτησης προς αντοχή). Ο έλεγχος μπορεί να γίνει και σε επίπεδο φορέα με τη σύγκριση Τέμνουσας Βάσης απαίτησης προς την Τέμνουσα Αντοχής (Σεισμική Αντίσταση). Ο έλεγχος γίνεται ανά διεύθυνση για ΣΒ ΟΚ.

5.4.4.6.2 Προσεγγιστική μη γραμμική ανάλυση- Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων

Η τέμνουσα αντοχής μπορεί να εκτιμηθεί από την "Προσεγγιστική μη γραμμική ανάλυση». Ο έλεγχος γίνεται όπως και στην περίπτωση της Ελαστικής ανάλυσης με τη σύγκριση απαίτησης προς αντοχή για τη ΣΕ ΟΚ.

5.4.4.6.3 Προσεγγιστική ανάλυση - Μέθοδος Ισοδύναμων Πλαισίων (SLAMA)

Η Τέμνουσα αντοχής (Τέμνουσα Βάσης) μπορεί να εκτιμηθεί από διάφορους μηχανισμούς αστοχίας, όπως είναι ο μηχανισμός ορόφου, ο οποίος μπορεί να συμβεί στο ισόγειο ή σε όροφο, ή αν ληφθεί υπόψη η συνεισφορά των υπέρθυρων δίσκων, η τέμνουσα αντοχής υπολογίζεται από τη ροπή ανατροπής. Ως Σεισμική Αντίσταση λαμβάνεται η μικρότερη τιμή τέμνουσας μεταξύ των επιλεγμένων μηχανισμών. Ο έλεγχος γίνεται όπως και στην περίπτωση της Ελαστικής ανάλυσης με τη σύγκριση απαίτησης προς αντοχή τη ΣΕ ΟΚ.

Στο Σχήμα 5.4.4-5, δίνεται η πορεία υπολογισμού για ελαστική ανάλυση με τη Μέθοδο Ισοδύναμων Πλαισίων.

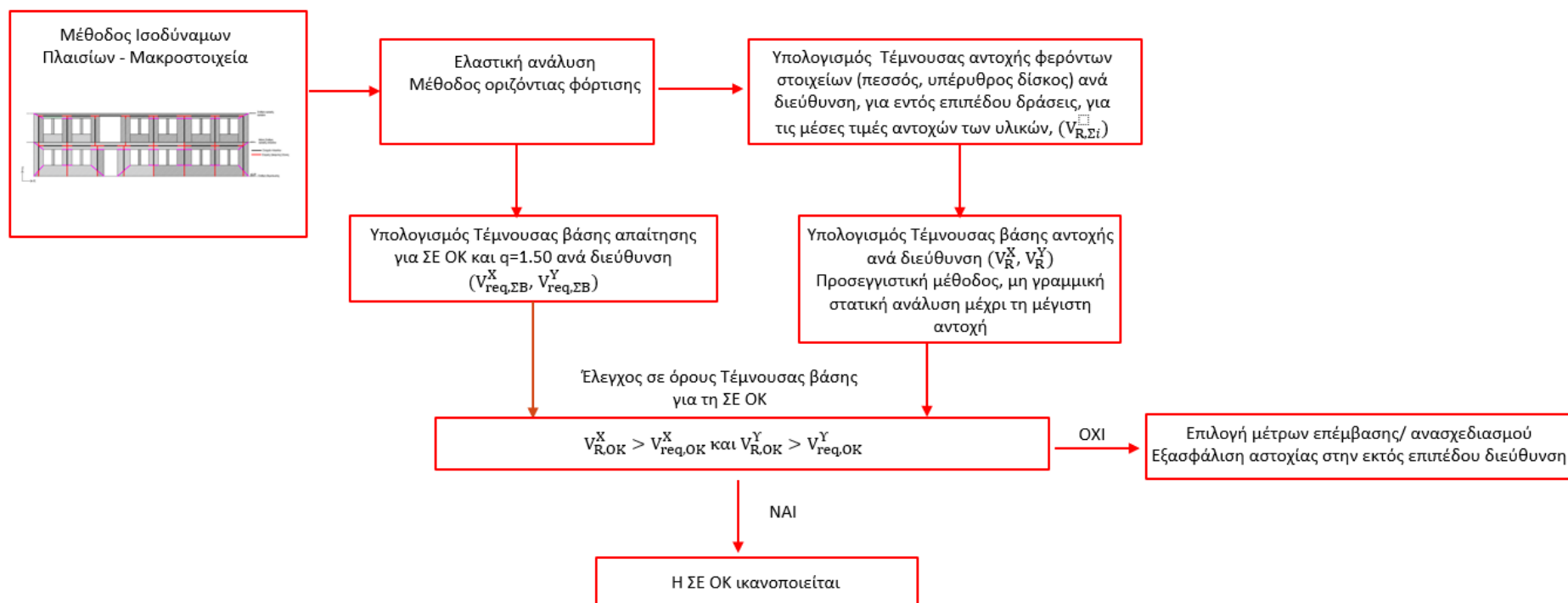
5.4.4.6.4 Μη γραμμική δυναμική ανάλυση

Στο Σχήμα 5.4.4-6, δίνεται η πορεία υπολογισμού για μη γραμμική δυναμική ανάλυση με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων ή Διακριτών ή Εφαρμοσμένων στοιχείων. Για τη ΣΕ ΟΚ, το αριθμητικό προσομοίωμα του υπό εξέταση μνημείου/διατηρητέου δομήματος αναλύεται με τη δυναμική μη γραμμική μέθοδο με εν χρόνων ολοκλήρωση για τις επιλεγμένες XYZ χρονοϊστορίες επιτάχυνσης. Ο ελάχιστος αριθμός αναλύσεων για κάθε στάθμη είναι 14 (+X/+Y και (-X/-Y)), ενώ ο αριθμός αυτός αυξάνεται όταν ληφθεί υπόψη εναλλαγή των συνιστωσών (X→Y και Y→X). Από κάθε ανάλυση υπολογίζεται το διάγραμμα Τέμνουσα Βάσης - σχετικής μετατόπισης κορυφής (βρόχοι) σε κάθε διεύθυνση. Ως σχετική μετατόπισης κορυφής μπορεί να ληφθεί ο μέσος όρος των σχετικών μετατοπίσεων στην κορυφή ($u = 1/n \cdot (\sum_i^n u_i)$) ή ο μέσος όρος, όπου λαμβάνεται υπόψη η μάζα η οποία αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο ($u = \sum_i^n m_i \cdot u_i / \sum_i^n m_i$). Με βάση τη μορφή του διαγράμματος τέμνουσας βάσης- μετατόπισης και των βρόχων υστέρησης, τις βλάβες που θα εμφανίσει ο φορέας του εξεταζόμενου μνημείου/διατηρητέου δομήματος, ο μηχανικός θα αποφασίσει αν ο φορέας ικανοποιεί την εξεταζόμενη στάθμη ή όχι. Κατάρρευση θεωρείται η απότομη αύξηση της μετατόπισης (η οποία συνοδεύεται συχνά από διακοπή της ανάλυσης λόγω μη σύγκλισης), η μείωση της Τέμνουσας Βάσης κατά 20% ή η απότομη αύξηση του εύρους των βρόχων υστέρησης. Η Τέμνουσα Αντοχής ανά διεύθυνση υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των μέγιστων/ελάχιστων

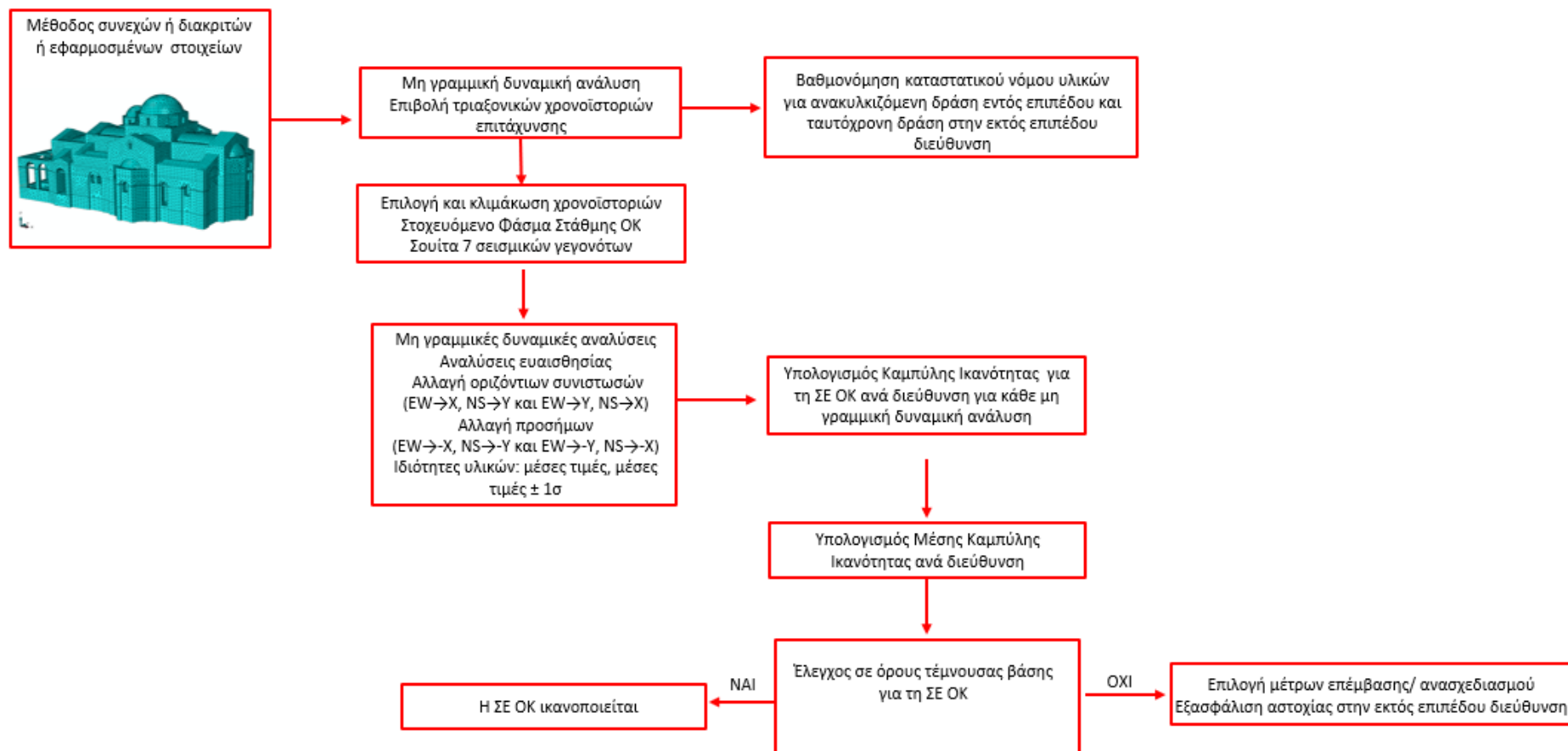
τεμνουσών όλων των αναλύσεων. Στην περίπτωση εκκλησίας με τρούλο ή καμπαναριό το οποίο βρίσκεται σε επαφή με την εκκλησία και αλληλοεπιδρά με αυτή, υπολογίζεται η Τέμνουσα Βάσης – σχετικής μετατόπισης των στοιχείων αυτών, γιατί η κατάρρευση τους μπορεί να μη απεικονίζεται στην μετατόπιση κορυφής όταν αυτή ορίζεται στην στέψη των τοίχων.

5.4.4.7 Τεχνική Έκθεση

Η Τεχνική έκθεση της προμελέτης περιλαμβάνει α): την περιγραφή όλων των σταδίων της ανάλυσης του υπό εξέταση μνημείου/ διατηρητέου δομήματος στην υφισταμένη κατάσταση του (τύπος προσομοιώματος, μέθοδος ανάλυσης, σεισμικές δράσεις, μηχανικά χαρακτηριστικά, βαθμονόμηση προσομοιώματος, ΣΑΔ), β): τα αποτελέσματα της αποτίμησης του για εντός επιπέδου δράσεις για τις εξεταζόμενες ΣΕ και τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων αυτών με βασικές υφιστάμενες βλάβες (π.χ. καμπτική ή διατμητική αστοχία) και γ): τη γενική περιγραφή των προτεινόμενων επεμβάσεων και την μορφή αστοχίας την οποία βελτιώνει κάθε προτεινόμενη επέμβαση. Στα προτεινόμενα μέτρα δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην εξασφάλιση των αστοχιών στην εκτός επιπέδου διεύθυνση. Στην προμελέτη συμπεριλαμβάνονται αναλυτικά οι υπολογισμοί και έλεγχοι σε επίπεδο στοιχείου ή συνόλου για την ικανοποίηση των κριτηρίων στην ΣΕ ΟΚ. Ως προς τις προτεινόμενες επεμβάσεις, δίνονται οι προδιαγραφές των υλικών και προσεγγιστικός προϋπολογισμός τους. Η προμελέτη συνοδεύεται από σχέδια α): της υφιστάμενης κατάστασης (κατόψεις, όψεις, τομές, βασικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες) όπου φαίνονται τυχόν φθορές ή βλάβες και από β): σχέδια προτεινόμενων επεμβάσεων. Επιπλέον η προμελέτη συνοδεύεται από τα αποτελέσματα των επί τόπου και εργαστηριακών ελέγχων των υλικών, τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής μελέτης και τα αποτελέσματα των μικροδονήσεων, στην περίπτωση όπου αυτές έχουν πραγματοποιηθεί.



Σχήμα 5.4.4-5: Ελαστική Ανάλυση- Υπολογισμός Απαίτησης- Υπολογισμός Αντοχής- Ικανοποίηση Στάθμης ΟΚ.



Σχήμα 5.4.4-6: Μη γραμμική Δυναμική Ανάλυση- Υπολογισμός Απαιτήσης- Υπολογισμός Αντοχής-- Ικανοποίηση Στάθμης OK.

5.4.5 Προμελέτη ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 7 παρ. 4 η προμελέτη ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων περιέχει:

α) Στοιχεία έρευνας τοπικών συνθηκών και δεδομένων.

β) Αποτύπωση των υφιστάμενων υποδομών και εγκαταστάσεων του μνημείου (αν υπάρχουν)

γ) Τεχνική έκθεση που περιλαμβάνει:

- Τους κανονισμούς που λαμβάνονται υπόψη για τις παραδοχές και τους υπολογισμούς εκάστης μελέτης.
- Προτάσεις προβλεπόμενων εγκαταστάσεων με την αιτιολόγηση αυτών.
- Διερεύνηση των απαιτήσεων πυρασφάλειας και την συμβατότητα αυτών με την διαρρύθμιση και την λειτουργικότητα του μνημείου.
- Βασική επίλυση μορφολογικών, τεχνικών και λειτουργικών ζητημάτων, επιλογή κεντρικών διελεύσεων των δικτύων σε συνάφεια με την αρχιτεκτονική και την στατική μελέτη
- Σύστημα κάθε προβλεπόμενης εγκατάστασης και οικονομοτεχνική θεμελίωση του προτεινόμενου συστήματος σε περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει θέμα επιλογής μεταξύ περισσοτέρων της μιας δυνατής λύσης.

δ) Σχέδια ως ακολούθως:

- Τοπογραφικό σχέδιο με την θέση του κτιρίου και τις πιθανές παροχές ή απορροές.
- Σχέδια κατόψεων, εις την κλίμακα της αρχιτεκτονικής προμελέτης, όπου σημειώνονται σε κάθε χώρο οι αναγκαίες εγκαταστάσεις.
- Σχέδια κατόψεων των χώρων για τις κεντρικές εγκαταστάσεις μετά σχετικής γενικής αιτιολόγησης της επιφάνειας αυτών., καθώς και με την χωροθέτηση του εξοπλισμού και τις περιοχές κατακόρυφων οδεύσεων (shafts) που επηρεάζουν την στατική ή την αρχιτεκτονική μελέτη (κατόψεις, αξονομετρικά διαγράμματα εγκαταστάσεων)
- Ενδεικτικό προϋπολογισμό ανά είδος εγκαταστάσεων και συνοπτικό, που προκύπτει από συντελεστές παρεμφερών έργων .

Η προμελέτη αποτελεί το στάδιο στρατηγικής επιλογής και εισάγεται για γνωμοδότηση στο αρμόδιο Συμβούλιο .

5.4.6 Προμελέτη υλικών (Προτάσεις υλικών)

Η προμελέτη υλικών αποτελεί το πρώτο στάδιο σχεδιασμού των επεμβάσεων αποκατάστασης από την πλευρά των υλικών. Αντικείμενό της είναι η σύνθεση των αποτελεσμάτων της διαγνωστικής μελέτης των υλικών και των επιμέρους μελετών τεκμηρίωσης των λοιπών ειδικοτήτων, με σκοπό τον καθορισμό των επεμβάσεων που απαιτούνται για την αποκατάσταση του μνημείου, καθώς και των τεχνικών απαιτήσεων που πρέπει να ικανοποιούν τα υλικά αποκατάστασης για κάθε προβλεπόμενη επέμβαση.

Οι τεχνικές απαιτήσεις καθορίζονται από τον στόχο της επέμβασης, τις απαιτήσεις της κατασκευής και τις περιβαλλοντικές συνθήκες του μνημείου. Η επιλογή των υλικών τεκμηριώνεται πάντοτε βάσει της **συμβατότητάς** τους με τα ιστορικά υλικά και την υφιστάμενη κατασκευή, της **επιτελεστικότητάς** τους ως προς τη λειτουργία που καλούνται να επιτελέσουν και της **ανθεκτικότητάς** τους στο μνημείο. Οι τρεις αυτές προϋποθέσεις αξιολογούνται πάντοτε συνδυαστικά και αποτελούν θεμελιώδεις αρχές του σχεδιασμού των επεμβάσεων αποκατάστασης.

Στο στάδιο αυτό δεν επιλέγονται ακόμη συγκεκριμένα υλικά, προϊόντα ή εμπορικά συστήματα, αλλά προσδιορίζονται οι απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιούν οι υποψήφιες λύσεις κατά την οριστική μελέτη.

5.4.6.1. Προϋποθέσεις και βάσεις σχεδιασμού

Η προμελέτη υλικών βασίζεται στα αποτελέσματα της διαγνωστικής μελέτης των υλικών και αξιοποιεί, κατά περίπτωση:

- α) τα αποτελέσματα της ιστορικής, αρχαιολογικής και αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης,
- β) τα γεωμετρικά δεδομένα και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του μνημείου,
- γ) τα συμπεράσματα της δομοστατικής, γεωτεχνικής, γεωλογικής και των λοιπών επιμέρους μελετών,
- δ) τα δεδομένα των περιβαλλοντικών συνθηκών και των μηχανισμών φθοράς,
- ε) τις απαιτήσεις της μελέτης αποκατάστασης και των προβλεπόμενων επεμβάσεων,
- στ) κάθε άλλο στοιχείο που επηρεάζει τον σχεδιασμό και την τεκμηρίωση των επεμβάσεων.

5.4.6.2 Βασικές αρχές

Η προμελέτη υλικών διενεργείται σύμφωνα με τις αρχές προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς και αποσκοπεί στη διατήρηση της αυθεντικότητας του μνημείου, την επιβράδυνση των μηχανισμών φθοράς και στη διασφάλιση της ανθεκτικότητας των ιστορικών υλικών.

Οι τεχνικές απαιτήσεις των υλικών καθορίζονται με γνώμονα τη συμβατότητα με τα ιστορικά υλικά και την κατασκευή, την επιτελεστικότητα της επέμβασης και την ανθεκτικότητα των υλικών στο περιβάλλον του μνημείου, λαμβάνοντας υπόψη τις αρχές της ελάχιστης δυνατής επέμβασης, της αναστρεψιμότητας, όπου αυτή είναι εφικτή, καθώς και της διατήρησης της ιστορικής και δομικής αυθεντικότητας του μνημείου.

5.4.6.3 Καθορισμός τεχνικών απαιτήσεων

Για κάθε προβλεπόμενη επέμβαση καθορίζονται, κατά περίπτωση:

- α) ο στόχος και η λειτουργία της επέμβασης,
- β) οι απαιτήσεις συμβατότητας με τα ιστορικά υλικά και τη συνολική κατασκευή,
- γ) οι απαιτούμενες φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών,
- δ) οι απαιτήσεις που απορρέουν από τη δομοστατική συμπεριφορά της κατασκευής και τις προβλεπόμενες καταπονήσεις,
- ε) οι απαιτήσεις ανθεκτικότητας έναντι των περιβαλλοντικών και λειτουργικών δράσεων,
- στ) οι απαιτήσεις εφαρμογής, προστασίας και συντήρησης των επεμβάσεων.

Οι τεχνικές απαιτήσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος και τον σκοπό της επέμβασης και αποτελούν τη βάση για τη διερεύνηση, αξιολόγηση και τελική επιλογή των υλικών κατά την οριστική μελέτη.

5.4.6.4 Ενδεικτικές τεχνικές απαιτήσεις ανά κατηγορία επέμβασης

Ανάλογα με το είδος της επέμβασης, καθορίζονται οι ειδικότερες τεχνικές απαιτήσεις των υλικών. Ενδεικτικά:

Ανάλογα με το είδος της επέμβασης, καθορίζονται οι ειδικότερες τεχνικές απαιτήσεις των υλικών. Ενδεικτικά:

- α) Αντικατάσταση ή συμπλήρωση φυσικών λίθων
Καθορίζονται οι απαιτήσεις πετρογραφικής, ορυκτολογικής, φυσικομηχανικής, μορφολογικής και αισθητικής συμβατότητας με το ιστορικό υλικό, καθώς και απαιτήσεις ανθεκτικότητας.
- β) Κονιάματα αποκατάστασης
Καθορίζονται οι απαιτήσεις ως προς τη σύσταση, τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες, την εργασιμότητα, το πορώδες, τη διαπνοή, τη συρρίκνωση και την ανθεκτικότητα.
- γ) Ενέματα
Καθορίζονται οι απαιτήσεις ως προς τη ρευστότητα, τη σταθερότητα, τη διεισδυτικότητα, τη συμβατότητα με την ιστορική τοιχοποιία.
- δ) Επεμβάσεις συγκόλλησης θραυσμάτων
Καθορίζονται οι απαιτήσεις ως προς την αποκατάσταση της συνέχειας και της συνεργασίας των θραυσμένων στοιχείων, τη συμβατότητα των υλικών συγκόλλησης με το ιστορικό υπόστρωμα, την ανάπτυξη των απαιτούμενων μηχανικών ιδιοτήτων, τη σταθερότητα των διαστάσεων κατά την πήξη και σκλήρυνση, την ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές δράσεις, καθώς και τη δυνατότητα εφαρμογής και μελλοντικής συντήρησης της επέμβασης. Εάν προβλέπονται σύνδεσμοι ή οπλισμοί, οι απαιτήσεις επεκτείνονται και στα χαρακτηριστικά των μεταλλικών ή σύνθετων στοιχείων σύνδεσης.
- ε) Επεμβάσεις καθαρισμού
Καθορίζονται οι απαιτήσεις ως προς την αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης των προϊόντων φθοράς, των επικαθίσεων, των βιολογικών προσβολών ή άλλων ανεπιθύμητων στρώσεων, τη διατήρηση της ακεραιότητας και της αυθεντικότητας του ιστορικού υλικού, την επιλεκτικότητα της επέμβασης, την αποφυγή δημιουργίας νέων φθορών ή καταλοίπων, καθώς και τη συμβατότητα της με τις επόμενες επεμβάσεις στερέωσης ή προστασίας.
- στ) Υλικά στερέωσης
Καθορίζονται οι απαιτήσεις ως προς τη διεισδυτικότητα, την αύξηση της συνοχής, τη διατήρηση της διαπνοής και τη συμβατότητα με το ιστορικό υλικό.
- ι) Υλικά προστασίας
Καθορίζονται οι απαιτήσεις ως προς την αποτελεσματικότητα της προστασίας, τη διατήρηση της διαπνοής, την αναστρεψιμότητα, όπου απαιτείται, και τη μακροχρόνια συμπεριφορά τους.

5.4.6.5 Παραδοτέα

Η προμελέτη υλικών καταλήγει:

- α) στην καταγραφή των ειδών των απαιτούμενων κατηγοριών επέμβασης[Μ,
- β) στον καθορισμό των τεχνικών απαιτήσεων των υλικών για κάθε κατηγορία επέμβασης,
- γ) στον καθορισμό των κριτηρίων αξιολόγησης των υποψήφιων λύσεων,

- δ) στον σχεδιασμό του προγράμματος εργαστηριακών δοκιμών, πιλοτικών εφαρμογών και ελέγχων που απαιτούνται κατά την οριστική μελέτη,
- ε) στον καθορισμό των κρίσιμων ιδιοτήτων που θα πρέπει να εκτιμηθούν κατά την αξιολόγηση των υποψήφιων υλικών.

5.4.6.6 Αξιοποίηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της προμελέτης αποτελούν τη βάση για την εκπόνηση της οριστικής μελέτης υλικών, κατά την οποία διερευνώνται, αξιολογούνται και τεκμηριώνονται οι εναλλακτικές λύσεις, σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις και τις βασικές αρχές που καθορίστηκαν στο παρόν στάδιο, λαμβάνοντας υπόψη και τα αποτελέσματα και τις απαιτήσεις των υπολοίπων μελετών και ιδιαίτερας της δομοστατικής ανάλυσης.

Πίνακας 5.4.6-1. Ενδεικτικές τεχνικές απαιτήσεις ανά κατηγορία επέμβασης

Κατηγορία επέμβασης	Ενδεικτικές τεχνικές απαιτήσεις
Αντικατάσταση ή συμπλήρωση φυσικών λίθων	Πετρογραφική, φυσικομηχανική και αισθητική συμβατότητα, ανθεκτικότητα
Κονιόματα αποκατάστασης	Σύσταση, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, εργασιμότητα, πορώδες, διαπνοή, ανθεκτικότητα, συμβατότητα με όλα τα δομικά υλικά
Ενέματα	Ρευστότητα, σταθερότητα, δεισδυτικότητα, ανάπτυξη αντοχών, συμβατότητα, ανθεκτικότητα
Επεμβάσεις συγκόλλησης θραυσμάτων	Συμβατότητα, ανάπτυξη απαιτούμενων μηχανικών ιδιοτήτων, σταθερότητα διαστάσεων, ανθεκτικότητα, δυνατότητα εφαρμογής και συντήρησης
Επεμβάσεις καθαρισμού	Αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης επικαθίσεων και προϊόντων φθοράς, διατήρηση της ακεραιότητας και της αυθεντικότητας του ιστορικού υλικού, απουσία επιβλαβών καταλοίπων, συμβατότητα με το υπόστρωμα, αισθητική συμβατότητα, συμβατότητα με τις επόμενες επεμβάσεις
Υλικά στερέωσης	Δεισδυτικότητα, αύξηση συνοχής, διατήρηση διαπνοής, συμβατότητα, αισθητική συμβατότητα, ανθεκτικότητα
Υλικά προστασίας	Αποτελεσματικότητα προστασίας, διαπνοή, ανθεκτικότητα, αναστρεψιμότητα (όπου απαιτείται), μακροχρόνια συμπεριφορά, συμβατότητα

5.4.7 Ψηφιακά Δίδυμα και HBIM μοντελοποίηση

Η χρήση Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) και μοντέλων HBIM (Historic Building Information Modelling) δύναται να υποστηρίξει την τεκμηρίωση, ανάλυση, διαχείριση και παρακολούθηση του μνημείου κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής του.

Η ανάπτυξη των μοντέλων βασίζεται στα διαθέσιμα δεδομένα τεκμηρίωσης, αποτύπωσης, ιστορικής έρευνας, διαγνωστικών ελέγχων και λοιπών μελετών και προσαρμόζεται στις ανάγκες και τους στόχους του εκάστοτε έργου.

Τα μοντέλα HBIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα δύνανται να περιλαμβάνουν, κατά περίπτωση:

- α) τη γεωμετρική και μορφολογική αποτύπωση του μνημείου και του περιβάλλοντος χώρου του,
- β) την καταγραφή δομικών, κατασκευαστικών, μορφολογικών και διακοσμητικών στοιχείων,
- γ) την ενσωμάτωση ιστορικών, αρχαιολογικών, αρχιτεκτονικών, στατικών, γεωτεχνικών, συντηρητικών και λοιπών δεδομένων τεκμηρίωσης,
- δ) την καταγραφή παθολογίας, φθορών, βλαβών, επεμβάσεων και εργασιών συντήρησης,
- ε) τη διαχείριση πληροφοριών που σχετίζονται με τη λειτουργία, τη συντήρηση και την προστασία του μνημείου,
- στ) την υποστήριξη της διεπιστημονικής συνεργασίας, του σχεδιασμού και της λήψης αποφάσεων.

Τα μοντέλα HBIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα δύνανται να αξιοποιούνται όχι μόνο για την τεκμηρίωση και διαχείριση του μνημείου αλλά και για την παρακολούθηση της εξέλιξης της κατάστασης διατήρησής του στον χρόνο, μέσω της διαχρονικής συσχέτισης δεδομένων τεκμηρίωσης, επιθεωρήσεων, επεμβάσεων, μετρήσεων και λοιπών πληροφοριών που αφορούν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του μνημείου.

Η δομή των πληροφοριών θα πρέπει, κατά το δυνατόν, να επιτρέπει την καταγραφή μεταβολών, φθορών, επεμβάσεων και ιστορικών φάσεων, ώστε να υποστηρίζεται η μακροχρόνια διαχείριση, η αξιολόγηση κινδύνων και η λήψη αποφάσεων για τη συντήρηση και προστασία του μνημείου.

Τα μοντέλα HBIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα δύνανται να υποστηρίζονται από εργαλεία ανάλυσης δεδομένων, αναγνώρισης προτύπων και τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία δεδομένων παρακολούθησης, την αναγνώριση μεταβολών, την αξιολόγηση κινδύνων και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σχετικά με τη διατήρηση και διαχείριση του μνημείου.

Ο βαθμός ανάπτυξης, η ακρίβεια και το περιεχόμενο των μοντέλων καθορίζονται από το είδος, την κλίμακα και τους στόχους του έργου, καθώς και από τα διαθέσιμα δεδομένα τεκμηρίωσης.

Στην προμελέτη / διαγνωστική μελέτη, η τρισδιάστατη αναπαράσταση και μοντελοποίηση πραγματοποιείται σε τρισδιάστατα συστήματα πληροφοριών. Η χρήση μοντέλων κτιριακών πληροφοριών ή (Heritage/Historic) Building Information Modeling (HBIM), ως εξέλιξη του BIM για μνημεία προϋποθέτει την επιλογή επιπέδων λεπτομέρειας (LOD/LOI) προσαρμοσμένα σε μνημεία. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται:

LOD 100–200:	στο οποίο αποτυπώνονται τα Μαζικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μνημείου,
LOD 300:	Στο επίπεδο αυτό αποτυπώνεται η ακριβής γεωμετρία των δομικών στοιχείων
LOD 400+:	Στο επίπεδο αυτό αποτυπώνεται η παθολογία, τα υλικά και οι φθορές

Από το επίπεδο αυτό και πάνω, ενσωματώνεται στο HBIM η διαχείριση κόστους και ποσοτήτων (Cost / Quantities), η ενεργειακή απόδοση και αειφορία καθώς και η διαχείριση εγκαταστάσεων και η συντήρηση.

Στα HBIM είναι απαραίτητο να υλοποιείται ο σημασιολογικός εμπλουτισμός των τρισδιάστατων μοντέλων με δεδομένα όπως τα δομικά υλικά (λίθος, κονίαμα, ξύλο), οι κατασκευαστικές φάσεις και η παθολογία (ρηγματώσεις, αποσαθρώσεις).

Τέλος κατά τη φάση της διαγνωστικής μελέτης, πραγματοποιείται η Τεκμηρίωση αυθεντικότητας, δηλαδή η διάκριση μεταξύ της πραγματικής γεωμετρίας (survey-based) και της υποθετικής ανακατασκευής (interpretative modeling) του μνημείου μέσω των HBIM.

Το πρότυπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση είναι το ΕΛΟΤ EN ISO 19650: Οργάνωση και ψηφιοποίηση πληροφοριών σχετικά με κτίρια και τεχνικά έργα, περιλαμβανομένων των πληροφοριακών μοντέλων δομημάτων (BIM) - Διαχείριση πληροφοριών με χρήση των πληροφοριακών μοντέλων δομημάτων

5.4.8 Γεωτεχνική προμελέτη

Αντικείμενο της γεωλογικής – γεωτεχνικής προμελέτης είναι η προκαταρκτική διερεύνηση και αξιολόγηση των γεωλογικών, τεχνικογεωλογικών, υδρογεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών που επηρεάζουν τη θεμελίωση και τη μακροχρόνια συμπεριφορά του μνημείου ή του αρχαιολογικού χώρου.

Η προμελέτη αποσκοπεί στη διαμόρφωση προκαταρκτικού γεωλογικού και γεωτεχνικού προσομοιώματος, στην αναγνώριση γεωκινδύνων και στον καθορισμό των απαιτούμενων συμπληρωματικών ερευνών και μελετών.

Περιεχόμενο:

Η γεωλογική – γεωτεχνική προμελέτη περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

1. Συλλογή και αξιολόγηση διαθέσιμων στοιχείων
 - Συγκέντρωση υφιστάμενων γεωλογικών, τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων.
 - Αξιολόγηση παλαιότερων γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών.
 - Αξιοποίηση γεωλογικών χαρτών, αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων και βιβλιογραφικών πηγών.
2. Επιτόπια γεωλογική αναγνώριση
 - Προκαταρκτική γεωλογική χαρτογράφηση.
 - Καταγραφή γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών.

- Αναγνώριση τεκτονικών δομών.
- Καταγραφή πρηνών και πιθανών φαινομένων αστάθειας.
- Καταγραφή ασυνεχειών βραχομάζας όπου απαιτείται.

3. Υδρογεωλογική αξιολόγηση

- Αναγνώριση υδροφόρων οριζόντων.
- Καταγραφή πηγών, διαρροών και επιφανειακών απορροών.
- Προκαταρκτική εκτίμηση της επίδρασης των υπόγειων υδάτων στο μνημείο.

4. Γεωτεχνικές έρευνες προμελέτης

- Εκτέλεση προκαταρκτικών γεωτρήσεων, δοκιμών πεδίου ή γεωφυσικών διασκοπήσεων.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ερευνών.

5. Τοπογραφικό διάγραμμα με οριζοντιογραφία στο οποίο θα σημειώνονται (με διαφορετική σήμανση ανά είδος έρευνας) οι Θέσεις όλων των υφιστάμενων και προτεινόμενων σημείων έρευνας. Στο υπόμνημα του σχεδίου θα αναγράφονται σε πίνακα οι συντεταγμένες (Χ, Υ) των Θέσεων της προτεινόμενης έρευνας.

Η προμελέτη ολοκληρώνεται με τεκμηριωμένη πρόταση για τις απαιτούμενες συμπληρωματικές γεωλογικές, γεωτεχνικές, γεωφυσικές ή υδρογεωλογικές έρευνες που θα υποστηρίξουν την οριστική γεωλογική – γεωτεχνική μελέτη. Οι παραπάνω προτάσεις διατυπώνονται σύμφωνα με υφιστάμενες προδιαγραφές. Οι προτάσεις γεωτεχνικής προμελέτης συντάχθηκαν βάσει της ΟΜΟΕ, τεύχος 11, Γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες.

5.5 Οριστική μελέτη

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 8 παρ. 1 η οριστική μελέτη για κάθε επιμέρους κατηγορία μελέτης περιέχει την συγκέντρωση, έλεγχο, αξιολόγηση και, αν κριθεί αναγκαίο, συμπλήρωση των δεδομένων που προκύπτουν από το πρόγραμμα ερευνών και εργασιών τεκμηρίωσης και την προμελέτη, όπως αξιολογήθηκε από το αρμόδιο Συμβούλιο.

5.5.1 Οριστική Αρχιτεκτονική μελέτη

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 8 παρ. 2 η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη περιέχει:

- α) Τεχνική έκθεση, που περιλαμβάνει οριστική πρόταση και επίλυση των τεχνικών, μορφολογικών και λειτουργικών θεμάτων του μελετώμενου έργου, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν παρατηρήσεις της απόφασης έγκρισης της προμελέτης, συνοπτική περιγραφή των προβλεπόμενων εργασιών και μεθόδων, αναφορά των υλικών και αιτιολόγηση της επιλογής τους. Η αιτιολόγηση της επιλογής των υλικών αφορά όχι μόνο σε ζητήματα τεχνικής αρτιότητας αλλά και στη συμφωνία τους με τη δεοντολογία των επεμβάσεων σε μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους.
- β) Σχέδια, τα οποία αποδίδουν τα αναφερόμενα στην έκθεση, ήτοι τη δομή, τη μορφή και τη λειτουργία του υπό μελέτη έργου, και σε αυτά περιλαμβάνονται απαραίτητως γενικό τοπογραφικό σχέδιο με τους ισχύοντες όρους δόμησης και επιτρεπόμενες χρήσεις, κατόψεις, όψεις, τομές καθώς και προοπτικά ή αξονομετρικά σχέδια, εφόσον κάτι τέτοιο κρίνεται σκόπιμο. Ο ακριβής προσδιορισμός των κλιμάκων εξαρτάται από την έκταση και τη φύση του υπό μελέτη έργου. Στα ως άνω σχέδια σημειώνονται οι γενικές διαστάσεις και στάθμες, καθώς και τα οικοδομικά στοιχεία. Περιλαμβάνεται επίσης προϋπολογισμός της

δαπάνης του μελετώμενου έργου. Ο προϋπολογισμός υπολογίζεται βάσει της έκτασης ή του όγκου του έργου και βάσει τιμών μονάδος εγκεκριμένων ή που προκύπτουν από στατιστικά στοιχεία κόστους παρομοίων έργων.

5.5.1.1 Εξειδίκευση Περιεχομένου της Οριστικής Αρχιτεκτονικής Μελέτης

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη αναπτύσσει και εξειδικεύει την εγκεκριμένη αρχιτεκτονική προμελέτη και τεκμηριώνει με πληρότητα το σύνολο των προτεινόμενων επεμβάσεων στο μνημείο και τον περιβάλλοντα χώρο του.

Στο πλαίσιο της οριστικής μελέτης τεκμηριώνονται, κατά περίπτωση:

- α) οι επεμβάσεις διατήρησης, αποκατάστασης, αναστήλωσης, ανακατασκευής ή ανάδειξης των επιμέρους στοιχείων του μνημείου,
- β) η διατήρηση, τροποποίηση ή απομάκρυνση μεταγενέστερων επεμβάσεων και κατασκευών,
- γ) η μορφή, η θέση και τα χαρακτηριστικά τυχόν νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων,
- δ) η οργάνωση των χρήσεων, των λειτουργιών και των κινήσεων των χρηστών,
- ε) η ενσωμάτωση των απαιτήσεων προσβασιμότητας, ασφάλειας και εξυπηρέτησης του κοινού,
- στ) οι επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο και η σχέση τους με το μνημείο,
- ζ) ο συντονισμός των αρχιτεκτονικών λύσεων με τις λοιπές απαιτούμενες μελέτες του έργου,
- η) η τεκμηρίωση της επιλογής υλικών, μορφών και κατασκευαστικών λύσεων σε σχέση με τις αξίες, τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τη δεοντολογία των επεμβάσεων στο μνημείο,
- θ) η ενσωμάτωση των όρων, παρατηρήσεων και κατευθύνσεων που προέκυψαν κατά τα προηγούμενα στάδια μελέτης και εγκρίσεων.

Η τεκμηρίωση των ανωτέρω αποδίδεται στα σχέδια και στα λοιπά στοιχεία της οριστικής μελέτης με βαθμό λεπτομέρειας επαρκή για την πλήρη κατανόηση, αξιολόγηση και έγκριση των προτεινόμενων επεμβάσεων και τον συντονισμό τους με τις λοιπές μελέτες του έργου.

5.5.1.2 Σχέδια Τεκμηρίωσης των Προτεινόμενων Επεμβάσεων

Τα σχέδια της οριστικής αρχιτεκτονικής μελέτης αποτυπώνουν με σαφήνεια το σύνολο των προτεινόμενων επεμβάσεων και τη σχέση τους με τα υφιστάμενα στοιχεία του μνημείου.

Τα σχέδια περιλαμβάνουν, κατά περίπτωση:

- α) τη διάκριση μεταξύ υφιστάμενων, διατηρούμενων, αποκαθιστάμενων, καθαιρούμενων και νέων στοιχείων,
- β) την αποτύπωση των προτεινόμενων επεμβάσεων επί των δομικών, μορφολογικών και λειτουργικών στοιχείων του μνημείου,
- γ) την αποτύπωση των νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων και της σχέσης τους με το υφιστάμενο μνημείο,
- δ) την αποτύπωση των επεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο,
- ε) την αποτύπωση των στοιχείων που σχετίζονται με την προσβασιμότητα, την κυκλοφορία των χρηστών και τη λειτουργική οργάνωση του έργου,

-
- στ) την αποτύπωση των απαιτούμενων κατεδαφίσεων, αφαιρέσεων, αποξηλώσεων ή απομακρύνσεων στοιχείων, όπου αυτές προβλέπονται,
- ζ) κάθε άλλη πληροφορία που απαιτείται για την πλήρη κατανόηση, αξιολόγηση και έγκριση των προτεινόμενων επεμβάσεων.

Οι συμβολισμοί, οι χρωματισμοί, οι διαγραμμίσεις και οι λοιπές μέθοδοι γραφικής απόδοσης πρέπει να είναι σαφείς, συνεπείς και να επεξηγούνται στα σχέδια ή στα υπομνήματά τους. Η γραφική τεκμηρίωση οφείλει να επιτρέπει τη σαφή διάκριση μεταξύ υφιστάμενης κατάστασης και προτεινόμενων επεμβάσεων, καθώς και την κατανόηση της έκτασης και του χαρακτήρα κάθε επέμβασης.

5.5.1.3 Τεκμηρίωση Επιλογής Υλικών και Κατασκευαστικών Λύσεων

Η επιλογή των υλικών και των κατασκευαστικών λύσεων τεκμηριώνεται με βάση τα χαρακτηριστικά του μνημείου, τις απαιτήσεις διατήρησης και προστασίας του, τη συμβατότητα με τα υφιστάμενα υλικά και κατασκευαστικά συστήματα και τις αρχές που διέπουν τις επεμβάσεις σε μνημεία. Περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα 5.5.4

5.5.1.4 Συντονισμός με τις Λοιπές Μελέτες του Έργου

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη συντονίζεται με το σύνολο των απαιτούμενων μελετών του έργου, ώστε να διασφαλίζεται η συμβατότητα των επιμέρους προτεινόμενων λύσεων και η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των αναγκών προστασίας, αποκατάστασης, ανάδειξης και λειτουργίας του μνημείου.

Ο συντονισμός περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη συσχέτιση των αρχιτεκτονικών επεμβάσεων με τα πορίσματα των μελετών τεκμηρίωσης, διάγνωσης και διερεύνησης,
 - β) τη διασφάλιση της συμβατότητας των αρχιτεκτονικών λύσεων με τις στατικές, γεωτεχνικές, ηλεκτρομηχανολογικές, μουσειολογικές, μουσειογραφικές, συντηρητικές ή λοιπές απαιτούμενες μελέτες,
 - γ) τη διερεύνηση και επίλυση πιθανών συγκρούσεων μεταξύ των επιμέρους μελετητικών αντικειμένων,
 - δ) την ενσωμάτωση των απαιτήσεων που προκύπτουν από ζητήματα ασφάλειας, πυροπροστασίας, προσβασιμότητας, ενεργειακής αναβάθμισης ή περιβαλλοντικής διαχείρισης, όπου απαιτείται,
 - ε) τη διασφάλιση της συμβατότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων με το ισχύον θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο,
- στ) τη διαμόρφωση ενιαίου και συνεκτικού πλαισίου εφαρμογής για το σύνολο του έργου.

Ο συντονισμός των επιμέρους μελετών τεκμηριώνεται στην τεχνική έκθεση της οριστικής αρχιτεκτονικής μελέτης και αποτυπώνεται στα σχέδια και στα λοιπά στοιχεία του φακέλου, όπου απαιτείται.

5.5.1.5 Τεκμηρίωση Φάσεων Υλοποίησης των Επεμβάσεων

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη περιλαμβάνει, κατά περίπτωση, την τεκμηρίωση των βασικών φάσεων υλοποίησης των προτεινόμενων επεμβάσεων, με στόχο τη διασφάλιση της προστασίας του μνημείου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου και τον αποτελεσματικό συντονισμό των εργασιών.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τον προσδιορισμό της γενικής αλληλουχίας των απαιτούμενων επεμβάσεων,
- β) τη συσχέτιση των αρχιτεκτονικών εργασιών με τις απαιτούμενες εργασίες στερέωσης, συντήρησης, αποκατάστασης ή εγκατάστασης δικτύων και εξοπλισμού,
- γ) τον προσδιορισμό των στοιχείων του μνημείου που απαιτούν προσωρινή προστασία κατά τη διάρκεια των εργασιών,
- δ) την αναγνώριση των επεμβάσεων που απαιτούν ειδική μεθοδολογία ή ιδιαίτερο συντονισμό μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων,
- ε) την αναγνώριση των επεμβάσεων που ενδέχεται να επηρεάσουν ευαίσθητα ή ιδιαίτερης αξίας στοιχεία του μνημείου,
- στ) τον προσδιορισμό των βασικών απαιτήσεων για την ασφαλή λειτουργία του εργοταξίου και την προστασία του μνημείου κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Η τεκμηρίωση των φάσεων υλοποίησης δεν υποκαθιστά τη μελέτη εφαρμογής ή τη μελέτη οργάνωσης εργοταξίου, αλλά αποσκοπεί στην έγκαιρη αναγνώριση των βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν τον σχεδιασμό και την υλοποίηση των επεμβάσεων.

5.5.1.6 Τεκμηρίωση Επεμβάσεων σε Χαρακτηριστικά Στοιχεία του Μνημείου

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει ειδικά τις επεμβάσεις που αφορούν τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου, τα οποία συμβάλλουν στη διαμόρφωση της ιστορικής, αρχιτεκτονικής, καλλιτεχνικής, τεχνολογικής ή άλλης αξίας του.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών στοιχείων που αποτελούν αντικείμενο επέμβασης,
- β) την καταγραφή του είδους της προβλεπόμενης επέμβασης για κάθε στοιχείο (διατήρηση, συντήρηση, επισκευή, αποκατάσταση, συμπλήρωση, αντικατάσταση ή απομάκρυνση),
- γ) την τεκμηρίωση της αναγκαιότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων σε σχέση με την κατάσταση διατήρησης και τα συμπεράσματα της τεκμηρίωσης,
- δ) τη συσχέτιση των επεμβάσεων με τις αξίες και τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου,
- ε) την τεκμηρίωση των απαιτούμενων μέτρων προστασίας των χαρακτηριστικών στοιχείων κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Η τεκμηρίωση των επεμβάσεων αποδίδεται στην τεχνική έκθεση και στα σχέδια της οριστικής μελέτης κατά τρόπο που να καθιστά σαφές το αντικείμενο, το εύρος και τον χαρακτήρα κάθε επέμβασης.

5.5.1.7 Τεκμηρίωση Αναστρεψιμότητας, Ελάχιστης Επέμβασης και Διακριτότητας των Νέων Στοιχείων

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει τον τρόπο με τον οποίο οι προτεινόμενες επεμβάσεις εφαρμόζουν τις αρχές της ελάχιστης επέμβασης, της αναστρεψιμότητας και της διακριτής αναγνώρισης των νέων στοιχείων, στο μέτρο που αυτό είναι συμβατό με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τους στόχους προστασίας του μνημείου.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την αιτιολόγηση της έκτασης των επεμβάσεων σε σχέση με τις πραγματικές ανάγκες προστασίας και λειτουργίας του μνημείου,
- β) την τεκμηρίωση της δυνατότητας περιορισμού των επεμβάσεων στα απολύτως αναγκαία,
- γ) την τεκμηρίωση της δυνατότητας μελλοντικής αφαίρεσης ή τροποποίησης νέων στοιχείων χωρίς ουσιώδη βλάβη των ιστορικών δομών, όπου αυτό είναι τεχνικά εφικτό,
- δ) την τεκμηρίωση της διακριτής αναγνώρισης νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων σε σχέση με τα ιστορικά στοιχεία του μνημείου,
- ε) την αιτιολόγηση των περιπτώσεων στις οποίες, για λόγους προστασίας, στατικής επάρκειας ή λειτουργικότητας, δεν είναι δυνατή η πλήρης εφαρμογή των ανωτέρω αρχών.

Η εφαρμογή των αρχών αυτών αξιολογείται κατά περίπτωση και τεκμηριώνεται σε συνάρτηση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες προστασίας κάθε μνημείου.

5.5.1.8 Τεκμηρίωση Αποκατάστασης και Ανακατασκευής Στοιχείων του Μνημείου

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει τις προτεινόμενες αποκαταστάσεις, συμπληρώσεις ή ανακατασκευές στοιχείων του μνημείου, με βάση τα διαθέσιμα επιστημονικά τεκμήρια και τις αρχές προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τον προσδιορισμό των στοιχείων που αποκαθίστανται, συμπληρώνονται ή ανακατασκευάζονται,
- β) την παρουσίαση και αξιολόγηση των τεκμηρίων στα οποία βασίζεται η προτεινόμενη λύση, όπως ιστορικά σχέδια, φωτογραφίες, αρχαιακό υλικό, αρχαιολογικά δεδομένα, ίχνη επί του μνημείου ή συγκριτικά παραδείγματα,
- γ) την τεκμηρίωση του βαθμού βεβαιότητας των προτεινόμενων αποκαταστάσεων ή ανακατασκευών,
- δ) την περιγραφή της προτεινόμενης μορφής, γεωμετρίας, υλικών και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των αποκαθιστάμενων ή ανακατασκευαζόμενων στοιχείων,
- ε) την τεκμηρίωση της συμβολής των προτεινόμενων επεμβάσεων στην κατανόηση και ανάδειξη του μνημείου,
- στ) την αιτιολόγηση των περιπτώσεων στις οποίες επιλέγεται περιορισμένη αποκατάσταση ή διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης λόγω ανεπαρκούς τεκμηρίωσης.

Η τεκμηρίωση των αποκαταστάσεων και ανακατασκευών αποδίδεται στην τεχνική έκθεση και στα σχέδια της οριστικής μελέτης κατά τρόπο που να επιτρέπει τη σαφή διάκριση μεταξύ υφιστάμενων, αποκαθιστάμενων και ανακατασκευαζόμενων στοιχείων.

5.5.1.9 Τεκμηρίωση Διατήρησης και Ανάδειξης Ιστορικών Φάσεων του Μνημείου

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει τη διαχείριση των ιστορικών φάσεων του μνημείου και τον τρόπο με τον οποίο οι προτεινόμενες επεμβάσεις συμβάλλουν στη διατήρηση, ανάδειξη ή αποκατάσταση των στοιχείων που τεκμηριώνουν την ιστορική του εξέλιξη.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την αναγνώριση των ιστορικών φάσεων που διατηρούνται και αναδεικνύονται,
- β) την τεκμηρίωση της επιλογής συγκεκριμένης ιστορικής φάσης ή περιόδου αναφοράς, όπου αυτή αποτελεί βασική αρχή της μελέτης,
- γ) την αξιολόγηση της συμβολής των επιμέρους ιστορικών φάσεων στη φυσιογνωμία και στις αξίες του μνημείου,
- δ) την τεκμηρίωση της διατήρησης, τροποποίησης ή απομάκρυνσης στοιχείων που ανήκουν σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους,
- ε) την αξιολόγηση των επιπτώσεων των προτεινόμενων επεμβάσεων στην αναγνωσιμότητα της ιστορικής εξέλιξης του μνημείου,
- στ) την τεκμηρίωση των περιπτώσεων στις οποίες επιδιώκεται η αποκατάσταση προγενέστερης μορφής ή η ανάδειξη συγκεκριμένης οικοδομικής φάσης,
- ζ) την αιτιολόγηση των προτεινόμενων επιλογών σε σχέση με τα πορίσματα της τεκμηρίωσης και τις αξίες του μνημείου.

Η τεκμηρίωση της διαχείρισης των ιστορικών φάσεων αποτελεί βασικό στοιχείο της οριστικής αρχιτεκτονικής μελέτης και αποσκοπεί στη διασφάλιση της ιστορικής συνέχειας, της αναγνωσιμότητας και της αυθεντικότητας του μνημείου.

5.5.1.10 Τεκμηρίωση Βαθμού Βεβαιότητας και Μελετητικών Παραδοχών

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει τον βαθμό βεβαιότητας των δεδομένων, των ερμηνειών και των προτεινόμενων λύσεων, ιδίως στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η τεκμηρίωση του μνημείου είναι ελλιπής ή προκύπτουν περισσότερες από μία εύλογες ερμηνείες των διαθέσιμων στοιχείων.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τον προσδιορισμό των στοιχείων που τεκμηριώνονται άμεσα από διαθέσιμα ιστορικά, αρχαιολογικά, αρχιτεκτονικά ή κατασκευαστικά δεδομένα,
- β) τον προσδιορισμό των στοιχείων που βασίζονται σε τεκμηριωμένες επιστημονικές εκτιμήσεις ή συγκριτική ανάλυση,
- γ) την αναγνώριση των περιπτώσεων στις οποίες υφίστανται εναλλακτικές ερμηνείες ή αβεβαιότητες ως προς τη μορφή, τη χρονολόγηση ή την εξέλιξη του μνημείου,
- δ) την τεκμηρίωση των βασικών παραδοχών στις οποίες στηρίζονται οι προτεινόμενες επεμβάσεις,
- ε) την αξιολόγηση της επίδρασης των αβεβαιοτήτων στον σχεδιασμό και στην τεκμηρίωση των επεμβάσεων,
- στ) την αιτιολόγηση της επιλεγείσας λύσης στις περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν υφίσταται πλήρης ή οριστική τεκμηρίωση.

Η τεκμηρίωση του βαθμού βεβαιότητας και των μελετητικών παραδοχών αποσκοπεί στη διασφάλιση της επιστημονικής διαφάνειας της μελέτης και στη σαφή διάκριση μεταξύ τεκμηριωμένων δεδομένων, επιστημονικών ερμηνειών και σχεδιαστικών επιλογών.

5.5.1.11 Τεκμηρίωση Συμβατότητας με το Θεσμικό Πλαίσιο Προστασίας

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει τη συμβατότητα των προτεινόμενων επεμβάσεων με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο προστασίας του μνημείου και του περιβάλλοντός του.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την αναφορά του καθεστώτος προστασίας του μνημείου και του περιβάλλοντος χώρου του,
- β) την αναφορά των διοικητικών πράξεων χαρακτηρισμού, οριοθέτησης, προστασίας ή άλλων ειδικών ρυθμίσεων που διέπουν το μνημείο,
- γ) τη συσχέτιση των προτεινόμενων επεμβάσεων με τους όρους και περιορισμούς που απορρέουν από το θεσμικό πλαίσιο προστασίας,
- δ) την τεκμηρίωση της συμβατότητας των προτεινόμενων χρήσεων με το καθεστώς προστασίας του μνημείου,
- ε) την τεκμηρίωση της συμβατότητας των νέων κατασκευών, προσθηκών, διαμορφώσεων ή εγκαταστάσεων με τους ισχύοντες όρους προστασίας,
- στ) την αναφορά τυχόν ειδικών εγκρίσεων, γνωμοδοτήσεων ή αδειοδοτήσεων που απαιτούνται για την υλοποίηση του έργου,
- ζ) τη συσχέτιση των προτεινόμενων επεμβάσεων με τους στόχους προστασίας, διατήρησης και ανάδειξης που απορρέουν από το θεσμικό πλαίσιο.

Η τεκμηρίωση της συμβατότητας με το θεσμικό πλαίσιο προστασίας ενσωματώνεται στην τεχνική έκθεση της οριστικής μελέτης και αποσκοπεί στη σαφή τεκμηρίωση της νομιμότητας και της καταλληλότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων.

5.5.1.12 Τεκμηρίωση Επεμβάσεων στον Περιβάλλοντα Χώρο

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει τις επεμβάσεις που προτείνονται στον περιβάλλοντα χώρο του μνημείου, λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση του με το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, τις οπτικές φυγές, τα ιστορικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του τόπου και τις ανάγκες προστασίας και ανάδειξης του μνημείου.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη διαμόρφωση των υπαίθριων χώρων και των προσβάσεων προς το μνημείο,
- β) την οργάνωση των κινήσεων πεζών, οχημάτων και εξυπηρετήσεων,
- γ) τις επεμβάσεις σε υφιστάμενα στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου, όπως διαμορφώσεις εδάφους, αναλημματικά στοιχεία, δάπεδα, φυτεύσεις, περιφράξεις ή λοιπές κατασκευές,
- δ) την ένταξη νέων στοιχείων εξοπλισμού, σήμανσης, φωτισμού ή αστικού εξοπλισμού,
- ε) τη διατήρηση, αποκατάσταση ή ανάδειξη ιστορικών στοιχείων του περιβάλλοντος χώρου,
- στ) τη διασφάλιση της αναγνωσιμότητας και της οπτικής ανάδειξης του μνημείου,

-
- ζ) την ενσωμάτωση των απαιτήσεων προσβασιμότητας, ασφάλειας και εξυπηρέτησης των επισκεπτών.

Η τεκμηρίωση των επεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο αποδίδεται με σχέδια, τομές, όψεις, τρισδιάστατες απεικονίσεις ή άλλο κατάλληλο τεκμηριωτικό υλικό, στον βαθμό που απαιτείται για την πλήρη κατανόηση και αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων.

5.5.1.13 Τεκμηρίωση Χρήσεων, Λειτουργιών και Ροών Κίνησης

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη τεκμηριώνει την οργάνωση των χρήσεων, των λειτουργιών και των ροών κίνησης εντός του μνημείου και του περιβάλλοντος χώρου του, με στόχο τη διασφάλιση της λειτουργικότητας, της ασφάλειας και της προστασίας των χαρακτηριστικών στοιχείων του.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την οριστική διάταξη των κύριων και βοηθητικών λειτουργικών ενότητων,
- β) την οργάνωση των κινήσεων επισκεπτών, χρηστών, προσωπικού και οχημάτων εξυπηρέτησης, όπου απαιτείται,
- γ) τον προσδιορισμό των κύριων και δευτερευουσών εισόδων και διαδρομών κίνησης,
- δ) τη διερεύνηση της συμβατότητας των προτεινόμενων λειτουργιών με τα μορφολογικά, κατασκευαστικά και ιστορικά χαρακτηριστικά του μνημείου,
- ε) την ενσωμάτωση των απαιτήσεων ασφάλειας, πυροπροστασίας, προσβασιμότητας και διαχείρισης επισκεπτών,
- στ) την αξιολόγηση των επιπτώσεων των προτεινόμενων λειτουργιών και ροών κίνησης στα χαρακτηριστικά στοιχεία και στις αξίες του μνημείου,
- ζ) τη διασφάλιση της αναγνωσιμότητας της ιστορικής οργάνωσης και της χωρικής διάρθρωσης του μνημείου, όπου αυτή διατηρείται.

Η τεκμηρίωση των χρήσεων, των λειτουργιών και των ροών κίνησης αποδίδεται, κατά περίπτωση, με λειτουργικά διαγράμματα, κατόψεις, σχηματικές απεικονίσεις ή άλλο κατάλληλο τεκμηριωτικό υλικό και λαμβάνεται υπόψη κατά τον συντονισμό με τις λοιπές μελέτες του έργου.

5.5.1.14 Συνολική Αξιολόγηση της Προτεινόμενης Λύσης

Η οριστική αρχιτεκτονική μελέτη περιλαμβάνει συνολική αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης, με σκοπό την τεκμηρίωση της καταλληλότητάς της ως προς την προστασία, διατήρηση, λειτουργία και μακροχρόνια διαχείριση του μνημείου.

Η αξιολόγηση βασίζεται στη συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων των επιμέρους διερευνήσεων της μελέτης και εξετάζει τη συνολική αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων επεμβάσεων σε σχέση με τους στόχους προστασίας και ανάδειξης του μνημείου.

Η αξιολόγηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη συνολική εκτίμηση της συμβατότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων με τις αξίες, τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τη φυσιογνωμία του μνημείου,
- β) την αξιολόγηση της συμβολής της προτεινόμενης λύσης στη μακροχρόνια προστασία, λειτουργία, συντήρηση και διαχείριση του μνημείου,
- γ) την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας και της προσαρμοστικότητας της προτεινόμενης λύσης έναντι μελλοντικών λειτουργικών, περιβαλλοντικών ή τεχνικών απαιτήσεων,
- δ) την τεκμηρίωση της συνολικής καταλληλότητας της προτεινόμενης λύσης, λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εφαρμογής της, τις απαιτήσεις υλοποίησης και τη συμβολή της στη βιώσιμη διατήρηση του μνημείου,
- ε) την τεκμηρίωση των βασικών μέτρων που απαιτούνται για τον περιορισμό ή την αντιμετώπιση πιθανών δυσμενών επιπτώσεων κατά την υλοποίηση και τη μελλοντική λειτουργία του έργου.

Η συνολική αξιολόγηση αποτελεί το τελικό στάδιο τεκμηρίωσης της οριστικής αρχιτεκτονικής μελέτης και υποστηρίζει την επιλογή της προτεινόμενης λύσης ως της καταλληλότερης για την προστασία, ανάδειξη και διαχρονική διατήρηση του μνημείου.

5.5.2 Οριστική μελέτη φέρουσας κατασκευής

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 8 παρ. 3 η οριστική μελέτη φέρουσας κατασκευής περιέχει:

- α) *Τεχνική περιγραφή, η οποία περιλαμβάνει οριστική πρόταση επεμβάσεων στερέωσης, επισκευής ή ενίσχυσης, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν παρατηρήσεις της εγκριτικής απόφασης της προμελέτης, αποτίμηση της φέρουσας κατασκευής μετά από τις επεμβάσεις, η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς (μέσω απλών ή προηγμένων υπολογιστικών προσομοιωμάτων του συνόλου του μνημείου καθώς και τμημάτων του, λαμβάνοντας κατάλληλα υπόψη τις προτεινόμενες επεμβάσεις), την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων ή/και την αναγκαιότητα λήψης πρόσθετων μέτρων, με τρόπο ώστε να τεκμηριώνεται η επιρροή των προτεινόμενων μέτρων στη μηχανική συμπεριφορά του επισκευασμένου φορέα. Περιλαμβάνονται τεύχη υπολογισμών και ελέγχων, αναφέρονται οι παραδοχές της μελέτης και των υλικών των επεμβάσεων και αιτιολόγηση της επιλογής τους, οι Κανονισμοί που εφαρμόζονται, πλήρης επίλυση και διαστασιολόγηση των προτεινόμενων επεμβάσεων, αναλυτική περιγραφή των προβλεπόμενων εργασιών και μεθόδων εφαρμογής των επεμβάσεων και της σύνδεσής τους με τον υφιστάμενο φέροντα οργανισμό. Η αιτιολόγηση της επιλογής των υλικών αφορά όχι μόνο σε ζητήματα τεχνικής αρτιότητας αλλά και στη συμφωνία τους με τη δεοντολογία των επεμβάσεων σε μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους.*
- β) *Σχέδια, στα οποία σημειώνεται ο υφιστάμενος φέρων οργανισμός και τα τυχόν μη φέροντα στοιχεία (εάν συνεκτιμώνται), σχεδιάζονται όλες οι προτεινόμενες επεμβάσεις, η θεμελίωση τυχόν νέων στοιχείων, σε συνδυασμό με την υφιστάμενη, οι τυχόν επεμβάσεις στην υφιστάμενη θεμελίωση, τυχόν καθαιρέσεις φερόντων ή άλλων στοιχείων και αναφέρονται συνοπτικά τα μέτρα ασφαλείας, τυχόν υποστυλώσεις ή αντιστηρίξεις. Ο ακριβής προσδιορισμός των κλιμάκων των σχεδίων εξαρτάται από την έκταση και τη φύση του υπό μελέτη έργου. Αν προβλέπονται νέα δομικά στοιχεία, η σύνδεσή τους με την υφιστάμενη φέρουσα κατασκευή πρέπει απαραίτητως να φαίνεται σε σχέδια*

λεπτομερειών. Περιλαμβάνεται, επίσης, προμέτρηση και προϋπολογισμός της δαπάνης του μελετώμενου έργου. Ο προϋπολογισμός υπολογίζεται βάσει της έκτασης ή του όγκου του έργου και βάσει τιμών μονάδος εγκεκριμένων ή τιμών που προκύπτουν από στατιστικά στοιχεία κόστους παρομοίων έργων.

5.5.3 Οριστική μελέτη Η/Μ εγκαταστάσεων

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 8 παρ. 4 η οριστική Η/Μ μελέτη:

- Οριστικοποιεί τις επιλογές της προμελέτης,
- Ενσωματώνει τυχόν παρατηρήσεις της εγκριτικής απόφασης,
- Τεκμηριώνει την δυνατότητα ή μη προσαρμογής των εγκαταστάσεων του μνημείου στις απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και τις απαιτήσεις της κείμενης νομοθεσίας (ΤΟΤΕΕ 20701-1), ενώ προσδιορίζει και την ενεργειακή κλάση του κτιρίου.
- Περιγράφει αναλυτικά τις προβλεπόμενες εργασίες και μεθόδους,
- Τεκμηριώνει την επιλογή υλικών όχι μόνο τεχνικά αλλά και δεοντολογικά,

Η οριστική μελέτη ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων περιέχει:

- α) Στοιχεία και υπολογισμούς
 - Τα απαραίτητα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη κατά την εκπόνηση της αρχιτεκτονικής μελέτης και της μελέτης φέρουσας κατασκευής.
 - Την σύνταξη υπολογισμών για τον προσδιορισμό των διαστάσεων δικτύων, μηχανημάτων και συσκευών, των απαιτούμενων για την πρόβλεψη των σχετικών χώρων εγκαταστάσεως ή διελεύσεως.
- β) Σχέδια ως ακολούθως:
 - Σχέδια εις τα οποία απεικονίζεται η πορεία των δικτύων οριζοντίως και κατακορύφως μετά των διαστάσεων.
 - Κατόψεις των θέσεων των διαφόρων συσκευών σε χαρακτηριστικούς χώρους μετά των διαστάσεων αυτών.
 - Κατόψεις των απαιτητών χώρων για την εγκατάσταση των κεντρικών μηχανημάτων και συσκευών ως και αναλυτική διάταξη αυτών.
 - Κατακόρυφα Διαγράμματα των εγκαταστάσεων
- γ) Τεχνική περιγραφή των εγκαταστάσεων ώστε μετά των σχεδίων να δίδεται πλήρης εικόνα αυτών. Επίσης εκτίθεται το είδος και ο τρόπος κατασκευής των προβλεπόμενων εγκαταστάσεων καθώς επίσης και οι τύποι των χρησιμοποιούμενων συσκευών κα δικτύων.
- δ) Ενδεικτικό προϋπολογισμό ανά είδος εγκαταστάσεων και συνοπτικός που προκύπτει από συντελεστές παρεμφερών έργων.

Η οριστική Η/Μ μελέτη αποτελεί το δεσμευτικό πλαίσιο για την εκτέλεση του έργου.

5.5.3.1 Η/Μ μελέτη και βιωσιμότητα επεμβάσεων

Η Η/Μ μελέτη αποκτά πρόσθετο ρόλο ως φορέας:

- πολιτιστικής βιωσιμότητας (διατήρηση αυθεντικότητας, αναβάθμιση του μνημείου χωρίς να αλλοιώνει τον χαρακτήρα του),
- λειτουργικής βιωσιμότητας (συμβατότητα χρήσεων, ενεργειακή αναβάθμιση και εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας),
- μακροχρόνιας διαχειρισιμότητας (πρόβλεψη συντήρησης, φιλικότητα προς το περιβάλλον, απομακρυσμένος έλεγχος – monitoring εγκαταστάσεων).

Οι επιλογές της Η/Μ μελέτης επηρεάζουν άμεσα το σύστημα ποιότητας (QMS), το σχέδιο συντήρησης και το post-project monitoring, όπως αυτά αναπτύσσονται στα επόμενα κεφάλαια.

5.5.3.2 Τυποποίηση Η/Μ μελετών

Το ελάχιστο υποχρεωτικό περιεχόμενο που ορίζει η ΥΑ μπορεί να μετατραπεί σε:

- πρότυπα τεύχη Η/Μ μελετών,
- δομημένα templates τεχνικών εκθέσεων,
- πρότυπα σύνολα σχεδίων ανά στάδιο,
- ψηφιακά πρότυπα παραδοτέων.

Η τυποποίηση αυτή, σε συνδυασμό με το π.δ. 696/1974, ενισχύει:

- την ομοιομορφία,
- τη διαφάνεια,
- την ελεγκσιμότητα,
- και τη συνολική ποιότητα των έργων αποκατάστασης μνημείων

Μετατροπή σε πρότυπα τεύχη και templates

Το σύνολο των ανωτέρω απαιτήσεων μπορεί να μετασχηματιστεί σε:

- πρότυπα τεύχη τεχνικών προδιαγραφών,
- δομημένα templates μελετών ανά κατηγορία,
- checklists πληρότητας και συμμόρφωσης,
- ψηφιακά πρότυπα (digital templates) για ενοποιημένη τεκμηρίωση.

Η προσέγγιση αυτή εξασφαλίζει:

- ομοιομορφία μελετών,
- διαφάνεια και ελεγκσιμότητα,
- μείωση αστοχιών και αποκλίσεων,
- πλήρη συμβατότητα με την ΥΑ και το π.δ. 696/1974 .

5.5.4 Οριστική μελέτη υλικών (Προτάσεις υλικών)

5.5.4.1 Σκοπός

Η οριστική μελέτη υλικών αποσκοπεί στην τεκμηριωμένη επιλογή των καταλληλότερων υλικών για κάθε προβλεπόμενη επέμβαση, σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις και τις θεμελιώδεις αρχές που καθορίστηκαν κατά την προμελέτη υλικών.

Στο στάδιο αυτό διερευνώνται, αξιολογούνται και συγκρίνονται εναλλακτικές λύσεις μέσω εργαστηριακών δοκιμών, πιλοτικών εφαρμογών και λοιπών κατάλληλων διαδικασιών, ώστε να επιλεγεί εκείνη που ανταποκρίνεται τεκμηριωμένα στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης επέμβασης.

Η επιλογή των υλικών βασίζεται στη συνολική αξιολόγηση όλων των τεχνικών απαιτήσεων που καθορίστηκαν κατά την προμελέτη και δεν τεκμηριώνεται από μία μόνο ιδιότητα ή δοκιμή.

5.5.4.2 Προϋποθέσεις και βάσεις σχεδιασμού

Η οριστική μελέτη υλικών εκπονείται βάσει:

- α) των τεχνικών απαιτήσεων που καθορίστηκαν κατά την προμελέτη,
- β) των αποτελεσμάτων της διαγνωστικής μελέτης,
- γ) των αποτελεσμάτων των επιμέρους μελετών των λοιπών ειδικοτήτων,
- δ) των διαθέσιμων πρώτων υλών, φυσικών υλικών και εμπορικών προϊόντων που δύνανται να χρησιμοποιηθούν στο έργο,
- ε) των ισχυόντων προτύπων, τεχνικών προδιαγραφών και κανονιστικών απαιτήσεων.

5.5.4.3 Διαδικασία εκπόνησης

Η οριστική μελέτη περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη διερεύνηση και επιλογή κατάλληλων πρώτων υλών, φυσικών υλικών ή εμπορικών προϊόντων,
- β) τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συνθέσεων, όπου απαιτείται,
- γ) την παρασκευή δοκιμών και τη διενέργεια εργαστηριακών δοκιμών,
- δ) την αξιολόγηση των φυσικών, χημικών, μηχανικών και λειτουργικών ιδιοτήτων των υποψήφιων λύσεων,
- ε) την αξιολόγηση της συμβατότητάς τους με τα ιστορικά υλικά και την υφιστάμενη κατασκευή,
- στ) την αξιολόγηση της συμπεριφοράς τους έναντι των αναμενόμενων περιβαλλοντικών και λειτουργικών καταπονήσεων,
- ζ) τη βελτιστοποίηση των υποψήφιων λύσεων, όπου απαιτείται,
- η) τη διενέργεια πιλοτικών εφαρμογών μικρής κλίμακας, όταν αυτές κρίνονται απαραίτητες για την επιβεβαίωση της καταλληλότητας των επιλεγμένων λύσεων.

5.5.4.4 Αξιολόγηση υποψήφιων λύσεων

Η αξιολόγηση των υποψήφιων λύσεων πραγματοποιείται σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις που καθορίστηκαν κατά την προμελέτη και περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

-
- α) αξιολόγηση της συμβατότητας με τα ιστορικά υλικά,
 - β) αξιολόγηση των φυσικών, χημικών, μηχανικών και λειτουργικών ιδιοτήτων,
 - γ) αξιολόγηση της συνεργασίας των υλικών με την κατασκευή,
 - δ) αξιολόγηση της ανθεκτικότητας έναντι των αναμενόμενων περιβαλλοντικών και λειτουργικών δράσεων,
 - ε) αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της επέμβασης ως προς τον επιδιωκόμενο στόχο,
 - στ) αξιολόγηση της δυνατότητας εφαρμογής στο συγκεκριμένο μνημείο.

Η αξιολόγηση πραγματοποιείται, κατά περίπτωση, ανά κατηγορία επέμβασης (φυσικοί λίθοι, κονιάματα, ενέματα, υλικά στερέωσης, υλικά προστασίας κ.λπ.) σύμφωνα με τις αντίστοιχες εργαστηριακές και επιτόπιες δοκιμές και τα ισχύοντα πρότυπα.

5.5.4.4.1. Επιλογή φυσικού λίθου αποκατάστασης και συμπλήρωσης

5.5.4.4.1.1. Γενικά κριτήρια

Ο **λίθος αποκατάστασης** θα πρέπει να παρουσιάζει:

- **Ικανοποιητικές** και ταυτόχρονα **συμβατές μηχανικές ιδιότητες**. Ο λίθος αποκατάστασης θα πρέπει να παρουσιάζει επαρκείς αντοχές για τις ανάγκες στατικής επάρκειας του μνημείου, ωστόσο θα πρέπει να μην παρουσιάζει υπερβολικά υψηλές μηχανικές αντοχές, καθώς σε αντίθετη περίπτωση τίθεται σε κίνδυνο ο αυθεντικός λίθος.
- **Αισθητική εναρμόνιση**. Ο λίθος αποκατάστασης θα πρέπει να παρουσιάζει παρόμοιο χρώμα και υφή με τον αυθεντικό λίθο, ώστε να εναρμονίζεται από αισθητικής απόψεως.
- **Παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες**. Ο λίθος αποκατάστασης θα πρέπει να παρουσιάζει παρόμοια υδρομετρικά χαρακτηριστικά με τον αυθεντικό λίθο, ώστε να μην επιδρά αρνητικά στον αυθεντικό λίθο, ιδιαίτερα στην περίπτωση συμπλήρωσης του αρχικού λίθου με λίθο αποκατάστασης.
- **Παρόμοια πετρογραφικά χαρακτηριστικά**. Ιδανικά ο λίθος αποκατάστασης θα πρέπει να παρουσιάζει παρόμοια πετρογραφικά χαρακτηριστικά και μάλιστα να είναι παρόμοιου γεωλογικού σχηματισμού με τον αυθεντικό λίθο.

Το **λατομείο** από το οποίο θα εξορύσσεται ο λίθος αποκατάστασης θα πρέπει:

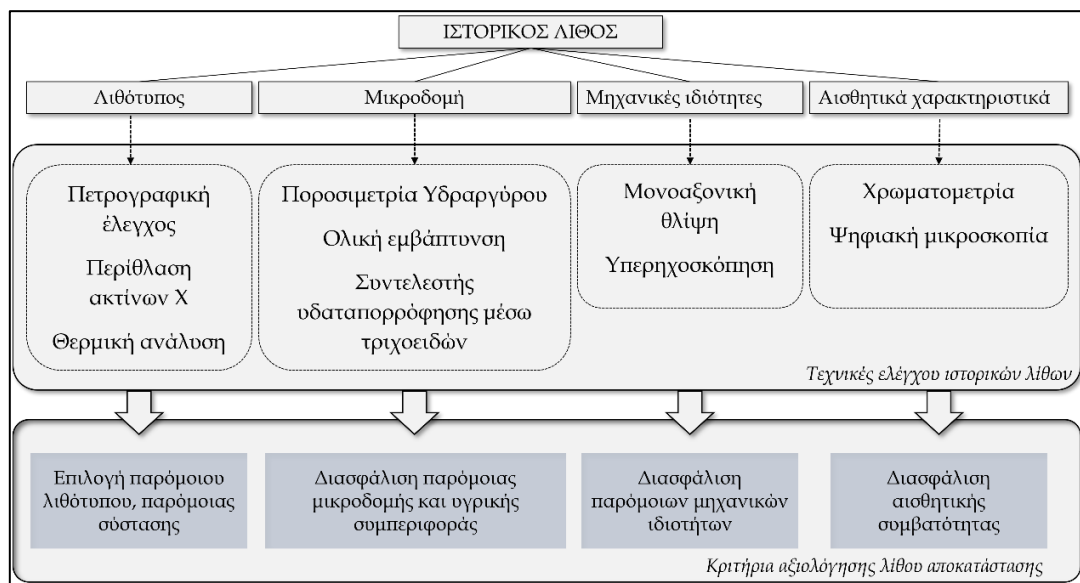
- Να είναι ήδη ενεργό ή να είναι δυνατή η διάνοιξη λατομείου για αρχαιολογικούς σκοπούς (δημιουργία δανειοθαλάμου με αξιοποίηση του ν. 4512/2018 άρθρο 51 «Εκμετάλλευση λατομείων βιομηχανικών ορυκτών, μαρμάρων και φυσικών λίθων», παρ. 4).
- Να έχει επαρκή ποσότητα λίθου της ποιότητας που έχει επιλεγεί για την συνολική αποκατάσταση του μνημείου ώστε να μην χρησιμοποιούνται πολλοί και διαφορετικοί λίθοι.
- Να παρουσιάζει σχετική ομοιογένεια, ώστε να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά του λίθου που θα χρησιμοποιηθεί στις επεμβάσεις.
- Η διαμόρφωση του πετρώματος θα πρέπει να επιτρέπει την εξαγωγή ογκόλιθων κατάλληλου μεγέθους για την αποκατάσταση του εκάστοτε μνημείου.

5.5.4.4.1.2. Κριτήρια αξιολόγησης του λίθου αποκατάστασης βάσει των αναλύσεων στον ιστορικό λίθο

Η αξιολόγηση του λίθου αποκατάστασης αφορά στους ακόλουθους ελέγχους, όπως αυτοί πραγματοποιήθηκαν και για τον χαρακτηρισμό των ιστορικών λίθων που καλούνται να αντικαταστήσουν:

- Φυσικές ιδιότητες
- Ορυκτολογικός-πετρογραφικός έλεγχος
- Χημικά χαρακτηριστικά
- Υγρομετρικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά μικροδομής
- Δοκιμές αντοχής (μονοαξονική θλίψη και κάμψη)
- Μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων
- Μελέτη της ανθεκτικότητας των λίθων σε κύκλους αλάτων ή/και παγετού ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες και την έκθεση

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται τα Κριτήρια αξιολόγησης του λίθου αποκατάστασης βάσει των αναλύσεων στον ιστορικό λίθο



Εικόνα 5.5.4-1 Κριτήρια αξιολόγησης του λίθου αποκατάστασης βάσει των αναλύσεων στον ιστορικό λίθο

Πίνακας 5.5.4-1 Πρότυπα και Προδιαγραφές για τον χαρακτηρισμό φυσικών λίθων σε εργαστηριακό επίπεδο

Τεχνικές	Πρότυπα και Προδιαγραφές
Χαρακτηρισμός - Προδιαγραφές	• NORMAL 6/81 (1981) Caratterizzazione di Materiali Litici di Cava: Schema di Scheda - Characterization of stone materials from quarries: indexing system.
Οπτική μικροσκοπία – Πετρογραφία	• NORMAL 10/82 (1982) Descrizione Petrografica dei Materiali Lapidei Naturali - Petrographic Description of Natural Stone Materials • NORMAL 14/83 (1983) Sezioni Sottili e Lucide di Materiali Lapidei: Tecnica di Allestimento - Thin and Polished Sections of Stone Materials – Preparation Technique
Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) & μικροανάλυση Ακτινών Χ	• ISO 16700:2004 Microbeam analysis – Scanning electron microscopy – Guidelines for calibrating image magnification • NORMAL 8/81 (1981) Esame delle Caratteristiche Morfologiche al Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) - Examination of Morphological Characteristics by Scanning Electron Microscopy (SEM)
Περίθλαση Ακτινών Χ (XRD)	• NORMAL 34/91 (1991) Analisi di Materiali Argillosi mediante XRD - Analysis of Clay Materials by X-Ray Diffraction (XRD)
Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ ((XRF)	• ASTM E1621-22 (2022) Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry
Πορώδες – Κατανομή Πόρων (Ποροσιμετρία Υδραργύρου κα)	• ISO 15901-1:2016 Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption - Part 1: Mercury porosimetry • ISO 15901-2:2022 Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption Part 2: Analysis of nanopores by gas adsorption • NORMAL 4/80 (1980) Distribuzione del Volume dei Pori in Funzione del loro Diametro - Pore Volume Distribution as a Function of Pore Diameter
Θερμομηχανική ανάλυση (TMA)	• EN 14581:2004 Natural stone test methods. Determination of linear thermal expansion coefficient • ASTM E831 – 25 (2025) Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis
Φαινόμενη Πυκνότητα – όγκος κενών- Πορώδες	• EN 1936:2006, Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity • UNI 11060:2003, Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti
Υγρομετρικά χαρακτηριστικά	• EN 15801:2009, Conservation of cultural property - Test methods – Determination of water absorption by capillarity • EN 15803:2009, Conservation of cultural property - Test methods – Determination of water vapor permeability • EN 13755:2008 Natural stone. Test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure

Τεχνικές	Πρότυπα και Προδιαγραφές
Περιεκτικότητα διαλυτών αλάτων	• NORMAL 7/81 (1981) Assorbimento d'Acqua per Immersione Totale – Capacità di Imbibizione - Water Absorption by Total Immersion – Imbibition Capacity • NORMAL 11/85 (1985) Assorbimento d'Acqua per Capillarità – Coefficiente di Assorbimento Capillare - Water Absorption by Capillarity – Capillary Absorption Coefficient • NORMAL 21/85 (1985) Permeabilità al Vapor d'Acqua - Water Vapour Permeability • NORMAL 29/88 (1988) Misura dell'Indice di Asciugamento (Drying Index) - Measurement of the Drying Index • NORMAL 33/89 (1989) Misura dell'Angolo di Contatto - Measurement of Contact Angle • NORMAL 44/93 (1993) Assorbimento d'Acqua a Bassa Pressione - Water Absorption at Low Pressure
Ανθεκτικότητα σε άλατα και σε παγετό	• NORMAL 13/83 (1983) Dosaggio dei Sali Solubili • EN 12370 (2020) Natural stone test methods - Determination of resistance to salt crystallisation • RILEM TC 271-ASC, which stands for "Accelerated laboratory test for the assessment of the durability of materials with respect to salt crystallization" • EN 12371:2010, Natural stone test methods – Determination of frost resistance
Μηχανικές αντοχές	• EN 1926 2006 Natural Stone Test Methods Uniaxial Compressive Strength • EN 12372:2006, Natural stone test methods – Determination of flexural strength under concentrated load • EN 14157:2017, Natural stone test methods – Determination of the abrasion resistance • EN 13364:2001, Natural stone test methods – Determination of the breaking load at dowel hole • EN 14231:2003, Natural stone test methods – Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester • EN 14158:2004, Natural stone test methods – Determination of the breaking energy • EN 14580:2005 Natural stone test methods. Determination of static elastic modulus • EN 14146:2004 Natural stone test methods. Determination of the dynamic elastic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency) • EN 14158:2004 Natural stone test methods. Determination of rupture energy
Δοκιμές στην κλίμακα της τοιχοποιίας	• ASTM C1072-19 (2019) Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength • BS EN 1052 - Methods of test for masonry ▪ Part 1 Methods of test for masonry. Determination of compressive strength ▪ Part 2 Methods of test for masonry. Determination of flexural strength

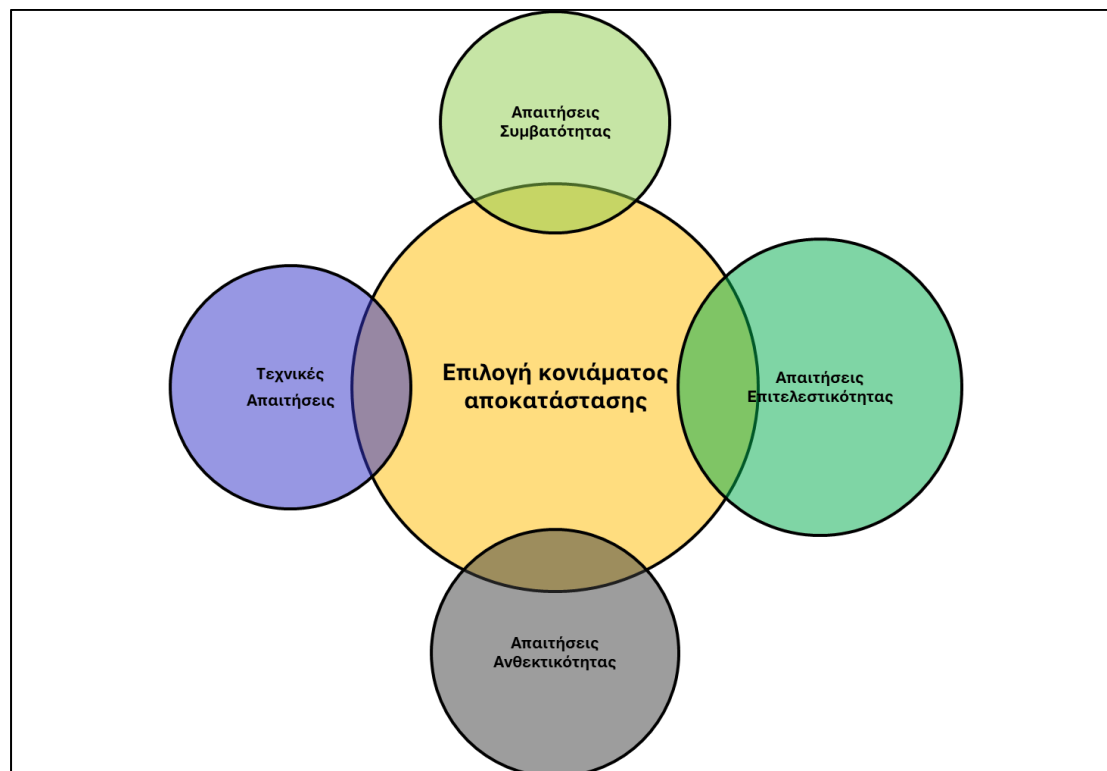
Τεχνικές	Πρότυπα και Προδιαγραφές
	- Part 3 Methods of test for masonry. Determination of initial shear strength - Part 4 Methods of test for masonry. Determination of shear strength including damp proof course - Part 5 Methods of test for masonry. Determination of bond strength by the bond wrench method.

5.5.4.4.2. Σχεδιασμός και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης

5.5.4.4.2.1. Μελέτη ιστορικού κονιάματος στο εργαστήριο

Οι βασικές απαιτήσεις ενός κονιάματος αποκατάστασης αποτελούν και τη βάση του σχεδιασμού του. Προαπαιτούμενα αποτελούν:

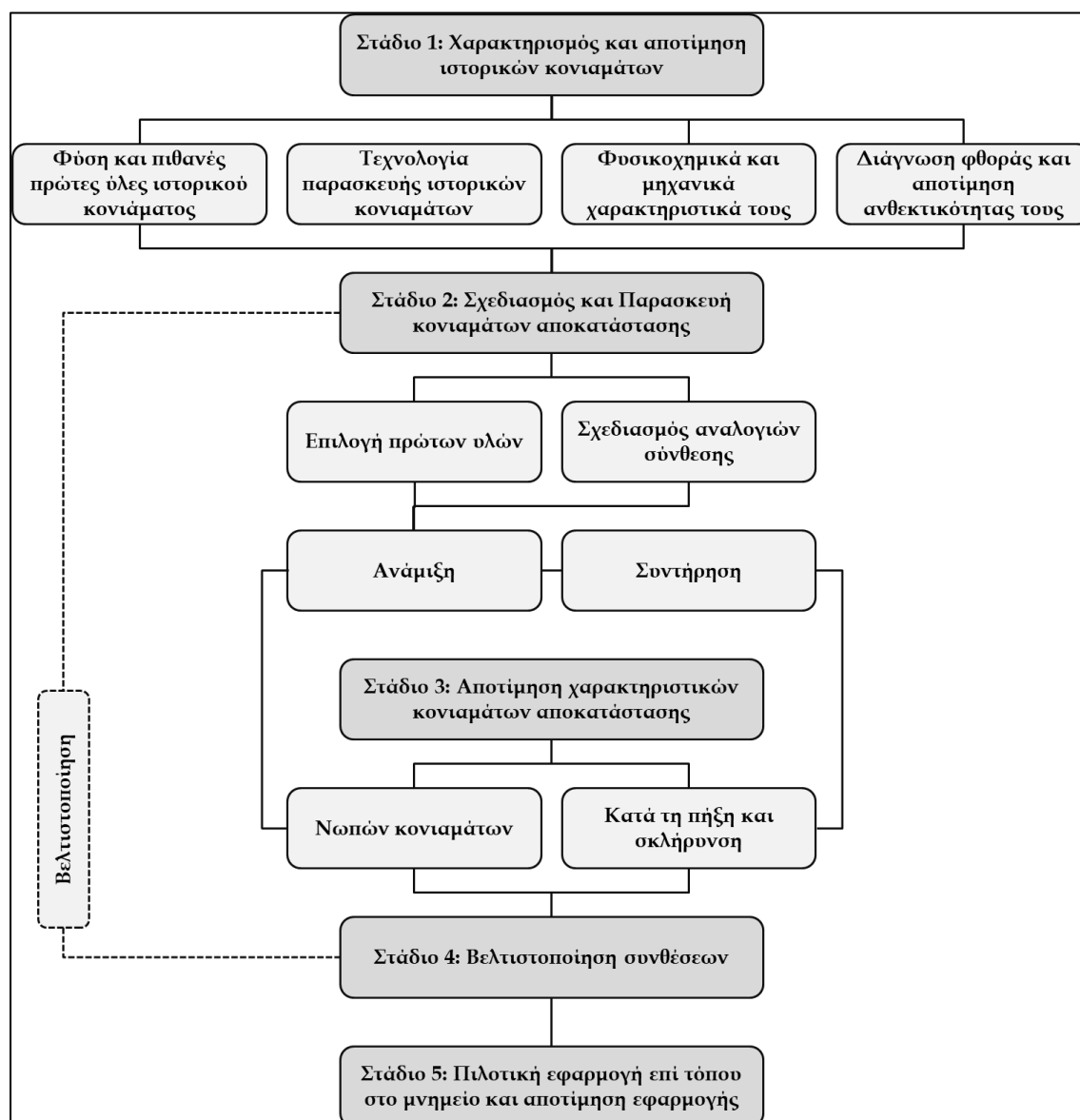
- Για τις απαιτήσεις συμβατότητας, ο χαρακτηρισμός όλων των δομικών υλικών του μνημείου, καθώς το κονίαμα καλείται να συνεργαστεί με όλα τα υλικά
- Για τις απαιτήσεις επιτελεσματικότητας, η συμπεριφορά του μνημείου στην υπάρχουσα κατάσταση και σε διαφορετικά σενάρια αποκατάστασης
- Για τις τεχνικές απαιτήσεις, τα γεωμετρικά δεδομένα και οι τεχνικές λεπτομέρειες του έργου αποκατάστασης (πχ χρονοδιάγραμμα)
- Για την ανθεκτικότητα, τα περιβαλλοντικά φορτία στα οποία υπόκειται το μνημείο.



Εικόνα 5.5.4-2 Βασικές απαιτήσεις για την επιλογή κονιάματος αποκατάστασης

Οι βασικές αρχές για τη συμβατότητα και την επιτελεστικότητα των κονιαμάτων αποκατάστασης αναφέρονται στο Παράρτημα Β-ΙV αναλυτικά. Υλικά που έχουν αποδειχτεί μη συμβατά για χρήση σε μνημεία και παραδοσιακές κατασκευές είναι το τσιμέντο και τα διάφορα πολυμερή υλικά. Τονίζεται ότι η έλλειψη συμβατότητας μεταξύ ιστορικών υλικών και υλικών αποκατάστασης έχει αρνητική επίδραση και στην ανθεκτικότητα του μνημείου/ιστορικού κτηρίου.

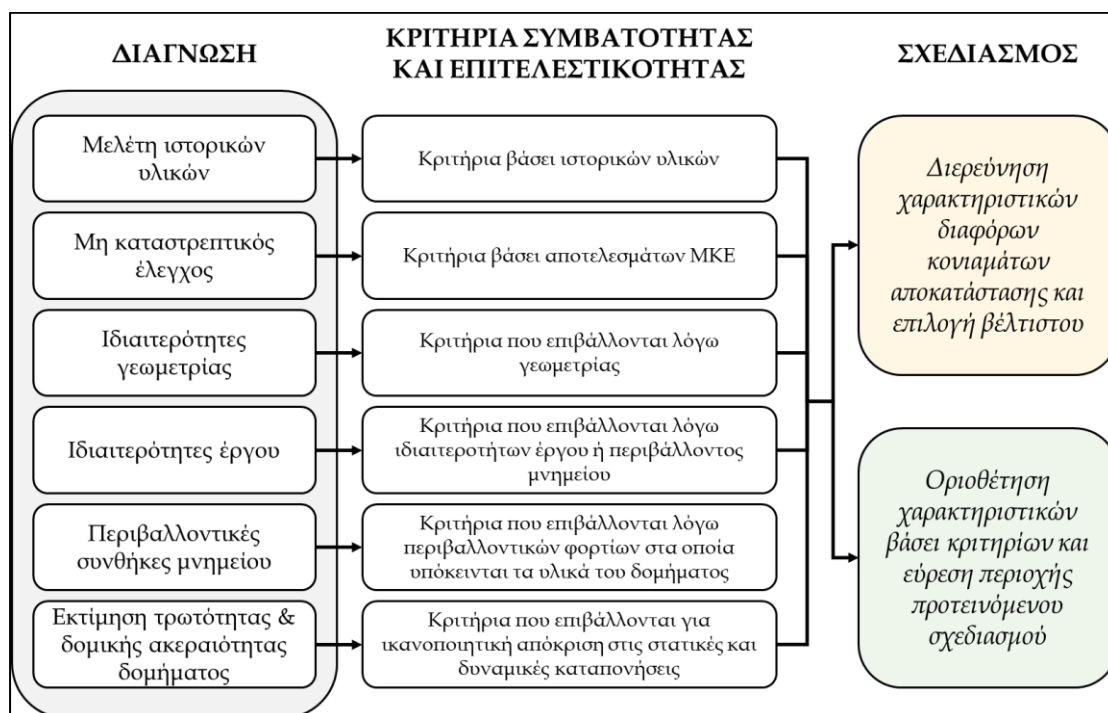
Σημαντικό πρώτο εργαλείο για τον σχεδιασμό αποτελεί η μεθοδολογία της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης, η οποία παίρνει ως δεδομένα εισόδου τα αποτελέσματα από τον χαρακτηρισμό του ιστορικού κονιάματος. Η αντίστροφη μηχανική προσέγγιση μπορεί, σε πρώτο στάδιο, να επιτρέψει την επιλογή της κόνιας, των αδρανών και τυχόν προσθέτων για τον σχεδιασμό των κονιαμάτων.



Εικόνα 5.5.4-3 Σχεδιασμός κονιαμάτων αποκατάστασης βάσει της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης

Η αντίστροφη μηχανική προσέγγιση αποτελεί τη βάση για τον σχεδιασμό, ωστόσο στο πλαίσιο της βελτιστοποίησης των συνθέσεων των κονιαμάτων, θα πρέπει να λαμβάνεται το σύνολο της πληροφορίας που απορρέει από τη διαγνωστική μελέτη. Η διάγνωση οδηγεί στα κριτήρια συμβατότητας και επιτελεσματικότητας που απαιτείται να πληρούν τα κονιάματα αποκατάστασης και τα κριτήρια οδηγούν στον σχεδιασμό:

1. διάγνωση της κατάστασης διατήρησης του μνημείου και των δομικών του υλικών και περιλαμβάνει τη μελέτη (χαρακτηρισμό και διάγνωση της φθοράς) των ιστορικών δομικών τους υλικών, με έμφαση στα κονιάματα, τον έλεγχο του δομήματος με χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών, τη μελέτη της ιδιαιτερότητας των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών, την αποκάλυψη ιδιαίτερων περιβαλλοντικών φορτίων που υπόκεινται το μνημείο και τα δομικά του υλικά, τις ιδιαιτερότητες (εφόσον υπάρχουν) του έργου αποκατάστασης και, τέλος, την εκτίμηση της τρωτότητάς του στην υπάρχουσα κατάσταση, διαμέσου υπολογιστικών τεχνικών,
2. συγκεκριμενοποίηση και προτεραιοποίηση κριτηρίων σε σχέση με την επίτευξη της συμβατότητας και της επιτελεσματικότητας που θα πρέπει να πληρούν τα κονιάματα αποκατάστασης, βάσει των αποτελεσμάτων της διάγνωσης, αλλά και τις βασικές απαιτήσεις που τίθενται για κονιάματα αποκατάστασης, και
3. μελέτη διαφόρων κονιαμάτων αποκατάστασης, ώστε να αποφανθεί, βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων, ποιο κονίαμα αποκατάστασης είναι το βέλτιστο για εφαρμογή στο εν λόγω μνημείο.



Εικόνα 5.5.4-4 Βασικό μεθοδολογικό διάγραμμα συνολικού σχεδιασμού κονιαμάτων με τα κριτήρια συμβατότητας και επιτελεσματικότητας

Ο σχεδιασμός συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης ακολουθεί 3 βασικά βήματα:

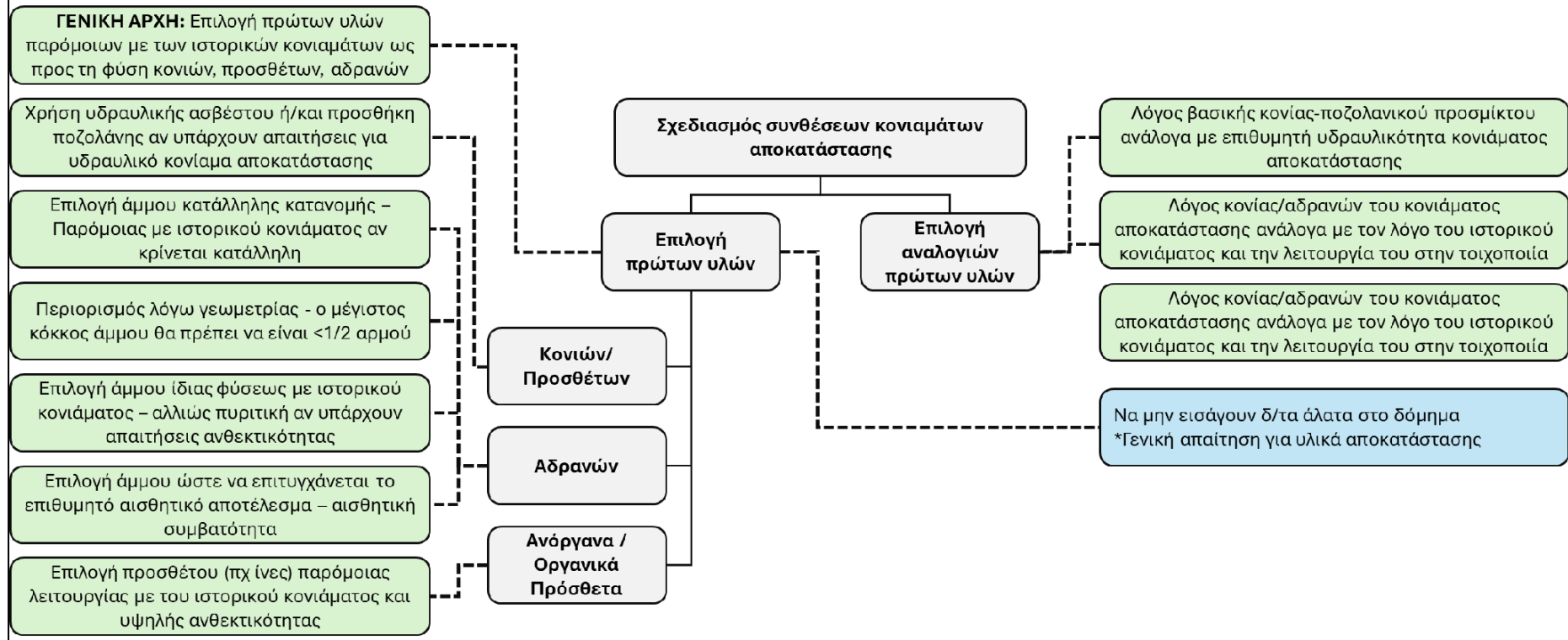
1. Επιλογή πρώτων υλών και αναλογιών σύνθεσης, δηλαδή επιλογή βασικής κονίας, τυχόν προσθέτων, αναλογία βασικής κονίας-προσθέτων, αναλογία κονίας (ή κονίας και προσθέτων)/αδρανών, αναλογία κονίας/νερού (που συνδέεται με την εξάπλωση, χαρακτηριστικό των νωπών κονιαμάτων),
2. Εξέταση νωπών χαρακτηριστικών κονιαμάτων αποκατάστασης, τα οποία συνδέονται με την σωστή εφαρμογή του κονιάματος, αλλά επηρεάζουν και τα τελικά χαρακτηριστικά του κονιάματος,
3. Εξέταση χαρακτηριστικών κονιαμάτων αποκατάστασης κατά την πήξη και σκλήρυνση και στο πέρας αυτής, το οποίο φυσικά διασυνδέεται και με τις συνθήκες ωρίμανσης. Τα κριτήρια που τίθενται λόγω απαιτήσεων συμβατότητας, επιτελεστικότητας και ανθεκτικότητας, αλλά και λόγω τεχνικών απαιτήσεων υπεισέρχονται σε αυτήν τη διαδικασία όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα.

<i>Πρώτες ύλες</i>	<i>Πρόσθετα</i>	<i>Αναλογίες συστατικών</i>	<i>Συντήρηση δοκιμών</i>
Ίδιος τύπος κονίας και διαφοροποίηση ως προς τον παραγωγό	Αντικατάσταση μέρους της κονίας με ποζολάνη	Διαφοροποίηση ως προς την αναλογία κονίας/αδρανών	Διαφοροποίηση ως προς τις συνθήκες συντήρησης των δοκιμών
Διαφοροποίηση ως προς τον τύπο της κονίας ή μίξη κονιών	Διαφοροποίηση ως προς τον τύπο ποζολανικού προσθέτου	Διαφοροποίηση ως την ποσότητα προστιθέμενου νερού*	
Διαφοροποίηση ως προς τα αδρανή (φύση ή/και κοκκομετρία)	Χρήση ανόργανων/οργανικών προσθέτων	Διαφοροποίηση ως προς το ποσοστό συμμετοχής των προσθέτων	

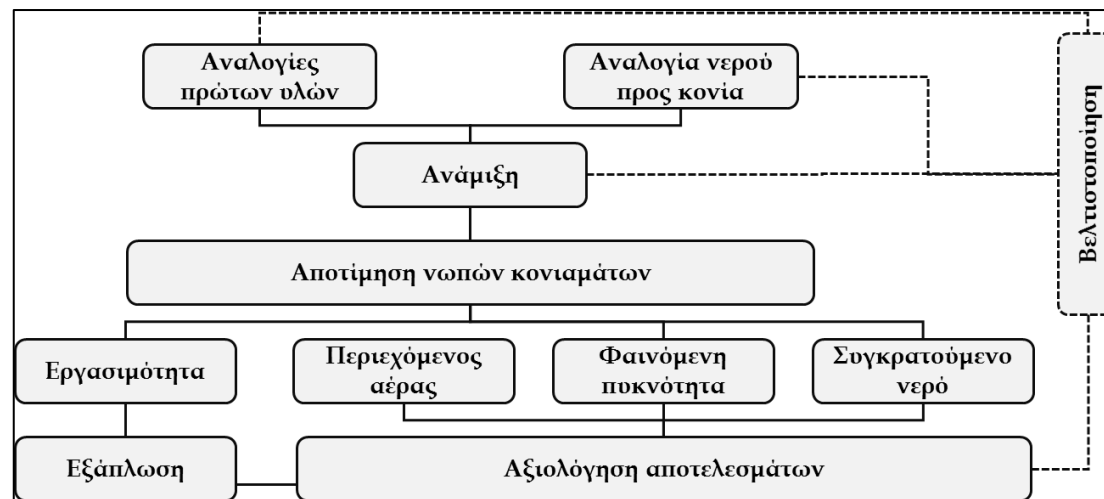
**Πρέπει να καταγράφεται η εργασιμότητα*

Εικόνα 5.5.4-5 Γενικοί παράμετροι σχεδιασμού ενός κονιάματος

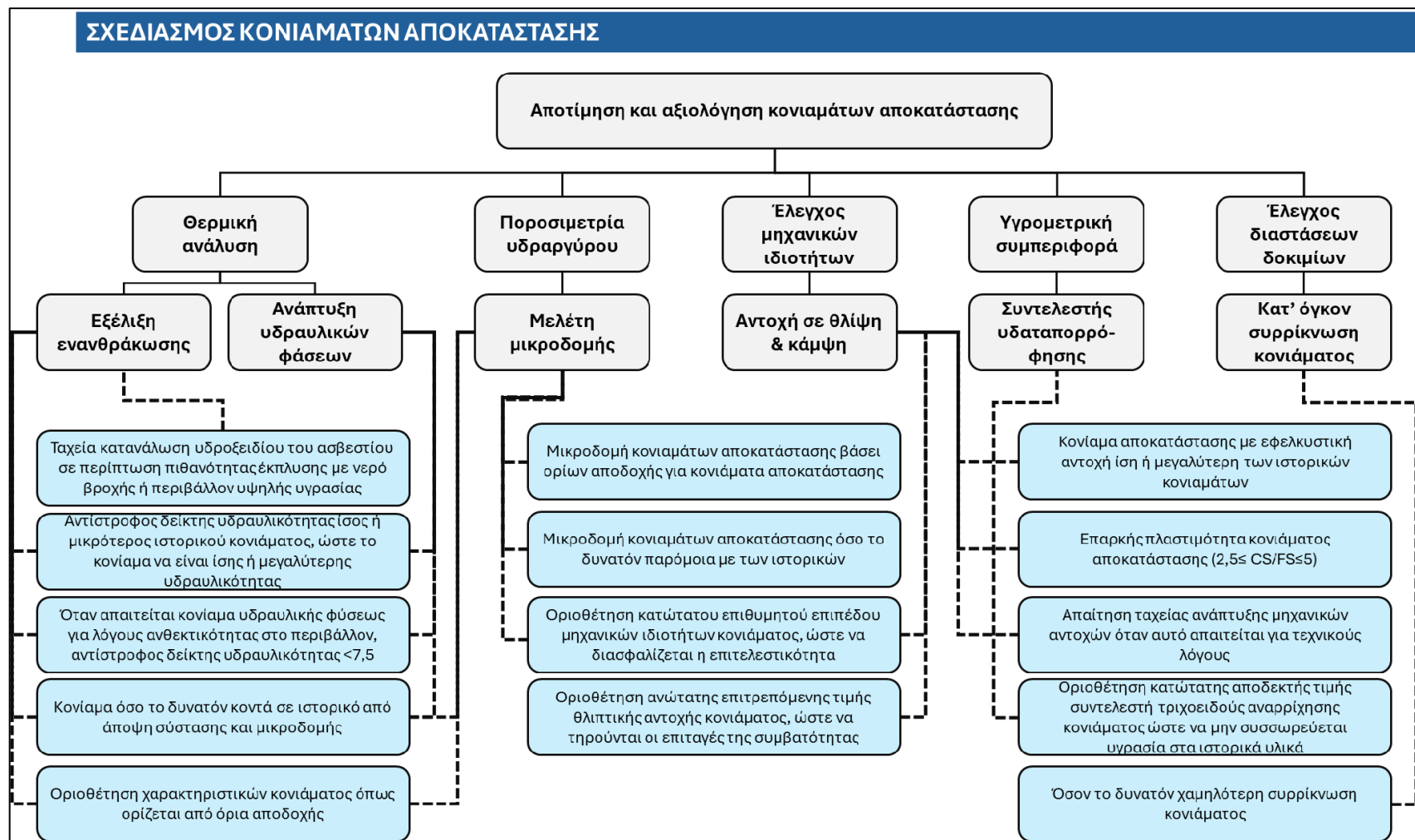
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Εικόνα 5.5.4-6 Διασύνδεση κριτηρίων σχεδιασμού και επιλογής πρώτων υλών και σχεδιασμού συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης



Εικόνα 5.5.4-7 Μεθοδολογία μελέτης νωπών κονιαμάτων



Εικόνα 5.5.4-8 Διασύνδεση κριτηρίων σχεδιασμού συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης και αποτίμησης των χαρακτηριστικών των κονιαμάτων αποκατάστασης κατά τη πήξη και τη σκλήρυνση (όρια αποδοχής – Παράρτημα Β-II)

5.5.4.4.2.2. Παρασκευή και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης στο Εργαστήριο

Στη συνέχεια επιλέγονται οι κατάλληλες πρώτες ύλες για να γίνουν δοκιμαστικές συνθέσεις (trial mixes) που θα ελεγχθούν ως προς τις ιδιότητες, όπως αυτές έχουν καθοριστεί από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ανάλυσης του παλαιού ιστορικού κονιάματος.

A) Επιλογή και έλεγχος πρώτων υλών

A.1) Όσον αφορά στη συνδετική ύλη

Τα παραδοσιακά κονιάματα, ως επί τω πλείστων, έχουν σαν κύρια συνδετική ύλη είτε την υδράσβεστο είτε την υδραυλική άσβεστο. Η υδράσβεστος μπορεί να είναι είτε σε μορφή σκόνης είτε πολτού. Η υδράσβεστος, σε οποιαδήποτε μορφή θα πρέπει να τηρεί τα εξής κριτήρια: (i) ο ασβεστόλιθος από τον οποίο προέρχεται πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 98-99% CaCO_3 , (ii) η θερμοκρασία έψησης του αρχικού ασβεστόλιθου πρέπει να είναι γύρω στους 900-950°C, έτσι ώστε να παράγεται μικροκρυσταλλικό CaO με υψηλή τιμή ειδικής επιφάνειας, επαρκώς ενεργό, χωρίς προβλήματα στην σβέση, (iii) θα πρέπει να επιτυγχάνεται κατάλληλη σβέση του CaO για την παραγωγή Ca(OH)_2 είτε σε μορφή σκόνης (στοιχειομετρική αναλογία σβέσης) είτε σε μορφή πολτού (περίσσεια νερού και φύραση σε κατάλληλο χώρο και συνθήκες, (iv) το ελεύθερο νερό, στην περίπτωση του πολτού, θα πρέπει να είναι χαμηλότερο του 50%, (v) η υδράσβεστος, είτε σε μορφή σκόνης είτε σε μορφή πολτού, θα πρέπει να τηρεί τις προδιαγραφές του σχετικού προτύπου, EN 459-1-2, για υδράσβεστο σε μορφή σκόνης CL 90-S και υδράσβεστο σε μορφή πολτού CL 90-S PL. Σε περίπτωση που χρειάζεται να παρασκευαστούν κονιάματα με τη τεχνολογία επί τόπου υψηλής έσβεσης, θα πρέπει η άσβεστος (το οξειδίο του ασβεστίου) να τηρεί τις προδιαγραφές που θέτει το ίδιο πρότυπο για CL 90-Q.

Η φυσική υδραυλική άσβεστος, διατίθεται σε τρεις τύπους NHL2, NHL3.5 και NHL5. Κατά τον σχεδιασμό, θα πρέπει κανείς να επιλέγει, βάσει των τελικών χαρακτηριστικών που επιθυμεί να παρουσιάζει το κονίαμα, τον κατάλληλο τύπο. Σε κάθε περίπτωση, η φυσική υδραυλική άσβεστος θα πρέπει να τηρεί τα εξής κριτήρια: (i) η θερμοκρασία έψησης του αρχικού πετρώματος δεν πρέπει να ξεπερνά τους 900-950°C, και σε κάθε περίπτωση πρέπει να διασφαλίζεται ότι δεν ξεπερνάει τους 1200°C, ούτε τοπικά, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία αλίτη και να προάγεται η δημιουργία μπελίτη, που θα πρέπει να υπάρχει σε ικανό ποσοστό, (ii) πρέπει να διασφαλίζεται καλή σβέση, έτσι ώστε το CaO να μετατραπεί σε Ca(OH)_2 χωρίς την ενυδάτωση των υδραυλικών φάσεων, (iii) Μικρή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα, (iv) τιμή αντοχής όχι χαμηλότερη από την εκάστοτε κατώτατη τιμή στις 28 ημέρες, αναλόγως του τύπου υδραυλικής ασβέστου, ενώ παράλληλα, θα πρέπει να διερευνάται και η αντοχή που αναπτύσσει σε μεγαλύτερους χρόνους ωρίμανσης, ώστε να αποφεύγονται ζητήματα ασυμβατότητας με τα ιστορικά δομικά υλικά από άποψη μηχανικών ιδιοτήτων, (v) να είναι σε συμφωνία με αυτά που ορίζονται στο σχετικό πρότυπο EN 459-1, αναλόγως του τύπου υδραυλικής ασβέστου.

A.2) Όσον αφορά στα ποζολανικά πρόσμικτα

Οι ποζολάνες, είτε φυσικές είτε τεχνητές, θα πρέπει να παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (i) το ποσοστό οξειδίου του πυριτίου και οξειδίου του αργίλου θα πρέπει να είναι άνω του 70%, (ii) το ποσοστού δραστικού πυριτίου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30%, (iii) θα πρέπει να παρουσιάζουν μεγάλη λεπτότητα, με μέγεθος κόκκων κάτω των 63 μm και ιδανικά κάτω των 45 μm , (iv) θα πρέπει να παρουσιάζουν υψηλή ειδική επιφάνεια,

τουλάχιστον 8m²/g, (v) η όπτηση θα πρέπει να έχει γίνει στην κατάλληλη θερμοκρασία (σε περίπτωση τεχνητής ποζολάνης), ανάλογα με τις αρχικές αργιλικές φάσεις, σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 900°C, (vi) η αντοχή σε θλίψη διαμέσου της δοκιμής ποζολανικότητας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με 6,5 MPa.

A.3) Όσον αφορά στα αδρανή

Η άμμος θα πρέπει να παρουσιάζει ομαλή, σιγμοειδής κοκκομετρική καμπύλη. Προτιμάται ως επί τω πλείστον η άμμος πυριτικής φύσεως (ποταμίσις), δεδομένου ότι είναι πιο ανθεκτική σε περιβαλλοντικά φορτία, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται η χρήση άμμου ασβεστολιθικής φύσεως, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου το ιστορικό κονίαμα παρουσιάζει άμμο καθαρά ασβεστολιθική και που η κονία είναι ασβεστιτική, λόγω της συμβατότητάς της με την εν λόγω συνδετική κονία. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να μην περιέχει προσμίξεις όπως άλατα, αργίλους κλπ. Η παιπάλη (λεπτόκοκκο υλικό που διαπερνά το κόσκινο των 63μm) δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 3%. Η κοκκομετρία, δηλαδή η μέγιστη διάμετρος άμμου, θα πρέπει να καθορίζεται ανάλογα με τη χρήση και το πάχος του αρμού ή του κενού που καλείται να πληρώσει το κονίαμα.

Η υγρασία τους θα πρέπει επίσης να είναι χαμηλή, κάτω του 3%, ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά η πρόσφυση μεταξύ του αδρανούς και της συνδετικής κονίας, αλλά και να μην είναι ευπαθή σε παγετό.

Το ισχύον πρότυπο σύμφωνα με το οποίο γίνεται η επιλογή των αδρανών για χρήση σε κονιάματα είναι το EN 13139:2013, Aggregates for mortar, το οποίο καθορίζει τις γεωμετρικές, φυσικές και χημικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα αδρανή υλικά, καθορίζεται η ονοματολογία των αδρανών υλικών μέσω του μεγέθους των κόκκων τους, ορίζονται γενικά όρια αποδοχής των κοκκομετρικών καμπυλών (άνω και κάτω όρια επί του ημιλογαριθμικού διαγράμματος) και καθορίζεται ως απαιτούμενη χαρακτηριστική παράμετρος του υλικού (που πρέπει να καταγράφεται στο αντίστοιχο τεχνικό δελτίο) το μέσον της κατανομής, δηλαδή το μέγεθος του κόσκινου (mm) από το οποίο διέρχεται το 50% του υλικού. Επιπροσθέτως, καθορίζονται μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις σε χλωριόντα, θειικά, θειούχα και οργανικές ουσίες.

Στον σχεδιασμό συνθέσεων κονιαμάτων, σημαντικό ρόλο παίζει το ποσοστό του όγκου των κενών των αδρανών υλικών, καθώς καθορίζει το ποσοστό της απαίτησης σε κονία στη σύνθεση του επισκευαστικού κονιάματος. Παράλληλα, αδρανή με ευρεία και ομαλή κατανομή απαιτούν μικρότερη ποσότητα κονίας από ότι αδρανή με συγκεντρωμένες κατανομές, γεγονός που επιτρέπει να περιορίζονται φαινόμενα συρρίκνωσης και μικρορηγματώσεων κατά την ωρίμανση του κονιάματος.

Όσον αφορά στη χρήση θραυστού κεραμικού ως ενεργό αδρανές, το θραυστό κεραμικό για να μπορέσει να επιτελέσει τον σκοπό του στο κονίαμα, θα πρέπει να τηρεί τις κάτωθι προδιαγραφές: (i) η θερμοκρασία έψησης του αρχικού κεραμικού δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τους 900°C, ώστε να μην αλλοιώνονται οι ενεργές φάσεις που μετέχουν στην ποζολανική αντίδραση κεραμικού-υδρασβέστου, ενώ (ii) οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του αρχικού κεραμικού θα πρέπει να περιέχουν μικρή ποσότητα CaCO₃.

Μετά την επιλογή των πρώτων υλών, θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος αυτών, ώστε να είναι δυνατή η επιβεβαίωση των χαρακτηριστικών τους. Σε περίπτωση που έχουν άλλα

χαρακτηριστικά από τα επιθυμητά, επανεξετάζεται η επιλογή των πρώτων υλών, ώστε να διασφαλιστεί η συμφωνία τους ως προς τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται είναι οι εξής:

- Η κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών εξετάζεται σύμφωνα με το EN 1015-1, ώστε να ελεγχθεί η κοκκομετρική καμπύλη και το ποσοστό παιπάλης. Η κοκκομετρία της συνδετικής ύλης ελέγχεται με κοκκομετρική ανάλυση LASER. Έλεγχος κοκκομετρίας συνδετικής ύλης και ποζολάνης με κοκκομετρική ανάλυση LASER
- Προσδιορισμός φαινομένου βάρους αδρανών με τη χρήση πρότυπων κυλινδρικών δοχείων σταθερού και συγκεκριμένου όγκου (1L, 3L 5L). Το φαινόμενο βάρος ενός αδρανούς υλικού βοηθάει στην εξαγωγή κατά βάρος ποσοστιαίων αναλογιών των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή του κονιάματος αποκατάστασης
- Δοκιμή ισοδύναμου άμμου, η οποία πραγματοποιείται στις άμμους σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-8
- Θερμικές Μέθοδοι DTA/TG, σε θερμοκρασιακό εύρος 25-1000°C με ρυθμό αύξησης 10°C/min πραγματοποιούνται σε όλες τις πρώτες ύλες για τον έλεγχο της σύστασής τους
- Ποροσιμετρία υδραργύρου, η οποία πραγματοποιείται μόνο σε αδρανή τα οποία δύναται να επηρεάσουν την μικροδομή του κονιάματος αποκατάστασης (π.χ. θραυσμένο κεραμικό ή πορώδη αδρανή)
- Περίθλαση ακτίνων X (XRD), για τον ποιοτικό προσδιορισμό ορυκτών στα αδρανή υλικά, σε τυχόν πρόσθετα καθώς και στις συνδετικές κονίες
- Ανάλυση φθορισμού ακτίνων X (XRF), για την ποιοτική στοιχειακή ανάλυση των πρώτων υλών και την εξαγωγή της χημικής τους σύστασης
- Προσδιορισμός δραστικού πυριτίου των ποζολανών με το πρότυπο EN-197-1 ή δοκιμή Chapelle.

Πίνακας 5.5.4-2 Τεχνικές, Πρότυπα και Οδηγίες για τον έλεγχο πρώτων υλών για κονιάματα

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Ορολογία – Γενικά για τον χαρακτηρισμό	• EN 998-1:2016 Specification for mortar for masonry Part 1: Rendering and plastering mortar BSI Standards Publication • EN 998-2 (2003). Specification for Mortar for Masonry – Masonry Mortar. • UNI 11089:2003, Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte • UNI 10924 (2023). Conservation of Cultural Heritage – Mortars for Structural and Decorative Elements – Classification and Terminology. • NORMAL 23/87 (1987) Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte - Technical Terminology – Definitions and Description of Mortars • NORMAL 26/87, 1987. Caratterizzazione delle malte da utilizzare nel restauro dei manufatti di interesse storico-artistico. • NORMAL 23/86 Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte
Πρώτες ύλες – ασβέστης - γύψος	• EN 459-1: 2015. Building Lime-Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria. • EN 459-2: 2015 Building Lime-Part 2: Test methods • EN 459-3: 2015 Building Lime-Part 3: Conformity evaluation • EN 13279-2:2004 Gypsum binders and gypsum plasters. Test methods

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Πρώτες ύλες – ποζολάνες	• EN 196-5 2011. Methods of Testing Cement – Part 5: Pozzolanicity Test for Pozzolanic Cements • ASTM C821-14 2014. Standard Specification for Lime for Use with Pozzolans • ASTM C311 2023. Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete • ASTM C379 2007. Test Method for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars (Lime-Pozzolan Systems) • AFNOR, NFP 18-513:2012. Addition for concrete - Metakaolin - Specifications and conformity criteria
Πρώτες ύλες - αδρανή	• EN 1015-1 Methods of test for mortar for masonry. Determination of particle size distribution (by sieve analysis). • EN 933-1 (current edition). Tests for Geometrical Properties of Aggregates – Determination of Particle Size Distribution. • EN 1097-3 (current edition). Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates – Determination of Loose Bulk Density and Voids. • EN 1097-6 (current edition). Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates – Determination of Particle Density and Water Absorption • NORMAL 12/83 (1983) Aggregati Artificiali di Clasti a Matrice Legante non Argillosa: Schema di Descrizione (Riferito a malte a matrice non argillosa) - Artificial Aggregates of Clasts with Non-Clay Binder Matrix – Description Scheme (Refers to non-clay mortars) • NORMAL 15/84 (1984) Manufatti e Aggregati a Matrice Argillosa: Schema di Descrizione (Riferito a malte a matrice argillosa) - Manufactured Products and Aggregates with Clay Matrix – Description Scheme (Refers to clay-based mortars)
Πρόσμικτα - χρωστικές	• EN 934-3, 2012. <i>Admixtures for Concrete, Mortar and Grout – Admixtures for Masonry Mortar.</i> • EN 12878:2005 Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime. Specifications and methods of test. • ASTM C1384, 2023. <i>Specification for Admixtures for Mortar.</i> • ASTM C979, 2024. <i>Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete.</i>

B. Αποτίμηση δοκιμαστικών συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης σε νωπή φάση και κατά την πήξη και σκλήρυνση

Μετά την επιλογή και τον έλεγχο των πρώτων υλών, παρασκευάζονται κονιάματα αποκατάστασης. Ανάλογα με τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού των ιστορικών κονιαμάτων και τις πρώτες ύλες που επιλέχθηκαν στην πρώτη φάση, σχεδιάζονται συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης, αποτελούμενων από μίγματα διαφόρων αναλογιών συνδετικής ύλης, αδρανών, πρόσθετων, υπό διάφορες συνθήκες και με ποικίλους τρόπους, με διαφορετική ποσότητα προστιθέμενου νερού αναλόγως της επιθυμητής εργασιμότητας.

Οι δοκιμαστικές συνθέσεις και έλεγχοι γίνονται στο εργαστήριο ως εξής:

Τα κονιάματα διερευνώνται στη **νωπή τους φάση**, ως προς τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Εξάπλωση του νωπού κονιάματος, η οποία μετρείται διαμέσου τράπεζας εξάπλωσης, σύμφωνα με το EN 1015-3. Η εξάπλωση συνδέεται με την εργασιμότητα του κονιάματος, την ευκολία εφαρμογής του στο μνημείο ή της ιστορική κατασκευή, και συνεπώς με την ποιότητα των εργασιών.
2. Περιεχόμενος αέρας του νωπού κονιάματος, ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με το EN 1015-7. Το ποσοστό του αέρα που εγκλωβίζεται στο κονίαμα κατά την ανάμιξη, αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην αποτίμησή του, καθώς κατά την πήξη και σκλήρυνση μετατρέπεται σε κενό χώρο. Από τη μία επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των αντοχών, από την άλλη όμως έρευνες έχουν δείξει ότι επηρεάζουν το σύστημα των τριχοειδών χώρων, προσφέροντας χώρο σε τυχόν προσροφημένο από το περιβάλλον νερό, να διογκωθεί σε συνθήκες παγετού, χωρίς να επηρεάζεται η δομή του κονιάματος. Συνεπώς, αναλόγως του ζητούμενου, το εν λόγω χαρακτηριστικό αξιολογείται με διαφορετικό τρόπο. Στα κονιάματα όπου δεν έχει γίνει χρήση προσθέτων, η τιμή του περιεχόμενου αέρα δύσκολα υπερβαίνει το 3%.
3. Φαινόμενη πυκνότητα του νωπού κονιάματος, σύμφωνα με το EN 1015-3. Η φαινόμενη πυκνότητα είναι σημαντική, όχι μόνο γιατί σχετίζεται με την φαινόμενη πυκνότητα που θα έχει το κονίαμα μετά την πήξη και τη σκλήρυνση, αλλά και για τη διαδικασία της διαστασιολόγησης του έργου αποκατάστασης, από άποψη προμήθειας απαραίτητων πρώτων υλών και συνεπαγόμενα κόστους, όσον αφορά στην εφαρμογή των κονιαμάτων αποκατάστασης.
4. Συγκρατούμενο νερό του νωπού κονιάματος, σύμφωνα με το EN 1015-8. Το συγκρατούμενο νερό είναι ένδειξη του κατά πόσο έχει την τάση να συγκρατεί το κονίαμα το νερό ανάμιξης, όταν εφαρμόζεται σε πορώδη υλικά, ώστε να μην διαταράσσεται το μίγμα κατά την εφαρμογή και να διασφαλίζεται ομαλή πήξη και σκλήρυνση. Ζητούμενο είναι να έχει όσο το δυνατόν υψηλότερο ποσοστό συγκρατούμενου νερού, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζεται σε επαφή με πορώδη υλικά (π.χ. πλίνθους)

Παράλληλα, τα κονιάματα αποκατάστασης αξιολογούνται και **ως προς τα χαρακτηριστικά που αναπτύσσουν κατά τη πήξη και τη σκλήρυνση τους**, τα πιο βασικά εκ των οποίων είναι:

1. Φυσικές ιδιότητες. Όσον αφορά στις φυσικές ιδιότητες, απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός της φαινόμενης πυκνότητας των κονιαμάτων κατόπιν της σκλήρυνσης. Επιπλέον, πρέπει να εκτιμηθεί κατ' όγκον συρρίκνωση του κονιάματος αποκατάστασης. Η συρρίκνωση αφορά στην σύγκριση των διαστάσεων (του όγκου) ενός κονιάματος αποκατάστασης μετά τη πήξη και την σκλήρυνση σε σχέση με τον αρχικό όγκο του δοκιμίου, όταν το κονίαμα ήταν σε νωπή κατάσταση (δηλαδή διαστάσεις καλουπιού). Εκφράζεται σαν ποσοστό και επιθυμητό είναι να παρουσιάζει τιμή όσο το δυνατό χαμηλότερη. Η φυσική σημασία έγκειται στο ότι, όταν το κονίαμα εφαρμοστεί στο μνημείο, για παράδειγμα σε κάποιον αρμό μεταξύ δυο δομικών στοιχείων, είναι επιθυμητό να παρουσιάζει σταθερό όγκο. Η μεταβολή των διαστάσεων του μπορεί να οδηγήσει σε μικρομετακινήσεις και τάσεις, στη δημιουργία μικρορηγματώσεων ή και σε αποκόλληση του κονιάματος από τα κύρια δομικά στοιχεία, με αποτέλεσμα την μείωση της προστασία που προσφέρει, όχι μόνο από μηχανικής απόψεως, αλλά και από άποψη προστασίας από το περιβάλλον.
2. Χημικές ιδιότητες. Σχετικά με τις χημικές ιδιότητες, πρέπει να αποτιμάται η εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων κατά τη φάση της πήξης και σκλήρυνσης. Η μελέτη αυτή γίνεται με χρήση των θερμικών μεθόδων ανάλυσης, οι οποίες και αποδίδουν ποσοτικά αποτελέσματα, ενώ ιδανικά συνοδεύονται από μετρήσεις ορυκτολογικής ανάλυσης, ή και

οπτικής μικροσκοπίας και ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης. Επιπλέον με αυτή τη μεθοδολογία είναι δυνατή η μελέτη των προϊόντων της σκλήρυνσης, των υδραυλικών ενώσεων που σχηματίζονται και άρα της υδραυλικότητας των κονιαμάτων (ανά περίπτωση), καθώς και του πορτλαντίτη που δεν έχει ενανθρακωθεί, καθώς και του παραγόμενου ανθρακικού ασβεστίου. Ειδικά για το θέμα του ελεύθερου πορτλαντίτη (που δεν έχει ενανθρακωθεί) εφικτή είναι η αποτίμηση του μέσω της δοκιμής με φαινολοφθαλείνη. Παράλληλα, αν η μελέτη αυτή γίνει σε σχέση με τον χρόνο, αποτιμάται ο χρόνος της χημικής σταθεροποίησης των κονιαμάτων ώστε να είναι εφικτή η επιλογή του βέλτιστου κονιάματος σε δεδομένες συνθήκες περιβαλλοντικών φορτίων. Παράλληλα, μελετάται και ο σχηματισμός τυχόν παραπροϊόντων που ίσως δεν είναι επιθυμητά.

3. **Μικροδομή.** Η μελέτη της μικροδομής είναι υψίστης σημασίας για τη συμβατότητα με τα ιστορικά δομικά υλικά, αλλά και την ανθεκτικότητα του κονιάματος αποκατάστασης. Η ποροσιμετρία υδραργύρου είναι η βέλτιστη μέθοδος για την πλήρη αποκάλυψη των χαρακτηριστικών της μικροδομής ενός κονιάματος αποκατάστασης, ωστόσο αρκετοί ερευνητές χρησιμοποιούν και πιο απλές μεθόδους, όπως η ολική εμβάπτιση σε νερό. Ωστόσο δια αυτού του τρόπου μελετάται μόνο το συνολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό, συνεπώς δεν αποκαλύπτεται η μικροδομή ως προς τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη συμβατότητα (μέση ακτίνα πόρων και κατανομή πορώδους), ενώ μετρήσεις με νερό δίνουν παραπλανητικά αποτελέσματα όταν υπάρχει μεγάλη ποσότητα παραμένου πορτλαντίτη (καθώς είναι εξαιρετικά διαλυτός στο νερό) και όταν έχει γίνει χρήση υδροφοβικών, ενώ έχουν μειωμένες δυνατότητες ως προς το εύρος των πόρων που μπορούν να μετρήσουν.
4. **Υγρομετρικές ιδιότητες.** Ο προσδιορισμός του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης του κονιάματος αποκατάστασης είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς η ανερχόμενη υγρασία όχι μόνο αποτελεί μηχανισμό εισαγωγής υγρασίας στα δομικά υλικά ενός μνημείου ή μιας ιστορικής κατασκευής, αλλά αποτελεί και πηγή διαλυτών αλάτων που μπορούν εν συνεχεία να μετακινηθούν και να κρυσταλλωθούν είτε στα δομικά υλικά είτε στην διεπιφάνεια αυτών. Σκοπός είναι η χρήση ενός κονιάματος, το οποίο να διασφαλίζει μια ομοιογενή θερμοϋγκρική συμπεριφορά στην τοιχοποιία, χωρίς να αυξάνει τα υγρικά φορτία που εισέρχονται μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, αλλά και χωρίς να άγει τα υγρικά φορτία προς τα ιστορικά δομικά υλικά. Η εκτίμηση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης γίνεται σύμφωνα με το EN 1015-18. Παράλληλα, σημαντικό στοιχείο αποτελεί η διαπερατότητα, η οποία είναι ένδειξη της «διαπνοής» της τοιχοποιίας, η οποία αποτελεί και σημαντικό παράγοντα αποτίμησης της συμβατότητας μιας επέμβασης. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα κονιάματα με παραδοσιακές πρώτες ύλες παρουσιάζουν ικανή διαπερατότητα, σε αντίθεση με τα κονιάματα τσιμέντου.
5. **Μηχανικές αντοχές κονιάματος αποκατάστασης.** Οι μηχανικές αντοχές ενός κονιάματος αποκατάστασης είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς καθορίζουν τη συμβατότητα του κονιάματος αποκατάστασης με τα ιστορικά δομικά υλικά, από άποψη μηχανικών αντοχών, ενώ είναι καθοριστικές ως προς την επιτελεσματικότητα του κονιάματος αποκατάστασης σε σχέση με την απόκριση που προσφέρει σε στατικές και δυναμικές καταπονήσεις. Πιο συνήθης είναι η μέτρηση της αντοχής του κονιάματος σε θλίψη και σε κάμψη σύμφωνα με το EN1015-11. Οι μηχανικές ιδιότητες πρέπει να μελετώνται σε σχέση με τον χρόνο, καθώς, ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση παραδοσιακών πρώτων υλών, όπως η υδράσβεστος ή η υδραυλική άσβεστος, οι μηχανικές αντοχές παρουσιάζουν αξιοσημείωτες μεταβολές για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τις 28 ημέρες που ορίζουν τα πρότυπα. Ωστόσο είναι σημαντικό και ο έλεγχος σε μικρούς χρόνους, ώστε να μελετάται το επίπεδο ανάπτυξης των πρώιμων αντοχών, ιδιαίτερα σε σεισμογενείς χώρες,

όπου τα μνημεία και οι ιστορικές κατασκευές μπορεί να υποστούν σεισμική δράση ανά οποιαδήποτε στιγμή.

6. Συνάφεια με τα γειτονικά δομικά υλικά. Προσδιορισμός της δύναμης δεσμού μεταξύ του κονιάματος αποκατάστασης και των δομικών υλικών που εφαρμόζεται.

Τα πρότυπα και οι προδιαγραφές παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.5.4-3 Τεχνικές, Πρότυπα και Οδηγίες για την αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Σε νωπή κατάσταση	
	• EN 1015-2:2009 – Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars • EN 1015-3:1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (flow table) • EN 1015-4:2009 – Methods of test for mortar for masonry – Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (plunger penetration) • EN 1015-6:1998/A1:2006 – Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar (• EN 1015-7:1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 7: Determination of air content of fresh mortar • EN 1015-8:1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar • EN 1015-9:2009 – Methods of test for mortar for masonry – Part 9: Determination of workable life and correction time of fresh mortar • EN 1015-17:2000 – Methods of test for mortar for masonry – Determination of water-soluble chloride content of fresh mortars
Κατόπιν Πήξης – Σκλήρυνσης	
Φυσικές Ιδιότητες	• EN 1015-10:2008/A1:2008 – Methods of test for mortar for masonry – Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar
–	
Φαινόμενη πυκνότητα, Συστολή ξήρανσης	• ASTM C596-23:2023 - Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement
Χημικές ιδιότητες	• EN 14630:2006 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method
Πορώδες – Κατανομή Πόρων (Ποροσιμετρία Υδραργύρου κα)	• ISO 15901-1:2016 Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption - Part 1: Mercury porosimetry • NORMAL 4/80 (1980) Distribuzione del Volume dei Pori in Funzione del loro Diametro - Pore Volume Distribution as a Function of Pore Diameter
Υγρομετρικά χαρακτηριστικά	• EN 1015-18:2002 – Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortars. • EN 1015-19:2001/A1:2006 – Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Μηχανικές ιδιότητες	• NORMAL 7/81 (1981). Water Absorption by Total Immersion – Imbibition Capacity. • ASTM E96/E96M-24, 2024. Standard Test Methods for Gravimetric Determination of Water Vapor Transmission Rate of Materials • EN 1015-11:2019 – Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar (2019) • RILEM 50-FMC (1985) – Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams – first issued 1985 under RILEM Technical Committee 50-FMC.
Συνάφεια	• EN 1015-12:2016 – Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates • EN 1052-5:2005 – Methods of test for masonry — Part 5: Determination of bond strength by the bond wrench method. • ASTM C952-02(2009) – <i>Standard Test Method for Bond Strength of Mortar to Masonry Units</i>

Γ.) Εφαρμογή και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης επί τόπου σε μικρή κλίμακα

Ακολουθεί παραγωγή σε μικρή κλίμακα των τελικών προτάσεων στο εργοτάξιο του Έργου υπό τις οδηγίες των υπευθύνων της προτεινόμενης σύνθεσης και δοκιμαστική εφαρμογή σε υποδεικνυόμενες από αναστηλωτές θέσεις της τοιχοποιίας. Δίνεται έτσι η ευκαιρία να ληφθεί απόφαση και για την τεχνική αρμολόγησης που θα ακολουθηθεί και συγχρόνως συμβαίνει εξοικείωση των τεχνιτών με το υλικό.

Κατά την εφαρμογή δίνονται οδηγίες, που αφορούν κυρίως στη συντήρηση των αρμολογημάτων ή επιχρισμάτων για ένα χρονικό διάστημα (ανάλογα με τα καιρικές συνθήκες και το είδος της συνδετικής κονίας).

Για την εκτίμηση της επιτελεστικότητας των νέων υλικών αποκατάστασης γίνεται επισκόπηση των διακριτών (σύμφωνα με τις αναστηλωτικές αρχές) τμημάτων τοιχοποιίας στα οποία έγινε επέμβαση. Η επισκόπηση αυτή αφορά στην καταγραφή των βλαβών, όπου εμφανίζονται σε συνδυασμό με κλιματικές ακραίες συνθήκες ή άλλες αλλαγές στον περιβάλλοντα χώρο.

Οι βλάβες αυτές συνήθως είναι:

- Ρηγματώσεις (κάθετες ή οριζόντιες)
- Αποκολλήσεις
- Εξανθίσεις αλάτων
- Αποτρίψεις επιφανειακού υλικού
- Δυσχρωμίες
- Βιολογική προσβολή
- Άλλα

Εφόσον γίνει η καταγραφή αναζητούνται τα αίτια με περεταίρω διερεύνηση, που μπορεί να χρειάζεται δειγματοληψία και ελέγχους περιεκτικότητας σε άλατα ή ελέγχους επί τόπου

καθιζήσεων ή και άλλους ελέγχους. Τα συμπεράσματα αποτυπώνονται σε σχετική έκθεση που επισυνάπτεται στο αρχείο του έργου αποκατάστασης. Τέτοιες εκθέσεις επισκοπήσεων και διερευνήσεων πρέπει να γίνονται κάθε χρόνο ή σε τακτά διαστήματα και να λαμβάνονται μέτρα προς αποφυγή επιδείνωσης των προβλημάτων. Μέχρι τώρα οι έλεγχοι αυτής της συμπεριφοράς των αποκαταστημένων μνημείων δεν γίνονται συστηματικά.

5.5.4.4.3. Σχεδιασμός και αποτίμηση ενεμάτων δομικής αποκατάστασης και πλήρωσης ασυνεχειών ιστορικών τοιχοποιιών

Με την ίδια μεθοδολογία ολιστικής διερεύνησης που προαναφέρθηκε για τα κονιάματα επέμβασης, προσδιορίζονται τα δεδομένα βάσει των οποίων πραγματοποιείται ο σχεδιασμός της σύνθεσης του ενέματος και η παρασκευή των δοκιμαστικών αναμιγμάτων. Η σύνθεση του ενέματος τεκμηριώνεται από τα αποτελέσματα της διαγνωστικής μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη τη χημική και ορυκτολογική σύσταση των ιστορικών υλικών, τη μικροδομή και το πορώδες τους, τα αίτια και τους μηχανισμούς φθοράς, τη γεωμετρία και τη μορφολογία των ασυνεχειών που πρόκειται να πληρωθούν, καθώς και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες λειτουργεί το μνημείο.

Ως προς τις πρώτες ύλες (συνδετικές κονίες, ποζολανικά υλικά, πληρωτικά και τυχόν πρόσθετα), εφαρμόζονται οι απαιτήσεις και οι έλεγχοι που προβλέπονται για τα κονιάματα επέμβασης. Η τελική σύνθεση του ενέματος προκύπτει κατόπιν εργαστηριακής αξιολόγησης και δοκιμαστικών εφαρμογών, με στόχο την επίτευξη της βέλτιστης συμβατότητας και αποτελεσματικότητας της επέμβασης. Προτιμάται το ένεμα να είναι ίδιας βάσεως με το κονίαμα αποκατάστασης, για βελτιστοποίηση της συμβατότητας και μείωση της ανομοιογενείας (π.χ. ασβεστοποζολανικό κονίαμα – ασβεστοποζολανικό ένεμα).

5.5.4.4.3.1 Χημική σύσταση και κριτήρια σχεδιασμού του ενέματος

Η επιλογή της χημικής σύστασης του ενέματος πρέπει να βασίζεται στην τεκμηριωμένη γνώση της χημικής και ορυκτολογικής σύστασης του ιστορικού υλικού, των προϊόντων φθοράς, των περιβαλλοντικών συνθηκών, καθώς και των υλικών προηγούμενων επεμβάσεων, ώστε να αποφεύγονται χημικές ασυμβατότητες, η εισαγωγή επιβλαβών ιόντων και η πρόκληση νέων μηχανισμών φθοράς.

Η σύνθεση του ενέματος πρέπει να εξασφαλίζει:

- χημική, ορυκτολογική, φυσική και μηχανική συμβατότητα με το ιστορικό υπόστρωμα,
- επαρκή ενεσιμότητα, ώστε να επιτυγχάνεται πλήρωση των ασυνεχειών χωρίς ανάπτυξη υπερβολικών πιέσεων,
- σταθερότητα όγκου, περιορισμένη εξίδρωση και μικρή συρρίκνωση,
- κατάλληλη διαπερατότητα στους υδρατμούς, ώστε να διασφαλίζεται η διαπνοή της τοιχοποιίας
- ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας και διατήρηση των ιδιοτήτων του σε βάθος χρόνου.

Κατά τον σχεδιασμό της σύνθεσης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή:

- στην αποφυγή εισαγωγής διαλυτών αλάτων ή επιβλαβών ιόντων (όπως χλωριόντων και θεικών), ιδίως όταν υπάρχουν μεταλλικά στοιχεία ή αυξημένη περιεκτικότητα αλάτων στην τοιχοποιία,
- στη συμβατότητα του ενέματος με ανθρακικά ή πυριτικά υλικά, ανάλογα με τη σύσταση του ιστορικού δομικού υλικού,

- στη διατήρηση της δυνατότητας διακίνησης της υγρασίας μέσω της τοιχοποιίας, ώστε να αποφεύγεται ο εγκλωβισμός της και η μεταφορά της ζώνης εξάτμισης σε ευπαθείς περιοχές,
- στη συμβατότητα με υλικά προηγούμενων επεμβάσεων, ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες χημικές ή φυσικομηχανικές αλληλεπιδράσεις,
- στην αποφυγή συνθέσεων που ενδέχεται να οδηγήσουν σε σχηματισμό δευτερογενών προϊόντων φθοράς ή να ευνοήσουν τη διάβρωση μεταλλικών στοιχείων.

Στην προστασία μνημείων και ιστορικών δομημάτων προτιμώνται ενέματα με βάση την άσβεστο (ασβέστης, φυσική υδραυλική άσβεστος ή ειδικά σχεδιασμένα ασβεστοποζολανικά κονιάματα), επειδή προσεγγίζουν περισσότερο τη συμπεριφορά των ιστορικών κονιαμάτων. Η χρήση τσιμέντου Portland πρέπει να αποφεύγεται. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά ειδικές απαιτήσεις και περιορισμοί επιλογής χημικής σύστασης:

Αν υπάρχουν μεταλλικά στοιχεία

- Να αποφεύγονται συστατικά που περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις **χλωριόντων (Cl^-)**, καθώς επιταχύνουν τη διάβρωση του χάλυβα.
- Να ελέγχεται η περιεκτικότητα σε **θειικά (SO_4^{2-})**, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν σιδηρά στοιχεία ή τσιμεντοειδή υλικά.
- Το υψηλό pH είναι γενικά προστατευτικό για τον χάλυβα, αλλά πρέπει να αξιολογείται η συμβατότητα με το υπόστρωμα.

Σε μνημεία με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα

- Να αποφεύγονται ενέματα που εισάγουν νέα διαλυτά άλατα (Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}).
- Να προηγείται διερεύνηση της παρουσίας διαλυτών αλάτων στην τοιχοποιία, καθώς η έγχυση μπορεί να μεταφέρει ή να αναδιανείμει τα άλατα.

Σε ανθρακικά πετρώματα (μάρμαρο, ασβεστόλιθος)

- Αποφυγή όξινων προσθέτων ή υλικών που μπορούν να προκαλέσουν διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου.
- Προτίμηση ενεμάτων με χημική συμβατότητα προς τα ανθρακικά υλικά.

Σε πυριτικά πετρώματα (π.χ. ψαμμίτες)

- Εξέταση πιθανών αλκαλικών αντιδράσεων.
- Ιδιαίτερη προσοχή στην ικανότητα διεύθυνσης λόγω διαφορετικής πόρων.

Σε ιστορικά ασβεστοκονιάματα

- Αποφυγή ενέσεων υψηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο Portland, εκτός εάν υπάρχει ειδική τεκμηρίωση.
- Προτίμηση ασβεστοποζολανικών ή υδραυλικών ασβεστοκονιαμάτων με παρόμοια χημική συμπεριφορά.

Σε τοιχοποιίες με εγκλωβισμένη υγρασία

- Να αποφεύγονται ενέματα πολύ μικρής διαπερατότητας, καθώς δύναται να παγιδεύσουν την υγρασία.
- Να διατηρείται η δυνατότητα μεταφοράς υδρατμών.

Σε περιβάλλον με θαλάσσια επίδραση

- Έλεγχος ανθεκτικότητας σε χλωρίοντα.
- Αποφυγή υλικών που ευνοούν την κρυστάλλωση αλάτων.

Σε μνημεία με θειική προσβολή

- Να αποφεύγονται συστήματα που μπορούν να οδηγήσουν σε σχηματισμό **επτριγγίτη ή γύψου**, προκαλώντας διόγκωση και αποσάθρωση.

Σε τοιχοποιίες με τοιχογραφίες ή ευαίσθητες επιφάνειες

- Να αποκλείεται η μετανάστευση χρωστικών, αλάτων ή οργανικών προσθέτων προς την επιφάνεια.
- Να αξιολογείται ο κίνδυνος δημιουργίας λεκέδων (staining).

Βιολογική προσβολή

- Αν υπάρχουν βιοφίλμ, μικροοργανισμοί ή έντονη βιοαποίκιση, το ένεμα δεν πρέπει να περιέχει συστατικά που ευνοούν τη μικροβιακή ανάπτυξη ούτε να αλληλεπιδρά αρνητικά με τα βιοκτόνα που πιθανόν θα εφαρμοστούν.

5.5.4.4.3.2 Μέθοδοι ελέγχου υλικών και αξιολόγησης του ενέματος

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας του ενέματος πραγματοποιείται τόσο σε νωπή όσο και σε σκληρυμένη κατάσταση, προκειμένου να τεκμηριωθεί η δυνατότητα εφαρμογής του, η αποτελεσματικότητα της έγχυσης και η μακροχρόνια συμβατότητά του με το ιστορικό υπόστρωμα.

Σε νωπή κατάσταση

- Έλεγχος ρευστότητας με κώνο Marsh (EN 445).
- Έλεγχος ρεολογικών χαρακτηριστικών με ιξωδόμετρο (UNI 11152).
- Έλεγχος σταθερότητας όγκου και εξίδρωσης (ASTM C940).
- Έλεγχος ενεσιμότητας με πρότυπη στήλη άμμου ή άλλη κατάλληλη πειραματική διάταξη (EN 1771).

Σε σκληρυμένη κατάσταση

- Προσδιορισμός αντοχής σε κάμψη και θλίψη (EN 1015-11)
- Προσδιορισμός συστολής ξήρανσης (EN 1015-13).
- Προσδιορισμός αντοχής σε διάτμηση ή άμεσο εφελκυσμό, όπου απαιτείται (EN 196-1 ή άλλη κατάλληλη μέθοδος).
- Έλεγχος συνάφειας με pull out δοκιμή, EN 1015-12

Επιπλέον έλεγχοι μπορούν να γίνουν κατά περίπτωση, όπως:

- Προσδιορισμός του νερού που συγκρατείται, EN 1015-8, ASTM C1506-03
- Προσδιορισμός τριχοειδούς υδατοαπορρόφησης, EN 1015-18

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου και τις συνθήκες έκθεσης του μνημείου, μπορούν να πραγματοποιούνται συμπληρωματικοί έλεγχοι ανθεκτικότητας, όπως δοκιμές σε κύκλους διαβροχής-ξήρανσης, παγετού-απόψυξης, αντοχή σε άλατα ή άλλες δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης.

5.5.4.4.3.3 Έλεγχος τεχνικής εφαρμογής

Οι εργασίες ενεμάτωσης πρέπει να εκτελούνται από εξειδικευμένο προσωπικό με αποδεδειγμένη εμπειρία σε επεμβάσεις αποκατάστασης μνημείων και σύμφωνα με εγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμογής.

Πριν από τη γενικευμένη εφαρμογή συνιστάται η εκτέλεση δοκιμαστικών ενεματώσεων σε αντιπροσωπευτικές περιοχές, προκειμένου να επαληθεύονται η ενεσιμότητα, η πίεση έγχυσης, η ακολουθία των σημείων εισαγωγής και ο βαθμός πλήρωσης των ασυνεχειών.

Η αποτελεσματικότητα της επέμβασης τεκμηριώνεται με κατάλληλες μη καταστροφικές μεθόδους πριν και μετά την ενεμάτωση. Ιδιαίτερα αποτελεσματική είναι η συγκριτική χαρτογράφηση της περιοχής εφαρμογής με υπερηχοσκόπηση σε προκαθορισμένο κάρναβο, μέσω της οποίας εκτιμάται ο βαθμός πλήρωσης των κενών και η βελτίωση της συνοχής της τοιχοποιίας. Συμπληρωματικά μπορούν να χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως η θερμογραφία υπερύθρου, η τομογραφία υπερήχων, η γεωραντάρ (GPR) ή άλλες κατάλληλες μη καταστροφικές τεχνικές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του μνημείου και τους στόχους της διερεύνησης.

Πίνακας 5.5.4-4 Τεχνικές, Πρότυπα και Οδηγίες για την αποτίμηση ενεμάτων

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Σε νωπή κατάσταση	• EN 445:1996 – Methods of testing mortar for masonry — Determination of consistency of fresh cementitious mortar by flow cone (Marsh cone) • UNI 11152:2005 — Sospensioni acquose per iniezioni a base di leganti idraulici — Caratteristiche e metodi di prova (Water suspensions for grouting based on hydraulic binders — Characteristics and test methods). • ASTM C940-03 – Standard Test Method for Determining Bleeding of Grout • EN 1771:2004 – Methods of test for mortar for masonry — Determination of flow of fresh mortar by sand column • NorMaL M33-87 – Test method for bleeding of mortars • ASTM C939-80 – Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (used with Marsh cone) • CRD C 621, 1980. Test method for expansion properties in plastic phase
Κατόπιν πήξης - σκλήρυνσης	• EN 196-1:2016 – Methods of testing cement — Part 1: Determination of strength • EN 1015-8:1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar. • EN 1015-11:2019 – Methods of test for mortar for masonry — Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar • EN 1015-12:2016 – Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates.

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
	• EN 1015-18:2002 – Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar • EN 13412:2013 – Determination of static modulus of elasticity of mortar • EN 998-2:2010 – Specification for masonry mortars — Part 2: Masonry mortar (adhesion to substrate) • ASTM C1506-03 (2003) – <i>Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters</i>. • RILEM-CEB-FIP RC6-78 – Method for determining resistance to extraction of steel rods and FRP in mortar • UNI 11087 – Determination of water-soluble salts in hardened mortar • EN 13501-1:2018 – Fire classification of construction products and building elements — Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests • CSA A179-04, 2004. Mortar and grout for unit masonry — Test method for flexural bond strength • CSA S304.1-04, 2004. – Design of masonry structures — Annex E: Test procedures.

5.5.4.4.4. Σχεδιασμός και αποτίμηση κονιαμάτων/παστών συγκόλλησης θραυσμάτων λίθων και αγκύρωσης μεταλλικών συνδέσμων

5.5.4.4.4.1. Σκοπός

Σχεδιασμός και επιλογή κατάλληλων υλικών συγκόλλησης (παστών) και αγκύρωσης που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση θραυσμάτων ιστορικών λίθων.

5.5.4.4.4.2. Κριτήρια Αξιολόγησης Συμβατότητας Συγκολλητικού υλικού με τον αυθεντικό λίθο

Βασικό κριτήριο, είναι η φυσική και μηχανική συμβατότητα με τον αυθεντικό λίθο. Δηλαδή τα συγκολλητικά υλικά να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο τα χαρακτηριστικά του λίθου στον οποίο εφαρμόζεται, επιτρέποντας στο αποκατεστημένο σύστημα να λειτουργεί με ομοιογενή τρόπο. Γενικά κριτήρια είναι τα κάτωθι:

- Η φαινόμενη πυκνότητα του συγκολλητικού υλικού / υλικού αγκύρωσης θα πρέπει να είναι ίση ή χαμηλότερη από εκείνη του αρχαίου λίθου·
- Το πορώδες του υλικού επέμβασης θα πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από εκείνο του αυθεντικού λίθου, ώστε το συγκολλητικό/αγκυρωτικό υλικό να λειτουργεί ως θυσιαζόμενο υλικό όσον αφορά την πρόσληψη νερού. Το ίδιο ισχύει και για την ικανότητα απορρόφησης νερού·
- Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης του υλικού επέμβασης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά σε εκείνον του αυθεντικού λίθου, ώστε να μην αυξάνεται η πρόσληψη νερού ούτε να προκαλείται μεταφορά του νερού προς το αυθεντικό υλικό·
- Η μηχανική αντοχή του υλικού επέμβασης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά ή χαμηλότερη από εκείνη του αυθεντικού υλικού, ώστε σε περίπτωση θλιπτικής

καταπόνησης να αστοχεί το υλικό επέμβασης και όχι το αρχικό υλικό· το κριτήριο αυτό αφορά τόσο τη θλιπτική αντοχή όσο και την ταχύτητα των υπερήχων.

5.5.4.4.3. Τεχνικές αξιολόγησης συγκολλητικών υλικών σε επίπεδο υλικού

Η αξιολόγηση είναι απαραίτητο να γίνεται:

A) στο εργαστήριο ως προς τη φυσική και μηχανική συμπεριφορά των υλικών και ως προς τη συμβατότητα τους σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του αρχαίου λίθου.

B) στο εργαστήριο (ή επί τόπου) ως προς τη συγκολλητική τους ικανότητα και γενικότερα της αποτελεσματικότητά στους, σε σύνθετα δοκίμια τριπλέτας (λίθου/υλικού συγκόλλησης/λίθου), με και χωρίς την ταυτόχρονη χρήση μεταλλικών συνδετηρίων.

Αρχικά παρασκευάζονται τα μίγματα σε αναμικτήρα κονιαμάτων με την εξής διαδικασία:

- Αρχικά προστίθεται η κατάλληλη ποσότητα νερού και στη συνέχεια τα συνδετικά υλικά προστίθενται στο νερό, σταδιακά, υπό συνεχή ανάδευση. Η ανάμιξη συνεχίζεται έως την επίτευξη πλήρους ομογενοποίησης.
- Το μίγμα χυτεύεται σε κυλινδρικά καλούπια ενδεικτικών διαστάσεων 3cm × 6cm.
- Η ωρίμανση θα πρέπει να γίνει σε σταθερές συνθήκες (σύμφωνα με το EN 1015-11), με στόχο την βέλτιστη πήξη και σκλήρυνσή.
- Η ωρίμανση για υδραυλικά μίγματα θα πρέπει να γίνει εντός των καλουπιών σε θάλαμο υψηλής σχετικής υγρασίας (RH=95±5%) και θερμοκρασίας T=20±2°C για 7 ημέρες. Στη συνέχεια τα μίγματα μπορούν να αφαιρεθούν από τα καλούπια και να διατηρηθούν σε θάλαμο σταθερής υγρασίας και θερμοκρασίας έως την ημερομηνία των δοκιμών.
- Παρασκευή ικανού αριθμού δοκιμών ώστε να πραγματοποιηθούν όλες οι δοκιμές.

Τα δοκίμια των παστών θα πρέπει να αποτιμηθούν σε διαφορετικές φάσεις της συνολικής πήξης σκλήρυνσης όσον αφορά στις:

- Δοκιμές θλιπτικής αντοχής (μονοαξονική θλίψη) σε χρονικά διαστήματα κρίσιμα για τον σχεδιασμό της επέμβασης πχ 1, 3, 6, 9, 12 μήνες ωρίμανσης (EN 1015-11).

Επιπλέον τα δοκίμια των παστών θα πρέπει να αποτιμηθούν στην φάση της ολοκλήρωσης των χημικών αντιδράσεων και επομένως στη φάση της σταθεροποίησης των ιδιοτήτων τους (π.χ. με το πέρας των 12, 15 ή 24 μηνών), όσον αφορά στα εξής:

- Προσδιορισμός φαινόμενης πυκνότητας: σύμφωνα με το πρότυπο EN 1936.
- Προσδιορισμός του συντελεστή τριχοειδούς ανύψωσης, του πορώδους προσβάσιμου στο νερό μέσω τριχοειδών πόρων και του ποσοστού απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδούς δράσης, σύμφωνα με το EN 15801.
- Προσδιορισμός του πορώδους προσβάσιμου στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης και του ποσοστού ολικής απορρόφησης νερού σύμφωνα με τα πρότυπα EN 1936 και EN 13755.
- Μετρήσεις ταχύτητας υπερήχων και εκτίμηση του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας.

5.5.4.4.4. Τεχνικές αξιολόγησης συγκολλητικών υλικών σε σύνθετο δοκίμιο

Η αποτελεσματικότητα των υλικών συγκόλλησης θα πρέπει να εκτιμηθεί και σε επίπεδο σύνθετου δοκιμίου (τριπλέτα: λίθος/συγκολλητικό υλικό/λίθος) με ή χωρίς μεταλλικούς συνδέσμους. Στην περίπτωση χρήσης μεταλλικών συνδέσμων απαιτείται διάτρηση των προς συγκόλληση θραυσμάτων και εφαρμογή υλικού (πάστας) αγκύρωσης στο εσωτερικό της

διάτρησης. Για τις δοκιμές το βέλτιστο είναι να χρησιμοποιηθούν θραύσματα αυθεντικού λίθου που δεν θα χρησιμοποιηθούν ώστε να αντιστοιχηθούν πλήρως και οι ιδιότητες του λίθου αλλά και η φθορά τους με αυτά που θα συγκολληθούν.

Οι δοκιμές που απαιτούνται για την εκτίμηση της συγκολλητικής ικανότητας/πρόσφυσης είναι:

- άμεση εφελκυστική αντοχή,
- αντοχή σε διάτμηση

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών είναι απαραίτητο να καταγραφούν:

- Η μέγιστη τάση θραύσης
- Ο τύπος αστοχίας (κατά τη αστοχία θα πρέπει να αστοχεί το συγκολλητικό υλικό και όχι ο αυθεντικός λίθος)
- Η μορφή του δεσμού του υλικού με τον αυθεντικό λίθο με χρήση φορητού μικροσκοπίου ή στερεομικροσκοπίου.

Πίνακας 5.5.4-5 Τεχνικές, Πρότυπα και Οδηγίες για υλικά για συγκολλήσεις λίθων

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Γενικά	• ASTM C1722-23, 2023. Standard Guide for Repair and Restoration of Dimension Stone (2023) • ASTM C1242-23, 2023. Standard Guide for Selection, Design, and Installation of Dimension Stone Attachment Systems (2023). • EN 1067:2005. Adhesives — Examination and preparation of samples for testing
Δοκιμές μηχανικών αντοχών (εφελκυσμός, κάμψη, διάτμηση, εξόλκευση)	• EN 12003:2008, Adhesives for tiles — Determination of shear adhesion strength of reaction resin adhesives. • EN 12004-1:2017. Adhesives for Ceramic Tiles — Part 1: Requirements, Assessment and Verification of Constancy of Performance, Classification and Marking • EN 12004-2:2017 – Adhesives for Ceramic Tiles — Part 2: Test Methods. • EN 1411: Adhesives for tiles — Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives • EN ISO 9653:2000, Adhesives — Test method for shear strength of adhesive bonds (2000) • EN ISO 11343:2019, Adhesives — Determination of dynamic resistance to cleavage of high-strength adhesive bonds under impact wedge conditions • ASTM D4541-17e1 – Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. • ASTM C882-18 – Standard Test Method for Tensile Adhesion Strength of Concrete Surface Materials.

5.5.4.4.5. Σχεδιασμός και αποτίμηση υλικών και εφαρμογής στερέωσης λίθινων υποστρωμάτων

5.5.4.4.5.1. Σκοπός της στερέωσης

Η στερέωση λίθινων επιφανειών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αλλά και πιο επισφαλείς επεμβάσεις στη συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Συνήθως ακολουθεί τον καθαρισμό και εφαρμόζεται όταν το υλικό έχει καταστεί εύθραυστο, έχει απωλέσει τη συνοχή και τη συνεκτικότητα του και παρουσιάζει φαινόμενα αποκόλλησης, απολέπισης ή αποσάθρωσης.

Ο βασικός στόχος της στερέωσης δεν είναι η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων πέραν του αρχικού επιπέδου, αλλά η αποκατάσταση της αρχικής συνεκτικότητας, συνοχής και δομικής ομοιογένειας του υλικού. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η γνώση των χαρακτηριστικών του υγιούς (αρχικού) υλικού

5.5.4.4.5.2. Γενικά Κριτήρια επιλογής Στερεωτικών Επεμβάσεων

Η αξιολόγηση μιας στερεωτικής επέμβασης βασίζεται σε δύο κύριους άξονες:

1. Αποτελεσματικότητα – κατά πόσο αποκαθίστανται οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του λίθου
2. Απουσία επιβλαβών παρενεργειών – κατά πόσο η επέμβαση δεν δημιουργεί προβλήματα στον λίθο (αλλαγή ιδιοτήτων του, δημιουργία χημικών προϊόντων επιβλαβή για τον λίθο κλπ).

Η επέμβαση πραγματοποιείται με τη χρήση στερεωτικών προϊόντων, τα οποία οφείλουν να:

- Είναι απολύτως συμβατά με το υπόστρωμα.
- Διατηρούν σταθερές τις ιδιότητές τους στον χρόνο.
- Μη προκαλούν επιβλαβείς παρενέργειες.
- Έχουν ικανοποιητικό βάθος διείσδυσης κατά την εφαρμογή,
- Διατηρούν τα υδρομετρικά και τα αισθητικά χαρακτηριστικά του λίθου

Σε γενικές γραμμές τα υλικά στερέωσης πορωδών λίθων είναι δύσκολο να ικανοποιούν ταυτόχρονα το σύνολο των κριτηρίων. Γενικά, τα μειονεκτήματά τους μπορεί να περιλαμβάνουν: το ανεπαρκές βάθος εμποτισμού, τον πιθανό σχηματισμό ρηχών και σκληρών επιφανειακών φλοιών, τον σχηματισμό διαλυτών αλάτων ως παραπροϊόντων από την αντίδραση που λαμβάνει χώρα για την σταθεροποίησή τους, την χαμηλή απόδοση ως προς τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων της πέτρας, και την πιθανή χρωματική διαφοροποίηση.

Η επιλογή του κατάλληλου προϊόντος για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση είναι καθοριστικής σημασίας. Παρά τις προσπάθειες των ερευνητών σε παγκόσμιο επίπεδο να προτείνουν συστήματα αξιολόγησης, δεν υπάρχει έως σήμερα κοινά αποδεκτό πρωτόκολλο στον τομέα της συντήρησης.

5.5.4.4.5.3. Μεθοδολογία Ελέγχου αποτίμησης αποτελεσματικότητας στερεωτικών υλικών

Οι μέθοδοι αξιολόγησης διακρίνονται σε:

A.) Έμμεσες Μέθοδοι

Οι έμμεσες μέθοδοι αφορούν κυρίως σχετικές με την μορφολογία της επιφάνειας και τα υδρομετρικά χαρακτηριστικά) και αποτελούν έμμεση ένδειξη αποτελεσματικότητας, καθώς καταγράφει μείωση πορώδους αλλά όχι απαραίτητα βελτίωση μηχανικής συνοχής. Οι μέθοδοι είναι οι εξής:

- Μικροσκοπικές μέθοδοι (φορητό μικροσκόπιο ή στερεομικροσκόπιο) για την μελέτη της μορφολογίας της επιφάνειας πριν και μετά την εφαρμογή.
- Προσδιορισμός της απόθεσης υλικού στο εσωτερικό του λίθου μετά την σταθεροποίηση της μάζας των δοκιμών.
- Φορητό φασματοφωτόμετρο/χρωματόμετρο για τον προσδιορισμό της μεταβολής του χρώματος πριν και μετά την εφαρμογή
- Δοκιμή Τριχοειδούς Απορρόφησης (EN 15801), εργαστηριακή μέθοδος όπου και εκτιμώνται η ποσότητα απορροφούμενου νερού ανά μονάδα επιφάνειας, ο ρυθμός απορρόφησης και το βάθος απορρόφησης.
- Μέτρηση Στατικής Γωνίας Επαφής (EN 15802), εργαστηριακή μέθοδος που αξιολογεί μεταβολές στις ιδιότητες διαβροχής της επιφάνειας.
- Μέθοδος Σπάγγου (UNI 11432:2011), επιτόπια μέθοδος (in situ) με περιορισμούς για την εκτίμηση της παρακολούθησης της κατάστασης διατήρησης, τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της στερέωσης και την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητάς της επέμβασης στον χρόνο.
- Μέθοδος Σωλήνα Karsten, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε εργαστήριο και επί τόπου και αξιολογεί την απορρόφηση νερού μέσω σωλήνα (pipe method).

B) Άμεσες Μηχανικές Μέθοδοι.

Οι άμεσες μηχανικές μέθοδοι αφορούν σε δοκιμές μηχανικών αντοχών αλλά σε πολλές περιπτώσεις είναι καταστροφικές ή ημικαταστροφικές. Αποτελούν άμεση ένδειξη αποτελεσματικότητας, καθώς το στερεωτικό οφείλει να αποκαθιστά τη σκληρότητα, τη συνοχή και επομένως την μηχανική αντοχή του λίθου. Οι μέθοδοι είναι:

- Αντοχή σε Θλίψη, Εφελκυσμό και Κάμψη, εργαστηριακές, καταστροφικές δοκιμές οι οποίες σπάνια εφαρμόζονται σε αυθεντικό υλικό μνημείων.
- Μέτρηση Μέτρου Ελαστικότητας & Σκληρότητας, με χρήση μικρο/νανο- διείσδυση (indentation) και σκληρομέτρου (durometers), επί τόπου
- Σύστημα Μέτρησης Αντίστασης Διάτρησης (DRMS, Drilling Resistance Measurement System) το οποίο εφαρμόζεται επί τόπου και στο εργαστήριο και μετρά την αντίσταση διάτρησης σε Newton. Δημιουργείται διάγραμμα αντίστασης ως προς το βάθος το οποίο συσχετίζεται στατιστικά με τη μονοαξονική αντοχή σε θλίψη. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει περιορισμούς στην χρήση της σε ψαμμίτες, όπου φθείρονται τα τρυπάνια (λόγω χαλαζία) και σε γενικές γραμμές παρουσιάζει δυσκολία εφαρμογής του σε πολύ σκληρούς λίθους.
- Δοκιμή Απώξεσης με Βούρτσα, όπου καθορισμένη επιφάνεια αποξέεται με συγκεκριμένη μεθοδολογία και πρωτόκολλο. Το συλλεγόμενο υλικό ζυγίζεται μετά από ξήρανση. Οι

περιορισμοί της μεθόδου είναι ότι είναι υποκειμενική (εξαρτάται από τον χειριστή) και ότι επηρεάζεται κατά πολύ από τη σχετική υγρασία.

- Δοκιμή Αποκόλλησης (Peel-Off / Scotch Tape Test). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως αλλά δεν βασίζεται σε πλήρως τυποποιημένο πρωτόκολλο ενώ παρουσιάζει προβλήματα αναπαραγωγιμότητας.
- Δοκιμές Επιφανειακής Σκληρότητας όπως Κρουσίμετρο Ernst Schmidt (Schmidt Hammer), Σκληρόμετρο, Πενετόμετρο

Πίνακας 5.5.4-6 Τεχνικές, Πρότυπα και Οδηγίες για υλικά επιφανειακής στερέωσης λίθων

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Χρώμα	• EN 15886:2010 Conservation of cultural property - Test methods - Color measurement of surface • ASTM C609 – 07 Standard Test Method for Measurement of Light Reflectance Value and Small Color Differences Between Pieces of Ceramic Tile • NORMAL 43/93 (1993) Misure colorimetriche di Superfici Opache - Colorimetric Measurements of Opaque Surfaces
Υγρομετρικά χαρακτηριστικά	• EN 15801, 2010. Conservation of Cultural Property. Test Methods. Determination of Water Absorption by Capillarity. • EN 15802, 2010. Conservation of Cultural Property. Test Methods. Determination of Static Contact Angle (EN 15802). Brussels: CEN, 2010. • EN 16302:2013 - Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method. • EN 16322, 2013. Conservation of Cultural Property — Test Methods — Determination of Drying Properties (Drying Index). • UNI 11432, 2011. Beni culturali — Materiali lapidei naturali ed artificiali — Determinazione dell'assorbimento di acqua mediante spugna di contatto. Cultural heritage - Natural and artificial stone - Determination of the water absorption by contact sponge.
Πρόσφυση	• EN 1542, 1999. Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Measurement of bond strength by pull-off • ISO 4624:2023 Paints and varnishes — Pull-off test for adhesion • ASTM D3359, 2023. Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test. • ASTM D4541, 2022. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers
Επιφανειακή σκληρότητα	• ASTM D2240-15(2021) Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness • ISO 868:2003 Plastics and ebonite — Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness) • RILEM TC 247-DMT — RILEM Technical Committee 247-DMT: Drilling Resistance Measurement of Stone

5.5.4.4.6. Σχεδιασμός και αποτίμηση υλικών και εφαρμογής καθαρισμού

5.5.4.4.6.1. Σκοπός

Ο καθαρισμός των επιφανειών των αυθεντικών δομικών υλικών των μνημείων και των ιστορικών κατασκευών είναι σε αρκετές περιπτώσεις απαραίτητος, για αισθητικούς και φυσικοχημικούς λόγους, και συμβάλει στην αιεφορία και την προστασία ενός μνημείου. Οι λόγοι για τους οποίους πραγματοποιείται ο καθαρισμός της επιφάνειας είναι οι εξής:

- Αισθητική αποκατάσταση,
- Απομάκρυνση επιβλαβών παραπροϊόντων (κρούστες, προϊόντα φθοράς) που προέρχονται από το περιβάλλον και από προηγούμενες επεμβάσεις, τα οποία βλάπτουν τα αυθεντικά λίθινα υποστρώματα,
- Προστασία του δομικού υλικού,
- Προετοιμασία επιφάνειας για την συντήρηση/αποκατάσταση,
- Ανάδειξη της ιστορικής σημασίας και των μεταβολών που έχουν επέλθει ως αποτέλεσμα της δράσης εξωγενών ανθρωπογενών και περιβαλλοντικών παραγόντων κ.ά.

Η συντηρητική προσέγγιση του καθαρισμού αποσκοπεί στην απομάκρυνση κάθε ανεπιθύμητου και επιβλαβούς στρώματος που έχει σχηματιστεί στην επιφάνεια του μνημείου, ως αποτέλεσμα τόσο της περιβαλλοντικής δράσης όσο και των ανθρωπογενών δράσεων. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η επιφάνεια των μνημείων αποτυπώνει ολόκληρη την ιστορία τους, καθώς τη σχέση και την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Συνεπώς, κάθε ανεπιθύμητο στρώμα φθοράς που έχει σχηματιστεί στην επιφάνεια πρέπει να απομακρύνεται με ιδιαίτερη προσοχή· διαφορετικά, όχι μόνο θα υποστεί βλάβη το υπόστρωμα, αλλά κυρίως θα χαθεί η αποτυπωμένη ιστορία του μνημείου. Αλλωστε η στρωματογραφία των επικαθίσεων στα λίθινα υποστρώματα λειτουργεί ως αρχείο-τεκμήριο της διαδοχής ιστορικών και περιβαλλοντικών δράσεων.

5.5.4.4.6.2. Γενικά κριτήρια

ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Τα γενικά κριτήρια που διέπουν τις επεμβάσεις καθαρισμού είναι:

- Η επέμβαση καθαρισμού να είναι ελεγχόμενη, προβλέψιμη και αναπαραγωγίσιμη με καθορισμένες προδιαγραφές
- Να μην προκαλούν καμία μεταβολή (τεχνική ή αισθητική) στο ιστορικό υλικό. Μάλιστα βάση του συναφούς προτύπου *EN 17488:2020*, προτείνεται η αξιολόγηση της βλαπτικότητας και της αποτελεσματικότητας, τόσο σε εργαστηριακό επίπεδο όσο και επιτόπου (in situ), για τις διάφορες μεθόδους καθαρισμού που εφαρμόζονται σε πορώδη ανόργανα υλικά. Μάλιστα το πρότυπο αναφέρει ότι η αξιολόγηση της βλαπτικότητας έχει προτεραιότητα έναντι της αποτελεσματικότητας.
- Να βελτιώνεται η ανθεκτικότητα του δομικού υλικού μετά από την εφαρμογή του καθαρισμού, θα είναι πλήρως, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί από τον εργολήπτη υπό τις καθοριζόμενες προδιαγραφές στο σύνολο των αρχιτεκτονικών επιφανειών του μνημείου.
- Να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στον χρόνο δηλ. να διασφαλίζεται η διατήρηση της καθαρισμένης επιφάνειας ως έχει, για ικανό χρονικό διάστημα. Για τον παραπάνω λόγο

τα υλικά που έχουν καθαριστεί είτε διατηρούνται σε βέλτιστες συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, ρύποι) όταν οι καθαρισμένες επιφάνειες βρίσκονται σε εσωτερικό χώρο είτε προστατεύεται (με υλικά προστασίας κα) όταν τα δομικά υλικά είναι εκτεθειμένα σε εξωτερικό περιβάλλον.

- Να είναι όσο το δυνατόν συμβατές με το υπόστρωμα. Δεδομένου ότι ο καθαρισμός αποτελεί την κατ' εξοχήν μη αντιστρεπτή επέμβαση συντήρησης, η συμβατότητα έγκειται στο σαφή προσδιορισμό των ορίων αποδοχής σε σχέση με τους επιδιωκόμενους στόχους του κάθε κριτηρίου αποτίμησης.

Οι βασικές αναλύσεις που πρέπει να πραγματοποιούνται πριν και μετά τον καθαρισμό ταξινομούνται ως εξής:

- Οπτικές παρατηρήσεις και μετρήσεις επιφανειακών χαρακτηριστικών, για τον προσδιορισμό της υφής, συνοχής, τραχύτητας, ειδικής επιφάνειας
- Χημικές και φυσικές αναλύσεις που περιλαμβάνουν χαρακτηρισμό στοιχειακής και ορυκτολογικής/χημικής σύστασης,
- Μετρήσεις χρώματος
- Δοκιμές απορρόφησης νερού

5.5.4.4.6.3. Χαρακτηριστικά στρώματα που υπόκεινται σε καθαρισμό

Χαρακτηριστικά στρώματα τα οποία κατόπιν εκτίμησης επί του συγκεκριμένου μνημείου, υπόκεινται σε καθαρισμό είναι:

- Δενδριτικές μαύρες και οι φαιόμαυρες κρούστες καθώς και οι διαφόρων τύπων επικαθήσεις. Τα στρώματα αυτά αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη και γύψο στην περίπτωση των ασβεστιτικών λίθινων υποστρωμάτων. Επιπλέον παρουσιάζουν εξωγενή υλικά, όπως κατάλοιπα αιθάλης, σωματίδια σκόνης, βαρέα μέταλλα, λιπαρών ουσιών, προϊόντα αντίδρασης ατμοσφαιρικών ρύπων και αλάτων. Η παρουσία γύψου και αλάτων μπορεί επίσης να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα μελλοντικών επεμβάσεων.
- Ειδικά για τα στρώματα γύψου η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι όταν σχηματίζονται σε ρυπασμένα περιβάλλοντα δρουν ως καταλύτες στην επιτάχυνση της αποσάθρωσης της επιφάνειας και, ως εκ τούτου, η απομάκρυνσή τους θεωρείται αναγκαία. Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αναγνωριστούν τα όρια μεταξύ των πρώτων μικροκρυσταλλικών στρωμάτων γύψου, που διατηρούν το ανάγλυφο της επιφάνειας, τις πατίνες και τις πολυχρωμίες, και της δενδριτικής δομής του γύψου, όπου μπορεί να παγιδεύονται ρύποι, σωματίδια μαύρου άνθρακα κ.ά. Σε άλλες περιπτώσεις, στρώματα γύψου συνδεδεμένα με ζωική κόλλα αποτελούν το προπαρασκευαστικό στρώμα που προορίζεται να δεχθεί τις πολυχρωμίες και πρέπει να διατηρούνται σε κάθε περίπτωση.
- Κηλίδες αποχρωματισμού οφείλονται συνήθως σε κατάλοιπα προηγούμενων επεμβάσεων (π.χ. χρήση μεταλλικών συνδέσμων που έχουν διαβρωθεί, κα).
- Βιολογικές επικαθήσεις (ζωντανή και νεκρή βιολογική ύλη) η οποία αλλοιώνει αισθητικά, μηχανικά και χημικά την επιφάνεια των κτηρίων, προκαλώντας αλλοιώσεις της αρχικής επιφάνειας.
- Εξανθήσεις αλάτων που εμφανίζονται ως αποτέλεσμα της μετανάστευσης διαλυτών αλάτων από το εσωτερικό προς την εξωτερική επιφάνεια. Επομένως σε αυτές τις περιπτώσεις η αφαλάτωση είναι επιβεβλημένη πριν από τον καθαρισμό.

5.5.4.4.6.4. Μεθοδολογία επιλογής επεμβάσεων καθαρισμού και αποτίμησης - Τεχνικές

Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία αποτίμησης επεμβάσεων καθαρισμού περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

ΦΑΣΗ 1. Βιβλιογραφική/αρχαιακή έρευνα για τη διερεύνηση παλαιότερων επεμβάσεων καθαρισμού και άλλων επιφανειακών υλικών (προστασίας, στερέωσης) που πιθανόν να άφησαν επιβλαβή κατάλοιπα στην επιφάνεια και ενδέχεται να επιταχύνουν τη φθορά.

ΦΑΣΗ 2. Επιλογή αντιπροσωπευτικών επιφανειών στο εξεταζόμενο μνημείο, βάσει προσεκτικών μακροσκοπικών παρατηρήσεων σε σχέση με τα παρουσιαζόμενα δομικά υλικά των όψεων και τους τύπους φθοράς.

Επί τόπου έλεγχος των επιφανειών

1. Οπτική παρατήρηση
 1. Φορητό ψηφιακό μικροσκόπιο,
 2. Πλάγιος φωτισμός,
 3. Φορητό ψηφιακό στερεομικροσκόπιο,
 4. Φθορισμός επαγόμενος από υπεριώδη ακτινοβολία (UV Fluorescence ή UV Luminescence) για την ανίχνευση φθοριζόντων υλικών στις λίθινες επιφάνειες και, συνεπώς, για τον εντοπισμό υλικών που πρέπει να απομακρυνθούν ή για την αξιολόγηση των καταλοίπων της επέμβασης).
2. Χρήση ψηφιακής επεξεργασίας των εικόνων μικροσκοπίας για την αξιολόγηση της υφής, της συνοχής και της μικροδομής της επιφάνειας.
3. Φυσικοχημική ανάλυση (Μέτρηση χρώματος, Στοιχειακή ανάλυση με φορητό XRF, Μοριακή ανάλυση με φορητό FTIR, ανάλυση επιφανειακών ιόντων)
4. Αξιολόγηση απορρόφησης νερού (Προσδιορισμός απορρόφησης νερού με τη μέθοδο σωλήνα (in situ), Προσδιορισμός απορρόφησης νερού με τη μέθοδο σπόγγου επαφής, Δοκιμή σταγόνας νερού (in situ))

ΦΑΣΗ 3. Εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων που λήφθηκαν από αντιπροσωπευτικές περιοχές: Χαρακτηρισμός/ταυτοποίηση των ενώσεων των διαφορετικών στρωμάτων (επικαθήσεις, κρούστα φθοράς, πάτινα, κα) που προέρχονται από την αλληλεπίδραση του περιβάλλοντος με την επιφάνεια καθώς και του υποστρώματος (δομικό υλικό, έγχρωμα στρώματα-πολυχρωμία, κα). Διάκριση των ορίων μεταξύ των διαφορετικών στρωμάτων και επιλογή των στρώσεων που θεωρούνται επιβλαβείς και κρίνεται ότι είναι απαραίτητο να αφαιρεθούν. Επιπλέον, για τα ενδεχόμενα έγχρωμα στρώματα και τις πάτινες είναι σκόπιμο να εξεταστεί κατά πόσο τα στρώματα αυτά αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικές φάσεις της ιστορίας του μνημείου, οι οποίες οφείλουν να διατηρηθούν και να μεταδοθούν στις μελλοντικές γενιές.

Χημική/φυσική ανάλυση (στις επιφάνειες των θραυσμάτων και σε λεπτές και στιλβωμένες τομές και σε εγκάρσιες τομές)

- Οπτική μικροσκοπία ανακλώμενης ακτινοβολίας (Reflected Light Optical Microscopy)
- Οπτική μικροσκοπία διερχόμενης ακτινοβολίας TLOM (Transmitted Light Optical Microscopy)
- Ηλεκτρονική μικροσκοπία (SEM/ESEM και μικροανάλυση EDS)
- Φασματοσκοπία (FTIR, micro-FTIR και Raman)
- Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD)

Ανάλυση μορφολογίας επιφάνειας

- Μέτρηση τραχύτητας (ISO 25178). Η τραχύτητα μπορεί να αξιολογηθεί με εικόνες πλάγιου φωτισμού (Raking Light – RL), ή με τη χρήση συμβολομετρίας φωτός (light interferometry) και οργάνων μέτρησης επιφανειακής τραχύτητας με προφιλόμετρο (line profilometry, 3D laser profilometry).
- Υγρή χημική ανάλυση (σε υδατικό εκχύλισμα) στην περίπτωση χημικού καθαρισμού
- Ανάλυση υδατικού εκχυλίσματος

ΦΑΣΗ 4. Δοκιμή και αποτίμηση διαφορετικών μεθόδων καθαρισμού σε δοκίμια ανάλογου υλικού: Επιλογή υλικών και επεμβάσεων καθαρισμού, βάσει του τύπου φθοράς και του δομικού υλικού, της σχετικής βιβλιογραφίας, της προηγούμενης εμπειρίας και το είδος της αρχιτεκτονικής επιφάνειας. Σε αυτή τη φάση θα πρέπει να προσδιορίζεται η προετοιμασία των δοκιμίων, ο αριθμός και οι διαστάσεις δοκιμίων καθώς και η διαδικασία αξιολόγησης της/των μεθόδου/ων καθαρισμού υπό δοκιμή.

Οι αναλύσεις που προτείνεται να γίνουν στα δοκίμια πριν και μετά την εφαρμογή των μεθόδων καθαρισμού

- Μέτρηση χρώματος επιφανειών με φασματοφωτόμετρο/χρωματομέτρο για την μέτρηση του χρώματος στον χρωματικό χώρο CIE Lab* 1976, όπως περιγράφεται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15886:2010.
- Παρατήρηση επιφανειών με στερεομικροσκόπιο
- Προσδιορισμός μεταβολής μάζας
- Ανάλυση λεπτών και στιλβωμένων εγκάρσιων τομών με TLOM, RLOM, SEM/ESEM-EDS
- Ανάλυση λεπτών και στιλβωμένων εγκάρσιων τομών με TLOM, RLOM, SEM/ESEM-EDS σε θραύσματα επιφανειών
- Προσδιορισμός απορρόφησης νερού με τριχοειδή δράση

ΦΑΣΗ 5. Εφαρμογή επεμβάσεων καθαρισμού σε πιλοτική κλίμακα, σε αντιπροσωπευτικές επιφάνειες και επιτόπου έλεγχος των επιφανειών όπως αναφέρεται στη φάση 1.

ΦΑΣΗ 6. Η συνολική μελέτη και διαχείριση των όψεων με χρήση 3D μοντέλων αναπαράστασης του μνημείου, για την συνεκτίμηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως οι κλιματικές συνθήκες, η θέση, ο προσανατολισμός ως προς τη βροχή και η δράση του ανέμου, σε συνδυασμό με εγγενείς ιδιότητες των δομικών υλικών (υφή, τραχύτητα, ειδική επιφάνεια, πορώδες), ώστε να καθοριστούν των κριτήρια επιλογής της κατάλληλης μεθοδολογίας καθαρισμού.

Πίνακας 5.5.4-7 Τεχνικές, Πρότυπα και Οδηγίες για υλικά και επεμβάσεις καθαρισμού

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Συνολικά	● EN 17488:2020, Conservation of cultural heritage — Procedure for the analytical evaluation and selection of cleaning methods for porous inorganic materials used in cultural heritage.
Χρώμα	● EN 15886:2010 Conservation of cultural property - Test methods - Color measurement of surface ● ASTM C609 – 07 Standard Test Method for Measurement of Light Reflectance Value and Small Color Differences Between Pieces of Ceramic Tile ● NORMAL 43/93 (1993) Misure colorimetriche di Superfici Opache - Colorimetric Measurements of Opaque Surfaces
Τραχύτητα	● DIN 4768:1990, Determination of surface roughness values of the parameters R[a], R[z], R[max] by means of electrical contact (stylus) instruments; terminology, measuring conditions ● ISO 4287, 2009. Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters (2009). ● ISO 4288, 1996. Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface roughness. ● EN 13892-6, 2002. Screed material and floor coverings — Part 6: Determination of surface roughness / sand patch method ● EN 1991-1-4 Annex D. Provides roughness classes for exposed surfaces, which can include stone façades (used in wind engineering)
Υγρομετρικά χαρακτηριστικά	● EN 15801, 2010. Conservation of Cultural Property. Test Methods. Determination of Water Absorption by Capillarity. ● EN 15802, 2010. Conservation of Cultural Property. Test Methods. Determination of Static Contact Angle (EN 15802). Brussels: CEN, 2010. ● EN 16302:2013 - Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method. ● EN 16322, 2013. Conservation of Cultural Property — Test Methods — Determination of Drying Properties (Drying Index). ● UNI 11432, 2011. Beni culturali — Materiali lapidei naturali ed artificiali — Determinazione dell’assorbimento di acqua mediante spugna di contatto. Cultural heritage - Natural and artificial stone - Determination of the water absorption by contact sponge.

5.5.4.4.7. Σχεδιασμός και αποτίμηση υλικών προστασίας

5.5.4.4.7.1. Σκοπός

Η προστασία των λίθινων επιφανειών, ιδίως όταν αυτές βρίσκονται σε εξωτερικό περιβάλλον, αποτελεί συνήθως το τελικό στάδιο ενός προγράμματος συντήρησης. Κύριος στόχος της προστατευτικής επέμβασης είναι:

- Η αποτροπή ή ο περιορισμός της διείσδυσης νερού στο εσωτερικό του λίθου.
- Η μείωση της διαβροχής της επιφάνειας μέσω υδροφοβικής δράσης.
- Η ελαχιστοποίηση φυσικών και χημικών φθορών που προκαλούνται από το νερό.

Το νερό αποτελεί τον βασικό φορέα φυσικοχημικής αποσάθρωσης. Συνεπώς, η εφαρμογή υδροαπωθητικών προϊόντων στοχεύει:

- Στη μείωση της επιφανειακής τάσης.
- Στην παρεμπόδιση διαβροχής.
- Στον περιορισμό της τριχοειδούς μετακίνησης του νερού.

Ωστόσο, είναι κρίσιμο να διατηρείται:

- Η διαπερατότητα σε υδρατμούς (ώστε να επιτρέπεται η εξάτμιση).
- Η αισθητική ακεραιότητα.
- Η μακροχρόνια σταθερότητα του προϊόντος.

5.5.4.4.7.2. Κριτήρια Επιλογής και Αξιολόγησης

Τα υλικά της προστασίας πρέπει να:

- Παρέχουν υδροφοβικότητα χωρίς να φράσει τους πόρους.
- Μην αλλοιώνουν χρώμα και υφή.
- Μην δημιουργούν παραπροϊόντα.
- Επιτρέπουν επαναληπτικές επεμβάσεις.

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς της επέμβασης προστασίας αφορά σε:

- Την αποτελεσματικότητα της υδροφοβίωσης.
- Την απουσία παρενεργειών (χρωματικές αλλοιώσεις, μείωση διαπνοής, δομικές μεταβολές).

5.5.4.4.7.3. Μεθοδολογία αποτίμησης αποτελεσματικότητας

Το EN 16581 προτείνει αλληλουχία δοκιμών, καθώς και προδιαγραφές για αριθμό και διαστάσεις δοκιμών. Οι δοκιμές που προτείνονται είναι οι εξής:

A) Δοκιμές Μείωσης Απορρόφησης Νερού (πριν και μετά την επέμβαση με το υλικό προστασίας)

- Προσδιορισμός Απορρόφησης Νερού με Τριχοειδή Αναρρίχηση (EN 15801) η οποία μετρά τον συντελεστή απορρόφησης (AC). Η μορφή της καμπύλης απορρόφησης (ποσότητα νερού–χρόνος) είναι κρίσιμη.
- Προσδιορισμός Στατικής Γωνίας Επαφής (EN 15802), όπου εκτιμάται η ικανότητα της διαβροχής
- Μέθοδος Σωλήνα (Pipe Method – Karsten) (EN 16302) η οποία μετρά τη ποσότητα και τον ρυθμό απορρόφησης υπό χαμηλή πίεση καθώς και την κατακόρυφη και οριζόντια μεταφορά νερού. Η μέθοδος παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι απαιτεί στεγανοποίηση της κυψέλης, που ενδέχεται να προκαλέσει φθορά.
- Διαπερατότητα Υδρατμών (σύμφωνα με EN πρότυπο σχετικό με μέθοδο “dry cup”). Η διατήρηση της διαπνοής είναι κρίσιμο κριτήριο για αποφυγή εγκλωβισμού υγρασίας.

- Μέθοδος Σπόγγου Επαφής (UNI 11432) και βασίζεται στην ποσότητα νερού που μεταφέρεται από κορεσμένο σπόγγο σε συγκεκριμένο χρόνο. Η μέθοδος απαιτεί επίπεδη επιφάνεια και ζυγό και επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Β) Μετρήσεις Χρώματος με το φορητό Φασματοφωτόμετρο/χρωματόμετρο

Γ) Τεχνικές NMR:

Η ανάπτυξη φορητών συστημάτων πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) επιτρέπει μη επεμβατικές μετρήσεις in situ. Η τεχνική ¹H-NMR relaxometry χρησιμοποιείται πρόσφατα για αξιολόγηση υδροφοβικών ιδιοτήτων.

Δ) Φασματοσκοπικές και Μικροσκοπικές Τεχνικές

που απαιτούν μικροδειγματοληψία.

- FTIR, Χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση παρουσίας οργανικών πολυμερών (σιλοξάνες, ακρυλικά, φθοροελαστομερή) και τον έλεγχο της αντοχής στον χρόνο.
- Raman, XRF, XRD, Εφαρμόζονται κυρίως σε ανόργανες επεμβάσεις (π.χ. οξαλικό αμμώνιο).
- SEM, TEM, AFM για τη μελέτη της νανοδομής, της κατανομής του προϊόντος και της σχέσης τραχύτητας-υδροφοβίωσης.

Πίνακας 5.5.4-8 Τεχνικές, Πρότυπα και Οδηγίες αποτίμησης αποτελεσματικότητας υλικών προστασίας

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Χρώμα	• EN 15886:2010 Conservation of cultural property - Test methods - Color measurement of surface • ASTM C609 – 07 Standard Test Method for Measurement of Light Reflectance Value and Small Color Differences Between Pieces of Ceramic Tile • NORMAL 43/93 (1993) Misure colorimetriche di Superfici Opache - Colorimetric Measurements of Opaque Surfaces
Υδροφοβίωση	• EN 16581:2015. Conservation of Cultural Heritage — Surface protection for porous inorganic materials — Laboratory test methods for the evaluation of the performance of water repellent products. • ISO 10624-1 — Paints and varnishes — Measurement of water repellency by contact angle — Part 1: Static method (2000) • ISO 10545-12 — Ceramic tiles — Part 12: Determination of water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent relative density (2019) • EN 15801, 2010. Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of capillary absorption of water by measuring the coefficient of capillary absorption. • EN 1062-3, 1999. Paints and varnishes — Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete — Part 3: Determination of liquid water permeability
Υγρομετρικά χαρακτηριστικά	• EN 15801, 2010. Conservation of Cultural Property. Test Methods. Determination of Water Absorption by Capillarity.

Τεχνικές	Πρότυπα και Οδηγίες
Πρόσφυση	• EN 15802, 2010. Conservation of Cultural Property. Test Methods. Determination of Static Contact Angle (EN 15802). Brussels: CEN, 2010. • EN 16302:2013 - Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method. • EN 16322, 2013. Conservation of Cultural Property — Test Methods — Determination of Drying Properties (Drying Index). • UNI 11432, 2011. Beni culturali — Materiali lapidei naturali ed artificiali — Determinazione dell'assorbimento di acqua mediante spugna di contatto. Cultural heritage - Natural and artificial stone - Determination of the water absorption by contact sponge. • EN ISO 12572, 2016. Title: Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties — Cup method. • ASTM E96M-16, 2016. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials • ASTM C67-21, 2021. Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. • EN 1542, 1999. Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Measurement of bond strength by pull-off • ISO 4624:2023 Paints and varnishes — Pull-off test for adhesion • ASTM D3359, 2023. Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test. • ASTM D4541, 2022. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers

5.4.7.5 Παραδοτέα

Η οριστική μελέτη υλικών καταλήγει:

- α) στην επιλογή των υλικών, συνθέσεων ή συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε επέμβαση,
- β) στην τεχνική τεκμηρίωση της επιλογής τους,
- γ) στον καθορισμό των αποδεκτών ορίων των κρίσιμων ιδιοτήτων των επιλεγμένων υλικών,
- δ) στον καθορισμό των εργαστηριακών και επιτόπιων ελέγχων που θα πραγματοποιηθούν κατά την εφαρμογή,
- ε) στις τεχνικές απαιτήσεις που θα εξειδικευθούν κατά τη μελέτη εφαρμογής.

5.5.4.5 Αξιοποίηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της οριστικής μελέτης αποτελούν τη βάση για τη μελέτη εφαρμογής υλικών, κατά την οποία εξειδικεύονται οι διαδικασίες εφαρμογής, οι απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου και οι όροι παραλαβής των επιλεγμένων υλικών και επεμβάσεων.

5.5.5 Χρήση HBIM και Ψηφιακών Διδύμων κατά τον Σχεδιασμό και την Υλοποίηση

Η χρήση των ψηφιακών διδύμων και μοντέλων HBIM αναφέρθηκε στο στάδιο της τεκμηρίωσης, στην ενότητα 5.2.3.4. Στο στάδιο της οριστικής μελέτης, τα ψηφιακά δίδυμα και τα μοντέλα HBIM βασίζονται στα στοιχεία τεκμηρίωσης, αποτύπωσης, διαγνωστικών ελέγχων και λοιπών μελετών, ενημερώνονται με τα δεδομένα και τις αποφάσεις που προκύπτουν κατά την ανάπτυξη της οριστικής μελέτης και επικαιροποιούνται ώστε να περιλαμβάνουν, κατά περίπτωση:

- α) την ενσωμάτωση των προτεινόμενων επεμβάσεων αποκατάστασης, συντήρησης, ενίσχυσης και ανάδειξης,
- β) τον συντονισμό των αρχιτεκτονικών, στατικών, γεωτεχνικών, Η/Μ, συντηρητικών και λοιπών μελετών,
- γ) την καταγραφή των προτεινόμενων επεμβάσεων ανά στοιχείο, χώρο ή τμήμα του μνημείου,
- δ) την υποστήριξη της αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων και του ελέγχου συμβατότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων,
- ε) τη διαχείριση πληροφοριών που αφορούν την προστασία, λειτουργία, συντήρηση και διαχείριση του μνημείου και αφορούν στο στάδιο της οριστικής μελέτης

Τα μοντέλα HBIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα δύνανται να υποστηρίζονται από εργαλεία ανάλυσης δεδομένων, αναγνώρισης προτύπων και τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία δεδομένων παρακολούθησης, την αναγνώριση μεταβολών, την αξιολόγηση κινδύνων και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σχετικά με τη διατήρηση και διαχείριση του μνημείου.

Τα συστήματα HBIM και Ψηφιακών Διδύμων δύνανται να αξιοποιούνται για την υποστήριξη του σχεδιασμού, του συντονισμού των μελετών και της υλοποίησης των επεμβάσεων στο μνημείο.

Η χρήση τους μπορεί να περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την υποστήριξη της τεκμηρίωσης και αποτύπωσης,
- β) τον συντονισμό των επιμέρους μελετητικών αντικειμένων,
- γ) την ανάπτυξη και αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων,
- δ) την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων,
- ε) τον έλεγχο συμβατότητας μεταξύ επιμέρους μελετών,
- στ) την παρακολούθηση της υλοποίησης των επεμβάσεων,
- ζ) την καταγραφή μεταβολών που προκύπτουν κατά την κατασκευή,
- η) την παραγωγή σχεδίων, πινάκων και λοιπών στοιχείων τεκμηρίωσης.

Η χρήση των ψηφιακών μοντέλων συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των μελετών, στον αποτελεσματικότερο συντονισμό των εμπλεκόμενων φορέων και στη διαχείριση της πληροφορίας κατά την εξέλιξη του έργου.

5.5.5.1 Επικαιροποίηση και Διαχείριση του Ψηφιακού Υποβάθρου μετά την Ολοκλήρωση του Έργου

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών δύναται να πραγματοποιείται επικαιροποίηση του ψηφιακού μοντέλου ώστε να αποτυπώνει την τελική κατάσταση του μνημείου και τις επεμβάσεις που υλοποιήθηκαν.

Το επικαιροποιημένο μοντέλο δύναται να χρησιμοποιείται για:

- α) την τεκμηρίωση της τελικής κατάστασης του έργου,
- β) την υποστήριξη της λειτουργίας και διαχείρισης του μνημείου,
- γ) τον προγραμματισμό και την παρακολούθηση εργασιών συντήρησης,
- δ) την καταγραφή νέων επεμβάσεων ή μεταβολών,
- ε) την παρακολούθηση της κατάστασης διατήρησης,
- στ) την υποστήριξη μελλοντικών μελετών και έργων.

Η διαχείριση του ψηφιακού υποβάθρου οργανώνεται κατά τρόπο που να διασφαλίζει τη διαχρονική αξιοποίηση, την επικαιροποίηση, τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα των δεδομένων που αφορούν το μνημείο.

Στο πλαίσιο αυτό απαιτείται αυστηρή διαλειτουργικότητα, καθώς και η χρήση ανοικτών προτύπων, ώστε τα ψηφιακά αυτά δεδομένα να μην εγκλωβίζονται σε κλειστά εμπορικά λογισμικά. Αυτό διασφαλίζει ότι οι ψηφιακές αυτές υποδομές θα μπορούν να αξιοποιούνται απρόσκοπτα από ερευνητικούς φορείς, μηχανικούς και πανεπιστήμια σε βάθος πολλών δεκαετιών.

5.5.6 Οριστική Γεωλογική - Γεωτεχνική μελέτη

Άρθρο ΓΤΕ.3 Έκθεση Γεωτεχνικής Έρευνας (ΓΜΕ.1 παράγραφος 1.3 του ΦΕΚ Β'2519/2017)

Αντικείμενο της Έκθεσης Γεωτεχνικών Ερευνών είναι η παρουσίαση όλων των εργασιών γεωτεχνικής έρευνας (υπαίθρου και εργαστηριακών δοκιμών) και των αποτελεσμάτων τους οι οποίες εκτελούνται στα πλαίσια ενός έργου σύμφωνα με την εγκεκριμένη Έκθεση Προγράμματος Γεωτεχνικών Ερευνών.

Οριστική γεωλογική μελέτη (κατ.20)

Τεχνική Έκθεση που Θα περιλαμβάνει (όχι περιοριστικά) τα ακόλουθα:

- Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής. Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου. Αναλυτική περιγραφή της/των επιφάνειας/ων Θραύσης, εδαφικών ρηγμάτων, χασμάτων, περιοχές συσσώρευσης υλικών κ.λπ. Σχολιασμοί της δυνητικής αστάθειας φυσικού ανάγλυφου.
- Γεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής, στρωματογραφία, δομή, σχολιασμός τεκτονικών συνθηκών και πιθανή υποβοήθησή τους στην εκδήλωση του φαινομένου κλπ.
- Υδρογεωλογικές συνθήκες. Αξιολόγηση των εγκατεστημένων πιεζόμετρων. Στάθμη και διακύμανσή της. Είδος υδροφόρου ορίζοντα (ελεύθερος, υπό πίεση, επικρεμάμενος) και συνθήκες λειτουργίας του (μόνιμος, εποχιακός). Ρόλος του υπόγειου νερού στην εκδήλωση των φαινομένων αστάθειας.
- Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωερευνητικών εργασιών.
- Περιγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών.

Επίσης, εάν απαιτείται καταρτίζεται και προτείνεται περαιτέρω πρόγραμμα γεωερευνητικών εργασιών (εγκατάσταση οργάνων παρακολουθήσεως, ερευνητικές γεωτρήσεις, ορύγματα, τάφροι γεωφυσικές διασκοπήσεις, κ.λπ.). Κατ' αρχήν προτάσεις για λήψη μέτρων προστασίας και αποκατάστασης κατολισθημένης περιοχής.

Β. Παραρτήματα που Θα περιλαμβάνουν (όχι περιοριστικά) τα ακόλουθα:

1. Φωτογραφική τεκμηρίωση
2. Καταγραφή γεωερευνητικών εργασιών
3. Απογραφή Σημείων Εμφάνισης Νερού
4. Μετρήσεις στάθμης υδροφόρου ορίζοντα
5. Τεκτονικά Διαγράμματα- Φύλλα καταγραφής μετρήσεων ασυνεχειών
6. Ταξινομήσεις Βραχώμαζας
7. Αποτελέσματα γεωφυσικών διασκοπήσεων

Γ. Σχέδια που Θα περιλαμβάνουν (όχι περιοριστικά) τα ακόλουθα:

1. Γεωλογική Οριζοντιογραφία σε κλίμακα 1:1.000 ή μεγαλύτερη (ανάλογα ανάλογα και με το μέγεθος της κατολισθαίνουσας μάζας).
2. Γεωλογικές Τομές- Διατομές σε κλίμακα 1:200.
3. Χάρτης κλίσεων αναγλύφου και αστάθειας (ή χάρτη τεχνικής γεωμορφολογίας και προβληματικών περιοχών), ή άλλο βοηθητικό Θεματικό χάρτη , εφόσον τεκμηριωμένα απαιτείται.

Οριστική γεωτεχνική έρευνα και μελέτη (κατ.21)

Η Έκθεση τυπικά και όχι περιοριστικά περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- (α) Σκοπό και στόχους της γεωτεχνικής έρευνας
- (β) Εντολή αναθέσεως της γεωτεχνικής έρευνας (κύριος του έργου, ημερομηνία, κ.λπ.)
- (γ) Σύντομη περιγραφή του έργου για το οποίο έγινε η γεωτεχνική έρευνα (είδος, θέση, γεωμετρία κλπ.)
- (δ) Σύντομη περιγραφή των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής
- (ε) Χρόνο εκτελέσεως των διαφόρων φάσεων των εργασιών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών
- (στ) Τύπους των μηχανημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τις εργασίες υπαίθρου
- (ζ) Ονόματα επιστημονικού και ειδικευμένου επιστημονικού προσωπικού υπεύθυνου για τη συνεχή επιτόπου παρακολούθηση των γεωτρήσεων και των λοιπών εργασιών υπαίθρου, την επιτόπου μακροσκοπική περιγραφή των δειγμάτων και την κατάλληλη σήμανση και συσκευασία των δειγμάτων
- (η) Πινακοποίηση ποσοτήτων εκτελεσθεισών εργασιών
- (θ) Παρουσίαση των καθημερινών μετρήσεων της στάθμης του νερού στις γεωτρήσεις κατά την εκτέλεση των γεωτρήσεων και εν συνεχεία από πιεζόμετρα.
- (ι) Παρουσίαση των επιτόπου παρατηρήσεων κατά την εκτέλεση των γεωτεχνικών εργασιών υπαίθρου π.χ. συμπεριφορά διατρητικής στήλης, απώλεια υδάτων ή αρτεσιανισμός, παρατηρήσεις σχετικά με διακοπές και είδη βλαβών ή αστοχιών καθώς και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία χρήσιμη για την πληρέστερη και σαφέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων
- (ια) Παρουσίαση των μητρώων υπεδάφους των ερευνητικών διατρήσεων με περιγραφές των σχηματισμών υπεδάφους, με βάση τα μητρώα υπαίθρου και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών. Οι περιγραφές των σχηματισμών θα περιλαμβάνουν γεωλογικά, στρωματογραφικά και μακροσκοπικά (χρώμα, ιστός-υφή, δομή) χαρακτηριστικά, βαθμό εξαλλοίωσης ή αποσάθρωσης και κερματισμού, στοιχεία ασυνεχειών, σκληρότητα-πυκνότητα κτλ. Οι περιγραφές των εδαφικών σχηματισμών θα γίνονται με βάση ένα

αναγνωρισμένο κύριο σύστημα κατάταξης (π.χ. USCS). Τα μητρώα θα περιλαμβάνουν ακόμα τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τίτλο έργου, τύπο μηχανήματος και κοπτικών εργαλείων
 - Θέση σημείου γεώτρησης οριζοντιογραφικά (Χ.Θ.) και συντεταγμένες αυτού (Χ, Υ, Ζ)
 - Ημερομηνία έναρξης και περάτωσης της γεώτρησης και κρατούσες καιρικές συνθήκες
 - Στάθμη αλλαγής των σχηματισμών (με σχετικό και απόλυτο υψόμετρο)
 - Τύπος κοπτικού και δειγματολήπτη
 - Βάθη και σήμανση ληφθέντων διαταραγμένων και αδιατάρακτων δειγμάτων
 - Αριθμό κρούσεων δοκιμής πρότυπης διείδυσης ανά βήμα 15 εκ.
 - Ποσοστό πυρηνοληψίας και RQD
 - Πλήρη περιγραφή των ασυνεχειών (φύση, προσανατολισμός, συχνότητα, τραχύτητα κτλ.)
 - Στάθμη υπογείου ορίζοντα μετά το πέρας της γεωτρητικής εργασίας
 - Απώλεια ύδατος γεώτρησης (ολική ή μερική) καθώς και τυχόν μεταβολές πίεσης του ύδατος
 - Τυχόν εισροές υπογείων υδάτων όπου αυτές παρατηρούνται
 - Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας (τιμές συντελεστή διαπερατότητας)
 - στα αντίστοιχα βάθη
 - Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών σε στήλες
 - Οποιαδήποτε παρατήρηση σχετική με τη συμπεριφορά της διατρητικής στήλης
 - (απότομες πτώσεις, αντίσταση στην περιστροφή κλπ.)
- (ιβ) Τοπογραφικό διάγραμμα με οριζοντιογραφία των προβλεπόμενων έργων στο οποίο θα σημειώνονται (με διαφορετική σήμανση ανά είδος έρευνας) οι θέσεις όλων των υφιστάμενων και προτεινόμενων σημείων έρευνας. Στο υπόμνημα του σχεδίου θα αναγράφονται σε πίνακα οι συντεταγμένες (Χ, Υ, Ζ) των αποτυπωμένων θέσεων της εκτελεσθείσας έρευνας.
- (ιγ) Παρουσίαση των επιτόπου δοκιμών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών σε παραρτήματα
- (ιδ) Έγχρωμες φωτογραφίες πυρήνων γεωτρήσεων ή άλλων ερευνητικών εκσκαφών καθώς και φωτογραφίες της θέσης της ερευνητικής διάνοιξης σε παράρτημα.

Αντικείμενο (ΓΜΕ.1 παράγραφος 1.3 του ΦΕΚ Β΄2519/2017)

Αντικείμενο της Έκθεσης Αξιολόγησης Γεωτεχνικών Ερευνών είναι η αξιολόγηση και ερμηνεία των στοιχείων της γεωτεχνικής έρευνας συνεκτιμώντας τα σχετικά στοιχεία από τη γεωλογική μελέτη με στόχο τον καθορισμό του γεωτεχνικού προσομοιώματος στην περιοχή του έργου.

Περιεχόμενο

Η Έκθεση περιλαμβάνει τυπικά και όχι περιοριστικά τα ακόλουθα:

- (α) Σύνοψη παράθεση των γεωλογικών πληροφοριών με αναφορά στην πηγή των πληροφοριών και συγκεκριμένα:
- Αναφορά στα υφιστάμενα γεωλογικά στοιχεία.
 - Περιγραφή των γενικών γεωλογικών συνθηκών της περιοχής του έργου (με σαφή αναφορά στη γεωμορφολογία, στρωματογραφία, τεκτονική, σεισμικότητα κ.λπ.).
 - Περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του έργου.

- Περιγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής (με σαφή αναφορά σε τεχνικογεωλογικές ενότητες-ομάδες γεωυλικών με την ίδια ή παρόμοια αναμενόμενη μηχανική συμπεριφορά).
- (β) Σύντομη περιγραφή της εκτελεσθείσας γεωτεχνικής έρευνας με αναφορά στο είδος, θέση και βάθος αυτής. Απαραίτητα θα περιλαμβάνονται σε παράρτημα του τεύχους:
- τοπογραφικό διάγραμμα με οριζοντιογραφία των προβλεπόμενων έργων στο οποίο θα αποτυπώνονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί και, με διαφορετική σήμανση ανά είδος έρευνας, οι θέσεις όλων των ερευνών που έχουν εκτελεσθεί σε παλαιότερο ή στο παρόν στάδιο μελέτης. Στο υπόμνημα του σχεδίου θα αναγράφονται σε πίνακα οι συντεταγμένες των θέσεων (X, Y, Z) της εκτελεσθείσας έρευνας όπως αυτές περιλαμβάνονται στις αντίστοιχες Εκθέσεις Γεωτεχνικών Ερευνών,
 - τα μητρώα των ερευνητικών διανοίξεων όπως αυτά περιλαμβάνονται στις αντίστοιχες Εκθέσεις Γεωτεχνικών Ερευνών.
- (γ) Περιγραφή του υπό μελέτη έργου (θέση, τεχνική περιγραφή, γεωμετρία, λειτουργικές απαιτήσεις, ελάχιστο λειτουργικό βάθος θεμελιώσεως, φορτία, αντιστηρίξεις, υλικά κατασκευής, στατική μορφή και φορείς, υπόγεια νερά, στεγανότητα, πρηνή, απαιτήσεις μελετητών επί ειδικών θεμάτων κ.λπ.) και παροχή χρήσιμων πληροφοριών για το περιβάλλον αυτού (π.χ. κτίσματα, άλλες γειτνιάζουσες κατασκευές και αλληλεπίδραση αυτών),
- (δ) Παρουσίαση του γεωτεχνικού προσομοιώματος, δηλαδή του διαχωρισμού των συναντώμενων σχηματισμών σε εδαφικά στρώματα/βραχώδεις ενότητες με κριτήριο τη μηχανική συμπεριφορά, με βάση τα αποτελέσματα της γεωλογικής μελέτης και των γεωτεχνικών ερευνών (εργασίες υπαίθρου και εργαστηριακές δοκιμές). Γίνεται λεπτομερής περιγραφή των διαφόρων στρώσεων-ενοτήτων με βάση τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά (με έμφαση στα χαρακτηριστικά αντοχής και συμπιεστότητας) και δίνεται διαφορετικό σύμβολο για κάθε διαχωριζόμενη στρώση-ενότητα. Σχεδιάζονται και περιλαμβάνονται σε παράρτημα της Έκθεσης γεωτεχνικές τομές (μηκοτομή – διατομές στις θέσεις των ερευνών) πάνω στις οποίες δείχνεται ο διαχωρισμός των στρωμάτων-ενοτήτων με απόλυτα υψόμετρα όπου είναι δυνατόν, αλλιώς με σχετικά υψόμετρα από τα σχέδια της μελέτης και προβάλλονται στις θέσεις γεωτεχνικής έρευνας κατ' ελάχιστο τα παρακάτω:
- Η κατάταξη των υλικών με βάση το σύστημα USCS
 - Ο αριθμός κρούσεων NSPT των δοκιμών πρότυπης διεύθυνσης, στα βάθη που έχουν πραγματοποιηθεί
 - Ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος (RQD) και ο βαθμός αποσάθρωσης
 - Η στάθμη του υπόγειου νερού. Σε περίπτωση που υπάρχουν αρκετά στοιχεία είναι σκόπιμο να παρουσιάζεται το εποχιακό εύρος διακύμανσης αυτής. Οι όποιες μετρήσεις σταθμών που παρουσιάζονται πρέπει να πραγματοποιούνται μετά το πέρας των γεωτρητικών εργασιών.
- Στον καθορισμό του προσομοιώματος λαμβάνονται υπόψη και σχολιάζονται όλες οι διαθέσιμες μετρήσεις οργάνων παρακολούθησης (πιεζόμετρα, αποκλισιόμετρα, επιφανειακοί μάρτυρες κ.τλ.).
- (ε) Ταξινόμηση, πινακοποίηση και παρουσίαση σε κατάλληλα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των ερευνών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών και εφόσον κρίνεται απαραίτητο, παρουσίαση της στατιστικής κατανομής και του εύρους μεταβολής των κυριότερων στοιχείων σε ιστογράφημα.

-
- (στ) Παρουσίαση των τιμών (διακύμανση και μέσοι όροι) των κυριότερων φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών για κάθε εδαφικό στρώμα/ βραχώδη ενότητα που έχει διαχωριστεί, με ιδιαίτερη έμφαση στα αποτελέσματα των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών αντοχής, παραμορφωσιμότητας και περατότητας (τυποποιημένης διείσδυσης, φυσικής υγρασίας, αντοχής, συμπιεστότητας κ.λπ.), Η παρουσίαση των ορίων μεταβολής των γεωτεχνικών παραμέτρων πρέπει να γίνεται κατά τρόπο σαφή και εποπτικό ώστε να επιτρέπει την επιλογή των πιο κατάλληλων παραμέτρων για τους γεωτεχνικούς υπολογισμούς. Αποτελέσματα που παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση από το μεγαλύτερο μέρος των άλλων αποτελεσμάτων εξετάζονται με σχολαστικότητα για να διαπιστωθεί εάν οφείλονται σε σφάλματα δοκιμής ή εάν αντιπροσωπεύουν διαφορετικές συνθήκες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στον διαχωρισμό των στρώσεων-ενοτήτων.
- (ζ) Επιλογή αντιπροσωπευτικών τιμών (σχεδιασμού) των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για κάθε διαχωριζόμενη στρώση-ενότητα. Θα γίνεται προσπάθεια για ερμηνεία των αποτελεσμάτων και αξιολόγηση τυχόν σημαντικών αποκλίσεων μεταξύ των παραμέτρων που προέρχονται από διάφορα είδη δοκιμών. Σε περιπτώσεις στις οποίες προεκτιμάτε ότι η αστοχία θα συμβεί στο ασθενέστερο υλικό που υπάρχει σε ανομοιογενή στρωματογραφική διάταξη, το κατώτατο όριο τιμών χαρακτηριστικών παραμέτρων για τα υλικά που επηρεάζουν την αστοχία θα προσδιορίζεται με βάση την κρίση του γεωτεχνικού μηχανικού ή με στατιστικές μεθόδους κατά τις οποίες θα επιλέγεται μια πιθανότητα μη υπέρβασης ίση με 5%. Στις περιπτώσεις που τόσο η αντοχή όσο και η παραμόρφωση δεν καθορίζονται από το ασθενέστερο υλικό που υπάρχει, τότε θα χρησιμοποιούνται κατάλληλες μέθοδοι μέσου όρου με απομείωση (εάν απαιτείται) ανάλογα με την εκτιμηθείσα τυπική απόκλιση.
- (η) Πρόταση ετήσιας ανώτατης στάθμης υπόγειου ορίζοντα καθώς και ανώτατης στάθμης ορίζοντα 50-ετίας για να χρησιμοποιηθούν στους γεωτεχνικούς υπολογισμούς. Η πρόταση θα βασίζεται σε εκτιμήσεις που θα προκύπτουν στατιστικά (συσχέτιση πιεζομετρικών και βροχομετρικών δεδομένων) ή σε ορισμένες περιπτώσεις και εφόσον απαιτείται με άλλες μεθόδους (εμπειρικές, αναλυτικές κ.λ.π.). Γενικά η μέθοδος που θα χρησιμοποιείται θα εξαρτάται από τα διαθέσιμα στοιχεία (υδρογεωλογικά, μετεωρολογικά) και την σπουδαιότητα του έργου. Σε κάθε περίπτωση θα λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές, ιδιαίτερες υδρογεωλογικές συνθήκες (περατότητες των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων, φυσική αποστράγγιση κλπ.). Σε περίπτωση έλλειψης τοπικών στοιχείων θα γίνονται συντηρητικές εκτιμήσεις σταθμών με βάση αιτιολογημένες παραδοχές και στοιχεία από παρακείμενες περιοχές με παρόμοιες συνθήκες καθώς και σχετικά στοιχεία από τη διεθνή βιβλιογραφία.
- (θ) Κατάταξη των προς εκσκαφή υλικών για χρήση ως υλικού κατασκευής επιχωμάτων, εξυγίανσης, οδοστρώσεως κτλ. και κατάταξη όσον αφορά την εκσκαψιμότητα.
- (ι) Ταξινόμηση κατά μήκος του έργου του εδάφους θεμελίωσης οδοστρωμάτων σε περίπτωση χαμηλών επιχωμάτων, (ύψους μικρότερου του 1,00μ.), έρπουσας χάραξης ή χάραξης σε διατομή ορύγματος με κριτήριο την αναγκαιότητα κατασκευής στρώσης εξυγίανσης, αποστράγγισης κτλ.
- (ια) Κατάταξη των εδαφών από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας με βάση τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000).
- (ιβ) Αξιολόγηση των χημικών ιδιοτήτων των υπογείων υδάτων σε σχέση με την επίδρασή τους σε δομικά στοιχεία που βρίσκονται στο έδαφος
- (ιγ) Υποβολή αιτιολογημένων προτάσεων σχετικά με το είδος και τον αριθμό των πρόσθετων γεωτεχνικών ερευνών που κρίνεται σκόπιμο να εκτελεστούν, για να καλύψουν τυχόν ανεπαρκή στοιχεία της έρευνας ή να απαντήσουν σε τυχόν ερωτηματικά που προέκυψαν

από τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας, εφόσον απαιτηθεί από την παραπάνω αξιολόγηση.

(ι) Πρόταση συμπληρωματικών ερευνών

Η έκθεση ολοκληρώνεται με αιτιολογημένη πρόταση για τυχόν πρόσθετες γεωλογικές, γεωτεχνικές, γεωφυσικές ή εργαστηριακές έρευνες που απαιτούνται για τη βελτίωση του γεωτεχνικού προσομοιώματος και τη μείωση της αβεβαιότητας των παραμέτρων σχεδιασμού.

5.6 Μελέτη εφαρμογής

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 9 παρ. 1 η μελέτη εφαρμογής για κάθε κατηγορία μελέτης περιέχει τη συγκέντρωση, τον έλεγχο, την αξιολόγηση, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν όρους και προϋποθέσεις που τίθενται στην εγκριτική απόφαση, και, αν κριθεί αναγκαίο, συμπλήρωση των δεδομένων που προκύπτουν από το πρόγραμμα ερευνών και εργασιών τεκμηρίωσης, και την προετοιμασία των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την αυτεπιστασία ή δημοπράτηση και την απρόσκοπτη εκτέλεση του έργου. Επισημαίνεται ότι ανάλογα με την φύση, την έκταση, τις αναγκαίες επεμβάσεις κ.λπ., είναι δυνατόν να υποβληθεί η οριστική μελέτη και η μελέτη εφαρμογής σε ένα στάδιο.

5.6.1 Αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 9 παρ. 2 η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής περιέχει:

- α) Τεχνική περιγραφή, η οποία περιλαμβάνει την πλήρη εικόνα και λεπτομερή ανάλυση των εργασιών καθώς και επεξήγηση και συμπλήρωση των σχεδίων της μελέτης, ούτως ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος και η απρόσκοπτη εκτέλεση του έργου, τεχνικές προδιαγραφές των υλικών και τις μεθόδους εφαρμογής τους και υπομνηματισμός των εργασιών σε αντιστοιχία με τα κατασκευαστικά σχέδια.
- β) Πλήρη σχέδια για την εκτέλεση των εργασιών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση του έργου. Σε αυτά περιλαμβάνονται: γενικό τοπογραφικό σχέδιο για την ακριβή ένταξη του έργου στον χώρο, κατασκευαστικά σχέδια κατόψεων, όψεων και τομών. Στα παραπάνω σχέδια θα πρέπει να αναγράφονται όλες οι διαστάσεις, γενικές και επιμέρους, οι σχετικές στάθμες με κατάλληλη σταθερή χωροσταθμική αφετηρία, καθώς και οι περιοχές των απαιτούμενων ειδικών λεπτομερειών με χαρακτηριστικούς κωδικούς συμβολισμούς σε συνάρτηση με τους αντίστοιχους συμβολισμούς των σχεδίων λεπτομερειών. Επίσης, επί των κατασκευαστικών σχεδίων θα πρέπει να υπάρχει υπομνηματισμός των προβλεπόμενων εργασιών σε αντιστοιχία με την τεχνική περιγραφή. Στα σχέδια λεπτομερειών παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαστάσεις καθώς και η διάρθρωση και το είδος των υλικών και των διαφόρων στοιχείων του έργου. Σε αυτά μπορεί να περιλαμβάνονται προοπτικά ή αξονομετρικά κατασκευαστικά σχέδια και προπλάσματα κατασκευαστικών λεπτομερειών, εφόσον κάτι τέτοιο κρίνεται σκόπιμο. Ο ακριβής προσδιορισμός των κλιμάκων εξαρτάται από την έκταση και τη φύση του υπό μελέτη έργου.

5.6.1.1 Αντικείμενο και Στόχος της Αρχιτεκτονικής Μελέτης Εφαρμογής

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής εξειδικεύει και αναπτύσσει την εγκεκριμένη οριστική αρχιτεκτονική μελέτη στο επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτείται για την ακριβή υλοποίηση του έργου.

Σκοπός της είναι η πλήρης τεχνική και κατασκευαστική τεκμηρίωση των προτεινόμενων επεμβάσεων, η σαφής περιγραφή των απαιτούμενων εργασιών και η παροχή όλων των αναγκαίων στοιχείων για την ορθή εκτέλεση του έργου χωρίς την ανάγκη περαιτέρω ερμηνειών ή σχεδιαστικών συμπληρώσεων κατά την κατασκευή.

Η μελέτη εφαρμογής βασίζεται στην εγκεκριμένη οριστική μελέτη και περιλαμβάνει το σύνολο των απαιτούμενων κατασκευαστικών πληροφοριών, λεπτομερειών, τεχνικών προδιαγραφών, συνδέσεων και οδηγιών εφαρμογής που απαιτούνται για την υλοποίηση των προβλεπόμενων επεμβάσεων.

Η ανάπτυξη της μελέτης εφαρμογής πραγματοποιείται σε βαθμό λεπτομέρειας ανάλογο με την κλίμακα, την πολυπλοκότητα και τις ιδιαιτερότητες του μνημείου και των προτεινόμενων επεμβάσεων.

5.6.1.2 Σχέδια Εφαρμογής και Κατασκευαστική Τεκμηρίωση

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει το σύνολο των σχεδίων που απαιτούνται για την ακριβή υλοποίηση των προτεινόμενων επεμβάσεων και την πλήρη κατασκευαστική τεκμηρίωση του έργου.

Τα σχέδια εφαρμογής αναπτύσσονται σε κατάλληλες κλίμακες, ανάλογα με τη φύση και την πολυπλοκότητα των επεμβάσεων, και περιλαμβάνουν όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ορθή εκτέλεση των εργασιών.

Η κατασκευαστική τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) σχέδια κατόψεων, όψεων και τομών με πλήρη αποτύπωση των προτεινόμενων επεμβάσεων,
- β) σχέδια διακρίσεως υφιστάμενων, διατηρούμενων, καθαιρούμενων, αποκαθιστάμενων, συμπληρούμενων ή νέων στοιχείων,
- γ) σχέδια διαστασιολόγησης και στάθμεων,
- δ) σχέδια διάταξης υλικών, μορφολογικών στοιχείων και κατασκευαστικών συστημάτων,
- ε) σχέδια ειδικών κατασκευών, προσθηκών, συμπληρώσεων ή ενσωματώσεων νέων στοιχείων,
- στ) σχέδια λεπτομερειών για συνδέσεις, αρμούς, στηρίξεις, συναρμογές και λοιπά κρίσιμα κατασκευαστικά σημεία,
- ζ) σχέδια συντονισμού με τις λοιπές μελέτες του έργου, όπου απαιτείται,
- η) τρισδιάστατες απεικονίσεις, αξονομετρικά σχέδια ή λοιπά εποπτικά μέσα τεκμηρίωσης, εφόσον απαιτούνται για την κατανόηση σύνθετων κατασκευαστικών λύσεων.

Τα σχέδια εφαρμογής πρέπει να παρέχουν σαφή και πλήρη κατασκευαστική πληροφορία, ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή ερμηνεία της μελέτης και η απρόσκοπτη εκτέλεση των εργασιών στο μνημείο και στον περιβάλλοντα χώρο του.

5.6.1.3 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες και Ειδικές Εφαρμογές

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες που απαιτούνται για την ακριβή υλοποίηση των προτεινόμενων επεμβάσεων και την ορθή εφαρμογή των προβλεπόμενων τεχνικών λύσεων.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες αναπτύσσονται σε κατάλληλες κλίμακες και αποδίδουν με σαφήνεια τη γεωμετρία, τη διάρθρωση, τα υλικά, τις συνδέσεις και τον τρόπο κατασκευής των επιμέρους στοιχείων του έργου.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες περιλαμβάνουν, κατά περίπτωση:

- α) λεπτομέρειες αποκατάστασης, επισκευής ή συμπλήρωσης ιστορικών δομικών και μορφολογικών στοιχείων,
- β) λεπτομέρειες νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων,
- γ) λεπτομέρειες συνδέσεων μεταξύ υφιστάμενων και νέων στοιχείων,
- δ) λεπτομέρειες ενσωμάτωσης τεχνικών εγκαταστάσεων σε ιστορικές κατασκευές,
- ε) λεπτομέρειες ειδικών μορφολογικών, διακοσμητικών ή κατασκευαστικών στοιχείων,
- στ) λεπτομέρειες δαπέδων, επικαλύψεων, κουφωμάτων, κιγκλιδωμάτων, στεγάστρων ή άλλων στοιχείων που απαιτούν ειδική τεκμηρίωση,
- ζ) λεπτομέρειες διαμορφώσεων του περιβάλλοντος χώρου,
- η) λεπτομέρειες εφαρμογής μέτρων προσβασιμότητας, ασφάλειας και εξυπηρέτησης χρηστών, όπου απαιτείται.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες τεκμηριώνονται κατά τρόπο που να εξασφαλίζεται η σαφής κατανόηση των προτεινόμενων λύσεων, η συμβατότητά τους με τα χαρακτηριστικά του μνημείου και η ορθή εφαρμογή τους κατά την εκτέλεση των εργασιών.

5.6.1.4 Συντονισμός της Αρχιτεκτονικής Μελέτης Εφαρμογής με τις Λοιπές Μελέτες του Έργου

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής διασφαλίζει τον συντονισμό των αρχιτεκτονικών επεμβάσεων με τις λοιπές μελέτες του έργου και ενσωματώνει τις απαιτήσεις που απορρέουν από αυτές, με στόχο την ενιαία και απρόσκοπτη υλοποίηση του έργου.

Ο συντονισμός πραγματοποιείται σε επίπεδο σχεδίων εφαρμογής, κατασκευαστικών λεπτομερειών, τεχνικών προδιαγραφών και φάσεων εκτέλεσης των εργασιών.

Ο συντονισμός περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη χωρική και κατασκευαστική συμβατότητα των αρχιτεκτονικών επεμβάσεων με τις επεμβάσεις στον φέροντα οργανισμό,
- β) την ενσωμάτωση των απαιτούμενων ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων κατά τρόπο συμβατό με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου,

-
- γ) τον συντονισμό με τις μελέτες συντήρησης, ως προς τα υλικά, τις επιφάνειες και τις περιοχές επέμβασης,
 - δ) τον συντονισμό με τις μελέτες πυροπροστασίας, προσβασιμότητας, ασφάλειας και λειτουργίας του έργου,
 - ε) τον συντονισμό των επεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο με τις λοιπές τεχνικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις του έργου,
 - στ) τον εντοπισμό και την επίλυση πιθανών συγκρούσεων μεταξύ επιμέρους μελετητικών αντικειμένων πριν από την έναρξη των εργασιών,
 - ζ) τη διασφάλιση της συνέπειας των σχεδίων, των τεχνικών περιγραφών, των προδιαγραφών και των ποσοτικών στοιχείων μεταξύ των επιμέρους μελετών.

Τα αποτελέσματα του συντονισμού αποτυπώνονται στα σχέδια και στα τεύχη της μελέτης εφαρμογής και αποτελούν μέρος της συνολικής τεκμηρίωσης του έργου.

5.6.1.5 Ποσοτικά Στοιχεία και Επιμετρήσεις

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει τα απαραίτητα στοιχεία για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των εργασιών και των βασικών μεγεθών του έργου, σε αντιστοιχία με τα σχέδια εφαρμογής, τις τεχνικές περιγραφές και τις τεχνικές προδιαγραφές.

Η τεκμηρίωση των ποσοτήτων αποσκοπεί στη σαφή κατανόηση του φυσικού αντικειμένου του έργου και στη διασφάλιση της αντιστοιχίας μεταξύ των σχεδίων, των προβλεπόμενων εργασιών και των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη σύνταξη του προϋπολογισμού και των επιμετρήσεων.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) πίνακες επιφανειών, μηκών, όγκων ή λοιπών ποσοτικών στοιχείων των προβλεπόμενων επεμβάσεων,
- β) προσδιορισμό των ποσοτήτων ανά κατηγορία εργασιών,
- γ) αντιστοίχιση των ποσοτήτων με τα σχέδια εφαρμογής και τις τεχνικές περιγραφές,
- δ) προσδιορισμό των βασικών ποσοτήτων υλικών ή κατασκευαστικών στοιχείων που απαιτούνται για την υλοποίηση του έργου,
- ε) τεκμηρίωση των παραδοχών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ποσοτήτων, όπου απαιτείται,
- στ) αναφορά σε τυχόν ειδικές μετρήσεις ή αποτυπώσεις που επηρεάζουν τον υπολογισμό των ποσοτήτων.

Τα ποσοτικά στοιχεία της μελέτης εφαρμογής πρέπει να είναι συνεπή με τα σχέδια, τις τεχνικές προδιαγραφές και τον προϋπολογισμό του έργου και να παρέχουν επαρκή τεκμηρίωση για την ορθή εκτέλεση και παρακολούθηση των εργασιών.

5.6.1.6 Επεμβάσεις σε Ιστορικά και Χαρακτηριστικά Στοιχεία του Μνημείου

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει ειδική τεκμηρίωση των επεμβάσεων που προβλέπονται σε ιστορικά, μορφολογικά, κατασκευαστικά ή άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου, για τα οποία απαιτείται αυξημένος βαθμός ακρίβειας και εξειδίκευσης κατά την εφαρμογή.

Η τεκμηρίωση αποσκοπεί στη διασφάλιση της προστασίας, της διατήρησης και της ορθής αποκατάστασης των στοιχείων αυτών κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την ακριβή αποτύπωση και αναγνώριση των στοιχείων που αποτελούν αντικείμενο επέμβασης,
- β) τον προσδιορισμό της φύσης και της έκτασης των προβλεπόμενων εργασιών για κάθε στοιχείο,
- γ) την περιγραφή των υλικών, τεχνικών και μεθόδων εφαρμογής που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν,
- δ) την αποτύπωση των απαιτούμενων κατασκευαστικών λεπτομερειών και ειδικών οδηγιών εφαρμογής,
- ε) την τεκμηρίωση των απαιτούμενων μέτρων προστασίας πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκτέλεση των εργασιών,
- στ) τον συντονισμό με τις μελέτες συντήρησης, αποκατάστασης ή άλλες εξειδικευμένες μελέτες που αφορούν τα συγκεκριμένα στοιχεία,
- ζ) την πρόβλεψη διαδικασιών ελέγχου και τεκμηρίωσης των επεμβάσεων κατά την εκτέλεση των εργασιών, όπου απαιτείται.

Η τεκμηρίωση των επεμβάσεων σε ιστορικά και χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου αποδίδεται με κατάλληλα σχέδια, πίνακες, φωτογραφική τεκμηρίωση, υπομνήματα ή άλλες μορφές τεχνικής τεκμηρίωσης και εξασφαλίζει την ορθή εφαρμογή των προβλεπόμενων επεμβάσεων.

5.6.1.7 Αποτύπωση Υφιστάμενων και Νέων Στοιχείων στα Σχέδια Εφαρμογής

Τα σχέδια της αρχιτεκτονικής μελέτης εφαρμογής αποδίδουν με σαφή και ενιαίο τρόπο τη διάκριση μεταξύ υφιστάμενων, διατηρούμενων, καθαιρούμενων, αποκαθιστάμενων, συμπληρούμενων και νέων στοιχείων του μνημείου.

Η τεκμηρίωση αυτή αποσκοπεί στη σαφή κατανόηση του φυσικού αντικείμενου των επεμβάσεων, στη διευκόλυνση της κατασκευής και στον αποτελεσματικό έλεγχο της εφαρμογής της μελέτης.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) διακριτή απεικόνιση των υφιστάμενων στοιχείων που διατηρούνται χωρίς επέμβαση,
- β) διακριτή απεικόνιση των στοιχείων που αποκαθίστανται, επισκευάζονται ή συντηρούνται,
- γ) διακριτή απεικόνιση των στοιχείων που αποξηλώνονται ή καθαιρούνται,
- δ) διακριτή απεικόνιση των στοιχείων που συμπληρώνονται ή ανακατασκευάζονται,
- ε) διακριτή απεικόνιση των νέων κατασκευών, προσθηκών ή τεχνικών εγκαταστάσεων,
- στ) ενιαίο σύστημα συμβολισμών, χρωματισμών, υπομνημάτων ή κωδικοποιήσεων για το σύνολο των σχεδίων της μελέτης,
- ζ) αντιστοίχιση των συμβολισμών των σχεδίων με τις τεχνικές περιγραφές, τις τεχνικές προδιαγραφές και τις επιμέρους κατηγορίες εργασιών.

Η αποτύπωση των επεμβάσεων στα σχέδια εφαρμογής πρέπει να είναι επαρκώς αναλυτική ώστε να καθίσταται σαφής η έκταση, η φύση και η θέση κάθε εργασίας και να διευκολύνεται η ορθή εφαρμογή της μελέτης κατά την εκτέλεση του έργου.

5.6.1.8 Επεμβάσεις στον Περιβάλλοντα Χώρο

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει την αναλυτική αποτύπωση, εξειδίκευση και κατασκευαστική ανάπτυξη των επεμβάσεων που προβλέπονται στον περιβάλλοντα χώρο του μνημείου, στον βαθμό που αυτές αποτελούν μέρος του εγκεκριμένου έργου.

Οι επεμβάσεις σχεδιάζονται κατά τρόπο συμβατό με τον χαρακτήρα, τις αξίες, τη φυσιογνωμία και τις απαιτήσεις προστασίας του μνημείου, καθώς και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ιστορικού, πολεοδομικού ή φυσικού περιβάλλοντος στο οποίο εντάσσεται.

Η μελέτη περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την ακριβή αποτύπωση των προβλεπόμενων διαμορφώσεων του περιβάλλοντος χώρου,
- β) τη χωροθέτηση διαδρομών κίνησης, σημείων πρόσβασης, χώρων στάσης και λοιπών λειτουργικών ενότητων,
- γ) τη διάταξη επιστρώσεων, φυτεύσεων, στοιχείων αστικού εξοπλισμού, φωτισμού, σήμανσης και λοιπών κατασκευών,
- δ) τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες των επιμέρους διαμορφώσεων και στοιχείων του περιβάλλοντος χώρου,
- ε) τις διαμορφώσεις που απαιτούνται για την εξασφάλιση της προσβασιμότητας και της ασφαλούς κίνησης των χρηστών,
- στ) την ενσωμάτωση των αναγκαίων τεχνικών υποδομών και δικτύων,
- ζ) τα απαιτούμενα μέτρα προστασίας ιστορικών, αρχαιολογικών, φυσικών ή τοπιακών στοιχείων που επηρεάζονται από τις εργασίες,
- η) τον συντονισμό των επεμβάσεων του περιβάλλοντος χώρου με τις λοιπές μελέτες και τα επιμέρους τεχνικά αντικείμενα του έργου.

Οι επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο αποτυπώνονται σε σχέδια εφαρμογής, κατασκευαστικές λεπτομέρειες, τεχνικές προδιαγραφές και λοιπά στοιχεία της μελέτης εφαρμογής, σε βαθμό που να εξασφαλίζεται η πλήρης και ακριβής υλοποίησή τους κατά την εκτέλεση του έργου.

5.6.2 Μελέτη εφαρμογής φέρουσας κατασκευής

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 9 παρ. 3 η μελέτη εφαρμογής φέρουσας κατασκευής (στατική μελέτη) περιέχει:

- α) Τεχνική περιγραφή, η οποία περιλαμβάνει λεπτομερή ανάλυση των εργασιών καθώς και επεξήγηση και συμπλήρωση των σχεδίων της μελέτης, ούτως ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος και η απρόσκοπτη εκτέλεση του έργου. Στην τεχνική περιγραφή πρέπει να υπάρχει υπομνηματισμός των εργασιών σε αντιστοιχία με τα κατασκευαστικά σχέδια όλων των προβλεπόμενων επεμβάσεων, τεχνικές προδιαγραφές και πρότυπα των υλικών και μέθοδοι εφαρμογής τους, απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου υλικών στο έργο και εργαστηριακά, περιγραφή μέτρων ασφαλείας που πρέπει να ληφθούν κατά την διάρκεια

του έργου, των τυχόν προεργασιών που πρέπει να γίνουν, των μέτρων επιθεώρησης και συντήρησης μετά το πέρας του έργου καθώς και περιοδικών ελέγχων.

β) Κατασκευαστικά Σχέδια

5.6.3 Μελέτη εφαρμογής ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 9 παρ. 4 η μελέτη εφαρμογής ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων περιέχει:

α) Τεχνική περιγραφή που περιλαμβάνει:

- Την ανάλυση του συστήματος κάθε εγκατάστασης, τον τρόπον λειτουργίας αυτής καθώς και τα μηχανήματα και τις συσκευές τα οποία την συγκροτούν. Επίσης αυτή συμπληρώνει τα σχέδια και περιλαμβάνει κάθε λεπτομέρεια η οποία δεν εμφανίζεται σε αυτά και τις ειδικές εργασίες οι οποίες πιθανώς θα πρέπει να εκτελεσθούν σε τμήμα του δικτύου ή σε όλο το δίκτυο.
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κεντρικών συσκευών και μηχανημάτων.

β) Σχέδια ως ακολούθως:

- Σχέδια διατάξεων κάθε εγκατάστασης που απεικονίζει την ακριβή πορεία, το υλικό και τις διαστάσεις των δικτύων, τις θέσεις, το μέγεθος και το είδος των τοποθετούμενων μηχανημάτων και συσκευών και κάθε λεπτομέρεια απαραίτητη για την εκτέλεση του έργου.
- Διαγράμματα δικτύων, αυτοματισμών, συνδεσμολογιών κ.λπ. σε όσες εγκαταστάσεις αυτά απαιτούνται.
- Σχέδια λεπτομερειών, όπου απαιτούνται, σε ανάλογη κλίμακα, εξαρτημάτων, συσκευών, μηχανημάτων, στα οποία να απεικονίζονται οι διαστάσεις, η κατασκευή και η εγκατάσταση αυτών.
- Σχέδια συντονισμού των εγκαταστάσεων με έμφαση στις ανόψεις των χώρων και στις συγκεντρωτικές κατακόρυφες διελεύσεις των δικτύων (shafts), σε αλληλεπίδραση με την αρχιτεκτονική και Η/Μ μελέτη.

γ) Προδιαγραφές: Γίνεται εκτενής αναφορά στα ειδικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων, των συσκευών και των υλικών των δικτύων και των εξαρτημάτων κάθε εγκατάστασης. Οι προδιαγραφές τονίζουν ιδιαίτερα τα τεχνικά στοιχεία των συσκευών των μηχανημάτων.

Η ΗΜ Μελέτη Εφαρμογής αποτελεί το άμεσο εργαλείο ελέγχου, επίβλεψης και ποιότητας κατά την εκτέλεση .

5.6.4 Μελέτη εφαρμογής υλικών

Η μελέτη εφαρμογής υλικών περιλαμβάνει τις τεχνικές προδιαγραφές των υλικών, των προϊόντων, των συστημάτων και των μεθόδων εφαρμογής που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Οι τεχνικές προδιαγραφές αποσκοπούν στη διασφάλιση της ποιότητας, της συμβατότητας, της ανθεκτικότητας και της καταλληλότητας των προτεινόμενων λύσεων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του μνημείου και τις απαιτήσεις του έργου.

Οι τεχνικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν, κατά περίπτωση:

- τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν,
- τις απαιτήσεις συμβατότητας των νέων υλικών με τα ιστορικά υλικά και τις υφιστάμενες κατασκευές,
- τις απαιτήσεις προετοιμασίας των επιφανειών και των υποστρωμάτων εφαρμογής,
- τις μεθόδους κατασκευής, εφαρμογής, τοποθέτησης ή στερέωσης των επιμέρους στοιχείων,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, δοκιμών και παραλαβής των υλικών και των εργασιών,
- τις απαιτήσεις προστασίας των υφιστάμενων ιστορικών στοιχείων κατά την εκτέλεση των εργασιών,
- τις απαιτήσεις συντήρησης, επιθεώρησης ή παρακολούθησης των επεμβάσεων μετά την ολοκλήρωση του έργου,
- τις απαιτήσεις που απορρέουν από ισχύοντα πρότυπα, τεχνικούς κανονισμούς, προδιαγραφές ή ειδικές οδηγίες που σχετίζονται με το αντικείμενο της επέμβασης.

Οι τεχνικές προδιαγραφές συντάσσονται κατά τρόπο που να εξασφαλίζει την ορθή εφαρμογή των προβλεπόμενων επεμβάσεων και τη διατήρηση της ποιότητας, της αυθεντικότητας και των χαρακτηριστικών στοιχείων του μνημείου.

5.6.4.1. Λίθοι αποκατάστασης

Η μελέτη εφαρμογής των λίθων αποκατάστασης εξειδικεύει τις απαιτήσεις της οριστικής μελέτης και καθορίζει τη μεθοδολογία αντικατάστασης, συμπλήρωσης ή ανατοποθέτησης των λίθινων στοιχείων στο συγκεκριμένο μνημείο, με στόχο τη διασφάλιση της συμβατότητας των νέων λίθων με την ιστορική κατασκευή, της λειτουργικής και δομικής συνεργασίας των επιμέρους στοιχείων και της διατήρησης της αυθεντικότητας του μνημείου..

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει:

- τη χαρτογράφηση και τεκμηρίωση των λίθων που πρόκειται να αντικατασταθούν, να συμπληρωθούν ή να επανατοποθετηθούν,
- την τεκμηρίωση της αναγκαιότητας της επέμβασης και των κριτηρίων επιλογής της, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διαγνωστικής και της οριστικής μελέτης,
- τον χαρακτηρισμό του νέου λίθου ως προς την ορυκτολογική σύσταση, τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, καθώς και κάθε άλλη παράμετρο που τεκμηριώνει τη συμβατότητά του με το ιστορικό δομικό υλικό,
- την τεκμηρίωση της συμβατότητας του νέου λίθου με τα ιστορικά υλικά, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη μακροχρόνια συμπεριφορά της κατασκευής,
- τον προσανατολισμό τοποθέτησης (bedding) και τη διάταξη των νέων λίθων σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του φυσικού πετρώματος,
- τη γεωμετρία, τις ανοχές των λαξεύσεων και των επιφανειών συναρμογής, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αρχιτεκτονικής και της δομοστατικής μελέτης,
- τον σχεδιασμό των αγκυρώσεων και των υλικών συγκόλλησης, όπου απαιτούνται, καθώς και των σχετικών λεπτομερειών εφαρμογής,
- τα μέτρα προστασίας των γειτονικών ιστορικών λίθων και των λοιπών στοιχείων του μνημείου κατά την εκτέλεση των εργασιών,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου και τεκμηρίωσης της επέμβασης,

-
- τις απαιτήσεις για πιλοτικές εφαρμογές ή δοκιμαστικές τοποθετήσεις, όπου απαιτούνται για την επιβεβαίωση της μεθοδολογίας εφαρμογής.

5.6.4.2. Κονιάματα αποκατάστασης

Η μελέτη εφαρμογής των κονιαμάτων αποκατάστασης εξειδικεύει τις απαιτήσεις της οριστικής μελέτης και καθορίζει τη μεθοδολογία παρασκευής και εφαρμογής των κονιαμάτων στο συγκεκριμένο μνημείο, με στόχο τη διασφάλιση της συμβατότητας των νέων υλικών με το ιστορικό υπόστρωμα, της ανθεκτικότητας της επέμβασης και της ποιότητας της κατασκευής.

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- τις περιοχές εφαρμογής και τον τύπο της επέμβασης για κάθε κατηγορία κονιάματος,
- την τεκμηρίωση της επιλεγμένης σύνθεσης, των πρώτων υλών και των αναλογιών ανάμιξης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οριστικής μελέτης,
- τον τρόπο παρασκευής του κονιάματος, τον χρόνο εργασιμότητας και τις απαιτήσεις μεταφοράς και προσωρινής αποθήκευσής του στο εργοτάξιο,
- τις απαιτήσεις προετοιμασίας του υποστρώματος, συμπεριλαμβανομένου του καθαρισμού, της διαβροχής και κάθε άλλης απαραίτητης προεργασίας,
- το πάχος εφαρμογής ανά στρώση, τον μέγιστο αριθμό στρώσεων και τους απαιτούμενους χρόνους μεταξύ των διαδοχικών εφαρμογών,
- τις αποδεκτές περιβαλλοντικές συνθήκες εφαρμογής και τα μέτρα προστασίας του κονιάματος κατά την πήξη και την ωρίμανσή του,
- τις απαιτήσεις συντήρησης του κονιάματος έως την ολοκλήρωση της ωρίμανσης και την ανάπτυξη των επιθυμητών ιδιοτήτων,
- τις απαιτήσεις για πιλοτικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται για την επιβεβαίωση της μεθοδολογίας εφαρμογής και της αισθητικής συμβατότητας,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, τα κριτήρια αποδοχής και την τεκμηρίωση της ορθής εφαρμογής της επέμβασης.

5.6.4.3 Μελέτη εφαρμογής ενεμάτων

Η μελέτη εφαρμογής των ενεμάτων εξειδικεύει τις απαιτήσεις της οριστικής μελέτης και καθορίζει τη μεθοδολογία εφαρμογής των ενεμάτων στο συγκεκριμένο μνημείο, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της διαγνωστικής διερεύνησης, τη γεωμετρία της κατασκευής, τη μορφολογία των ασυνεχειών και την κατάσταση διατήρησης της τοιχοποιίας, με στόχο την αποτελεσματική πλήρωση των κενών και τη διασφάλιση της συμβατότητας της επέμβασης.

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- τις περιοχές εφαρμογής και τη χαρτογράφηση των ρωγμών, των κενών και των αποκολλήσεων που πρόκειται να ενεματωθούν,
- την τεκμηρίωση της επιλεγμένης σύνθεσης του ενέματος, των πρώτων υλών και των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών και των δοκιμαστικών αναμιγμάτων,
- τη διάταξη, τον αριθμό, τη διάμετρο και τις αποστάσεις των σημείων εισαγωγής του ενέματος, καθώς και τη σειρά και τη φορά ενεμάτωσης,

- τον εξοπλισμό εφαρμογής, τις μέγιστες επιτρεπόμενες πιέσεις έγχυσης, τα κριτήρια διακοπής της διαδικασίας και τις απαιτήσεις ασφαλούς εφαρμογής,
- τις απαιτήσεις προετοιμασίας της τοιχοποιίας, συμπεριλαμβανομένου του καθαρισμού, της διαβροχής, της προσωρινής σφράγισης των ρωγμών και κάθε άλλης απαραίτητης προεργασίας,
- τα μέτρα προστασίας των γειτονικών ιστορικών υλικών και ευπαθών επιφανειών κατά την εφαρμογή,
- τις απαιτήσεις για πιλοτικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται για την επιβεβαίωση της ενεσιμότητας, της μεθοδολογίας εφαρμογής και της αποτελεσματικότητας της επέμβασης,
- τις απαιτήσεις παρακολούθησης κατά την εφαρμογή, συμπεριλαμβανομένης της καταγραφής της πίεσης έγχυσης, της κατανάλωσης του ενέματος, του χρόνου εφαρμογής και τυχόν αποκλίσεων από τη μελέτη,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, τεκμηρίωσης και τελικής επαλήθευσης της αποτελεσματικότητας της επέμβασης με κατάλληλες μη καταστροφικές μεθόδους.

5.6.4.4 Υλικά συγκόλλησης λίθων και αγκύρωσης μεταλλικών συνδέσμων

Η μελέτη εφαρμογής των υλικών συγκόλλησης λίθων και αγκύρωσης μεταλλικών συνδέσμων εξειδικεύει τις απαιτήσεις της οριστικής μελέτης και καθορίζει τη μεθοδολογία εφαρμογής των συγκολλητικών υλικών και των μεταλλικών συνδέσεων στο συγκεκριμένο μνημείο, με στόχο τη διασφάλιση της συμβατότητας των υλικών, της ασφαλούς συνεργασίας των συνδεόμενων στοιχείων και της μακροχρόνιας συμπεριφοράς της επέμβασης.

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- την τεκμηρίωση της επιλογής των υλικών συγκόλλησης και των μεταλλικών συνδέσμων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οριστικής μελέτης,
- την περιγραφή και τεκμηρίωση των επιφανειών συγκόλλησης, των θέσεων αγκύρωσης και της γεωμετρίας των οπών, όπου απαιτούνται,
- τις απαιτήσεις προετοιμασίας των επιφανειών συγκόλλησης και των οπών αγκύρωσης, συμπεριλαμβανομένου του καθαρισμού, της απομάκρυνσης σαθρών υλικών, της υγρασίας του υποστρώματος και κάθε άλλης απαραίτητης προεργασίας,
- τις απαιτήσεις παρασκευής, ανάμιξης και εφαρμογής των συγκολλητικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων του χρόνου εργασιμότητας και των συνθηκών εφαρμογής,
- τις απαιτήσεις τοποθέτησης των μεταλλικών συνδέσμων, συμπεριλαμβανομένης της θέσης και της διεύθυνσης των μεταλλικών συνδέσμων και της πλήρους πλήρωσης των οπών αγκύρωσης από το συγκολλητικό υλικό,
- τις απαιτήσεις προσωρινής στήριξης και προστασίας των συγκολλούμενων στοιχείων μέχρι την ολοκλήρωση της πήξης και της ωρίμανσης των συγκολλητικών υλικών,
- τα μέτρα προστασίας των γειτονικών ιστορικών υλικών από υπερχειλίση συγκολλητικού, επιφανειακές αλλοιώσεις ή άλλες ανεπιθύμητες επιπτώσεις κατά την εφαρμογή,
- τις απαιτήσεις για πιλοτικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται για την επιβεβαίωση της μεθοδολογίας εφαρμογής και της αποτελεσματικότητας της επέμβασης,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, τα κριτήρια αποδοχής και την τεκμηρίωση της επέμβασης.

5.6.4.5 Επεμβάσεις στερέωσης

Η μελέτη εφαρμογής της στερέωσης εξειδικεύει τις απαιτήσεις της οριστικής μελέτης και καθορίζει τη μεθοδολογία εφαρμογής των στερεωτικών υλικών στο συγκεκριμένο μνημείο, με στόχο τη βελτίωση της συνοχής και της μηχανικής συμπεριφοράς των αποσασθρωμένων ιστορικών υλικών, διατηρώντας παράλληλα τη συμβατότητα και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- τη χαρτογράφηση και τεκμηρίωση των περιοχών που απαιτούν στερέωση,
- την τεκμηρίωση της επιλογής του στερεωτικού υλικού, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οριστικής μελέτης και τα χαρακτηριστικά του ιστορικού υποστρώματος,
- τις απαιτήσεις προετοιμασίας της επιφάνειας πριν από την εφαρμογή, συμπεριλαμβανομένου του καθαρισμού, της απομάκρυνσης σαθρών υλικών και της κατάστασης υγρασίας του υποστρώματος,
- τη μέθοδο εφαρμογής, τον αριθμό των εφαρμογών, την απαιτούμενη ποσότητα του στερεωτικού υλικού και τον χρόνο μεταξύ διαδοχικών εφαρμογών,
- τις αποδεκτές περιβαλλοντικές συνθήκες εφαρμογής και τις απαιτήσεις προστασίας της επέμβασης μέχρι την ολοκλήρωση της δράσης του στερεωτικού,
- τις απαιτήσεις για πιλοτικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας, του βάθους διείσδυσης και της συμβατότητας της επέμβασης,
- τις απαιτήσεις ελέγχου του βάθους διείσδυσης, της ομοιομορφίας της εφαρμογής και της μεταβολής των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του ιστορικού υλικού,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, τα κριτήρια αποδοχής και την τεκμηρίωση της επέμβασης.

5.6.4.6 Επεμβάσεις καθαρισμού

Η μελέτη εφαρμογής των επεμβάσεων καθαρισμού εξειδικεύει τις απαιτήσεις της οριστικής μελέτης και καθορίζει τη μεθοδολογία εφαρμογής των επιλεγμένων μεθόδων καθαρισμού στο συγκεκριμένο μνημείο, με στόχο την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων επικαθίσεων και προϊόντων φθοράς, διατηρώντας ταυτόχρονα τα χαρακτηριστικά του ιστορικού υποστρώματος.

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- τη χαρτογράφηση και τεκμηρίωση των τύπων, της έκτασης και του βαθμού πρόσφυσης των επικαθίσεων και των προϊόντων φθοράς,
- την τεκμηρίωση της επιλογής της μεθόδου καθαρισμού και των παραμέτρων εφαρμογής της, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του ιστορικού υποστρώματος και των προς απομάκρυνση επικαθίσεων,
- τις απαιτήσεις προετοιμασίας των επιφανειών και προστασίας των γειτονικών ιστορικών στοιχείων πριν από την έναρξη των εργασιών,

- τις απαιτήσεις για πιλοτικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας, της συμβατότητας και του αποδεκτού αποτελέσματος του καθαρισμού,
- τις απαιτήσεις ελέγχου και προσαρμογής των παραμέτρων εφαρμογής της επιλεγμένης μεθόδου καθαρισμού, ανάλογα με την μέθοδο (μηχανικός, χημικός, laser, υδατικός ή άλλο),
- τα κριτήρια ολοκλήρωσης του καθαρισμού και αποδοχής του αποτελέσματος, σύμφωνα με τους στόχους της επέμβασης και τη διατήρηση των ιστορικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας,
- τις απαιτήσεις απομάκρυνσης ή εξουδετέρωσης των καταλοίπων της διαδικασίας καθαρισμού, όπου απαιτείται,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, τεκμηρίωσης και αξιολόγησης της επέμβασης.

5.6.4.7 Επεμβάσεις προστασίας

Η μελέτη εφαρμογής των προστατευτικών συστημάτων εξειδικεύει τις απαιτήσεις της οριστικής μελέτης και καθορίζει τη μεθοδολογία εφαρμογής των προστατευτικών υλικών στο συγκεκριμένο μνημείο, με στόχο τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των ιστορικών υλικών έναντι των παραγόντων φθοράς, χωρίς να επηρεάζονται δυσμενώς η συμβατότητα και η συμπεριφορά τους.

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- την τεκμηρίωση της αναγκαιότητας εφαρμογής προστατευτικού συστήματος και της επιλογής του, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οριστικής μελέτης,
- τις απαιτήσεις προετοιμασίας του ιστορικού υποστρώματος πριν από την εφαρμογή του προστατευτικού υλικού,
- τις απαιτήσεις εφαρμογής του προστατευτικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων της απαιτούμενης κατανάλωσης, του αριθμού των εφαρμογών, του χρόνου μεταξύ διαδοχικών εφαρμογών και των αποδεκτών περιβαλλοντικών συνθηκών,
- τις απαιτήσεις για πιλοτικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας, της συμβατότητας και της αισθητικής αποδοχής της επέμβασης,
- τις απαιτήσεις προστασίας της επέμβασης μέχρι την πλήρη ανάπτυξη της δράσης του προστατευτικού συστήματος,
- τις απαιτήσεις ελέγχου ότι η εφαρμογή του προστατευτικού συστήματος δεν επηρεάζει δυσμενώς τη διαπερατότητα στους υδρατμούς, την αισθητική του ιστορικού υποστρώματος και τη δυνατότητα μελλοντικών επεμβάσεων,
- τις απαιτήσεις ελέγχου της αποτελεσματικότητας του προστατευτικού συστήματος και της διατήρησης των χαρακτηριστικών του ιστορικού υποστρώματος,
- τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, τεκμηρίωσης και αξιολόγησης της επέμβασης.

5.6.5 Γεωτεχνική μελέτη εφαρμογής

Το παρόν κείμενο αποτελεί προσαρμογή της ΚΥΑ ΚΥΑ ΔΜΕΟ/δ/ο/1759/12-11-1998 (ΦΕΚ Β'1221/1998), καθώς και ΟΜΟΕ που αφορούν τον γεωτεχνικό σχεδιασμό

5.6.5.1 Αντικείμενο

Αντικείμενο της Γεωτεχνικής Μελέτης Εφαρμογής είναι η εξειδίκευση και τεκμηρίωση των γεωτεχνικών επεμβάσεων που απαιτούνται για την προστασία, αποκατάσταση, στερέωση και μακροχρόνια διατήρηση του μνημείου ή του αρχαιολογικού χώρου, με βάση τα συμπεράσματα της οριστικής γεωλογικής και γεωτεχνικής μελέτης.

Η μελέτη εφαρμογής περιλαμβάνει τις τελικές παραμέτρους σχεδιασμού, τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, τις τεχνικές προδιαγραφές, τα μέτρα παρακολούθησης και τις διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου των επεμβάσεων.

5.6.5.2 Περιεχόμενο

1. Επικαιροποίηση γεωτεχνικού προσομοιώματος

- Επιβεβαίωση του γεωλογικού και γεωτεχνικού μοντέλου.
- Επικαιροποίηση των παραμέτρων σχεδιασμού.
- Ενσωμάτωση τυχόν συμπληρωματικών ερευνών.
- Τελική αξιολόγηση γεωκινδύνων.

2. Τελικές γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού

Για κάθε εδαφική ή βραχώδη ενότητα καθορίζονται:

- χαρακτηριστικές και τιμές σχεδιασμού,
- παράμετροι αντοχής,
- παράμετροι παραμορφωσιμότητας,
- παράμετροι περατότητας,
- υδρογεωλογικές παράμετροι.

3. Μελέτη επεμβάσεων θεμελίωσης

Όπου απαιτείται εξετάζονται:

- ενίσχυση θεμελιώσεων,
- βελτίωση φέρουσας ικανότητας εδάφους,
- αντιμετώπιση διαφορικών καθιζήσεων.

Για κάθε επέμβαση τεκμηριώνεται η συμβατότητα με το μνημείο και η ελαχιστοποίηση των επεμβάσεων στον ιστορικό ιστό.

4. Μελέτη βελτίωσης εδάφους και βραχομάζας

Όπου απαιτείται εξετάζονται:

- τσιμεντενέσεις,
- ενέσεις στερέωσης,
- ενέσεις πλήρωσης κενών,
- βελτίωση μηχανικών χαρακτηριστικών γεωϋλικών,

- περιορισμός καθιζήσεων,
- περιορισμός διηθήσεων και υπόγειας ροής.

5. Σταθεροποίηση πρηνών και βραχωδών σχηματισμών

Η μελέτη περιλαμβάνει όπου απαιτείται:

- αγκυρώσεις,
- βλήτρα βράχου,
- συστήματα συγκράτησης βραχοπτώσεων,
- τοπικές υποστηρίξεις,
- μέτρα απομάκρυνσης επισφαλών τεμαχίων,
- έργα προστασίας από καταπτώσεις.

Για κάθε λύση τεκμηριώνεται η συμβατότητα με τον χαρακτήρα του μνημείου.

6. Αποστραγγιστικά έργα και διαχείριση υδάτων

Περιλαμβάνονται:

- αποστραγγιστικές τάφροι,
- στραγγιστήρια,
- αποστραγγιστικές γεωτρήσεις,
- έλεγχος επιφανειακών απορροών,
- έλεγχος υπόγειων υδάτων.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην προστασία της θεμελίωσης από μεταβολές της υδρογεωλογικής κατάστασης.

Ανάλογα με τις ανάγκες του γεωτεχνικού σχεδιασμού μπορεί να απαιτηθεί η τοποθέτηση:

- πιεζομέτρων,
- κλισιόμετρων,
- τοπογραφικών μαρτύρων

Η Γεωτεχνική Μελέτη Εφαρμογής (όπως και η οριστική μελέτη) συνοδεύεται κατ' ελάχιστον από:

- α) Τοπογραφικό διάγραμμα με την οριζοντιογραφία του μνημείου και των γεωτεχνικών ερευνών.
- β) Γεωλογικό ή/και τεχνικογεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης.
- γ) Γεωλογικές τομές.
- δ) Γεωτεχνικές τομές και διατομές στις θέσεις των ερευνών (συνήθως κλίμακα 1:500).
- ε) Σχέδια αποτύπωσης γεωτεχνικού προσομοιώματος.
- στ) Σχέδια όψεων προτεινόμενων γεωτεχνικών επεμβάσεων (π.χ. Σχέδιο επεμβάσεων σε περίπτωση μέτρων αντιστήριξης βραχωδών πρηνών).
- ζ) Σχέδια εγκατάστασης οργάνων παρακολούθησης όπου απαιτούνται.

Η κλίμακα των σχεδίων επιλέγεται κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η σαφής απεικόνιση των γεωλογικών, γεωτεχνικών και κατασκευαστικών στοιχείων. Οι γεωτεχνικές τομές συντάσσονται σε κατάλληλη κλίμακα και κατά προτίμηση σε κλίμακα 1:100 ή μεγαλύτερη.

5.6.6 Μελέτη εργοταξίου

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 9 παρ. 5α η μελέτη εργοταξίου συντάσσεται είτε από τον συντονιστή, είτε από έναν από τους μελετητές των επιμέρους έργων, είτε από τρίτον εκτός αυτών περιλαμβάνει τεχνική περιγραφή συνοδευόμενη από τυχόν απαραίτητα σχέδια. Αυτή θα αναφέρεται στον απαιτούμενο μηχανικό εξοπλισμό, υποδομές και στο αναγκαίο έμψυχο δυναμικό, στη διάταξη του χώρου εργασίας, στις προσβάσεις εργατοτεχνικού δυναμικού και οχημάτων, στην προστασία του μνημείου και του περιβάλλοντος αρχαιολογικού χώρου και ιστορικού τόπου, στην ασφάλεια εργαζομένων και επισκεπτών και στις απαραίτητες διευθετήσεις γύρω από τον εργοτάξιο για την εύρυθμη λειτουργία του μνημείου και του αρχαιολογικού χώρου και ιστορικού τόπου. Στις περιπτώσεις εκτέλεσης έργων με ανάδοχο είναι δυνατόν η μελέτη οργάνωσης εργοταξίου να ανατίθεται στον ανάδοχο, εφόσον προβλέπεται στην ειδική συγγραφή υποχρεώσεων.

Η μελέτη εργοταξίου λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μνημείου, του περιβάλλοντος αρχαιολογικού χώρου ή ιστορικού τόπου και περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τη χωροθέτηση των προσωρινών εργοταξιακών εγκαταστάσεων, των χώρων αποθήκευσης υλικών, εξοπλισμού και προϊόντων εκσκαφών ή καθαίρεσεων,
- β) τον σχεδιασμό των διαδρομών κίνησης προσωπικού, επισκεπτών, οχημάτων, μηχανημάτων και μεταφοράς υλικών,
- γ) τα μέτρα προστασίας των ιστορικών δομών, των αρχιτεκτονικών επιφανειών, των μορφολογικών, διακοσμητικών και κατασκευαστικών στοιχείων του μνημείου κατά τη διάρκεια των εργασιών,
- δ) τα μέτρα προστασίας γειτονικών μνημείων, αρχαιολογικών καταλοίπων, ιστορικών κατασκευών και στοιχείων του ιστορικού τοπίου που ενδέχεται να επηρεασθούν από την εκτέλεση του έργου,
- ε) τον σχεδιασμό προσωρινών διαδρομών και ρυθμίσεων λειτουργίας σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το μνημείο ή ο αρχαιολογικός χώρος παραμένει εν μέρει ή συνολικά επισκέψιμος κατά την εκτέλεση των εργασιών,
- στ) τα μέτρα ελέγχου σκόνης, θορύβου, δονήσεων, κραδασμών και λοιπών οχλήσεων που δύναται να επηρεάσουν το μνημείο, τα ευπαθή στοιχεία του ή το περιβάλλον του,
- ζ) τα μέτρα προστασίας από πυρκαγιά, πλημμύρα, ακραία καιρικά φαινόμενα και λοιπούς κινδύνους που σχετίζονται με τη λειτουργία του εργοταξίου,
- η) τη χρονική οργάνωση και αλληλουχία ανάπτυξης, λειτουργίας και αποξήλωσης του εργοταξίου,
- θ) τον συντονισμό της μελέτης εργοταξίου με το Σχέδιο Ασφάλειας και Υγείας (ΣΑΥ), το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων και τις λοιπές μελέτες του έργου.

Η μελέτη εργοταξίου αποτυπώνεται με σχέδια, διαγράμματα, τεχνικές περιγραφές και λοιπά στοιχεία τεκμηρίωσης, σε βαθμό που να εξασφαλίζεται η ασφαλής εκτέλεση των εργασιών και η προστασία του μνημείου και του περιβάλλοντός του.

5.6.6.1 Μέτρα Προστασίας του Μνημείου κατά την Εκτέλεση των Εργασιών

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής προσδιορίζει τα μέτρα προστασίας που απαιτούνται για τη διασφάλιση της ακεραιότητας και της διατήρησης του μνημείου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών.

Τα μέτρα προστασίας καθορίζονται σε συνάρτηση με τη φύση των επεμβάσεων, την κατάσταση διατήρησης του μνημείου, τα χαρακτηριστικά των υλικών και κατασκευών του, καθώς και τις απαιτήσεις των επιμέρους μελετών του έργου.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τα μέτρα προστασίας ιστορικών δομικών, μορφολογικών ή διακοσμητικών στοιχείων που διατηρούνται κατά τη διάρκεια των εργασιών,
- β) τα μέτρα προστασίας επιφανειών, διακοσμητικών στοιχείων, εξοπλισμού ή κινητών στοιχείων που ενδέχεται να επηρεαστούν από τις εργασίες,
- γ) τις απαιτούμενες προσωρινές αντιστηρίξεις, καλύψεις, περιφράξεις ή λοιπές προσωρινές κατασκευές προστασίας,
- δ) τα μέτρα προστασίας από μηχανικές καταπονήσεις, δονήσεις, υγρασία, σκόνη, θερμικές επιδράσεις ή άλλους παράγοντες που ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβες στο μνημείο,
- ε) τις απαιτήσεις ασφαλούς πρόσβασης και κυκλοφορίας συνεργείων, επισκεπτών και προσωπικού στους χώρους του έργου,
- στ) τα μέτρα προστασίας κατά τις εργασίες καθαίρεσης, αποξήλωσης, μεταφοράς ή τοποθέτησης στοιχείων,
- ζ) τις διαδικασίες παρακολούθησης και ελέγχου της κατάστασης του μνημείου κατά την εκτέλεση των εργασιών, όπου απαιτείται.

Τα μέτρα προστασίας αποτυπώνονται στα σχέδια εφαρμογής, στις τεχνικές περιγραφές και στις τεχνικές προδιαγραφές του έργου και λαμβάνονται υπόψη κατά τον προγραμματισμό και την εκτέλεση των εργασιών.

5.6.7 Χρονικός προγραμματισμός του υπό μελέτη έργου - Φάσεις Υλοποίησης και Αλληλουχία Εργασιών

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 9 παρ. 5β στον χρονικό προγραμματισμό του υπό μελέτη έργου, περιλαμβάνονται οι προτεραιότητες, η αλληλουχία και ο συνολικός χρόνος για την εκτέλεση των προβλεπόμενων εργασιών.

Η αρχιτεκτονική μελέτη εφαρμογής δύναται να περιλαμβάνει την τεκμηρίωση της προτεινόμενης αλληλουχίας και των φάσεων εκτέλεσης των εργασιών, ιδίως σε έργα που αφορούν μνημεία σύνθετης κατασκευής, εκτεταμένες επεμβάσεις ή έργα που υλοποιούνται τμηματικά.

Η τεκμηρίωση αποσκοπεί στη διασφάλιση της ορθής εκτέλεσης των επεμβάσεων, στην προστασία του μνημείου κατά τη διάρκεια των εργασιών και στον συντονισμό των επιμέρους συνεργείων και μελετητικών αντικειμένων.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) τον προσδιορισμό των βασικών φάσεων εκτέλεσης του έργου,
- β) τη χρονική και κατασκευαστική αλληλουχία των επιμέρους εργασιών,
- γ) τον συντονισμό των αρχιτεκτονικών εργασιών με τις εργασίες συντήρησης, στατικής ενίσχυσης, ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και λοιπών επεμβάσεων,
- δ) τον προσδιορισμό των εργασιών που απαιτείται να προηγηθούν ή να ακολουθήσουν άλλες επεμβάσεις για λόγους ασφάλειας, προστασίας ή τεχνικής συμβατότητας,

-
- ε) τον καθορισμό τυχόν προσωρινών κατασκευών, μέτρων υποστήριξης ή μεταβατικών φάσεων που απαιτούνται για την υλοποίηση του έργου,
 - στ) τον προσδιορισμό των κρίσιμων σταδίων ελέγχου, τεκμηρίωσης ή έγκρισης κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Η τεκμηρίωση των φάσεων υλοποίησης και της αλληλουχίας των εργασιών αποσκοπεί στη διασφάλιση της τεχνικής αρτιότητας του έργου και στη μείωση των κινδύνων που ενδέχεται να προκύψουν κατά την εφαρμογή των επεμβάσεων στο μνημείο.

5.6.8 Διαχείριση Αποκλίσεων και Απρόβλεπτων Ευρημάτων κατά την Εκτέλεση των Εργασιών

Οι προαναφερθείσες μελέτες εφαρμογής λαμβάνουν υπόψη το ενδεχόμενο αποκλίσεων μεταξύ των στοιχείων τεκμηρίωσης και της πραγματικής κατάστασης του μνημείου, καθώς και την πιθανότητα αποκάλυψης άγνωστων κατασκευαστικών, μορφολογικών ή ιστορικών στοιχείων κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Για τον λόγο αυτό προβλέπονται διαδικασίες αξιολόγησης και διαχείρισης απρόβλεπτων ευρημάτων ή καταστάσεων που ενδέχεται να επηρεάσουν τις εγκεκριμένες επεμβάσεις. Η διαχείριση αυτή περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την καταγραφή και τεκμηρίωση αποκλίσεων που διαπιστώνονται κατά την εκτέλεση των εργασιών,
- β) την αναγνώριση και τεκμηρίωση άγνωστων οικοδομικών φάσεων, ιστορικών στοιχείων ή κατασκευών που αποκαλύπτονται κατά την επέμβαση,
- γ) την αξιολόγηση της σημασίας των νέων δεδομένων ως προς τις αξίες και τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μνημείου,
- δ) την αξιολόγηση των επιπτώσεων των νέων δεδομένων στις προβλεπόμενες επεμβάσεις,
- ε) την πρόταση αναγκαίων τροποποιήσεων ή προσαρμογών της μελέτης, όπου απαιτείται,
- στ) τον συντονισμό με τις αρμόδιες υπηρεσίες, τα συλλογικά όργανα και τους λοιπούς μελετητές του έργου, όπου απαιτείται,
- ζ) την επικαιροποίηση των σχεδίων, λεπτομερειών και λοιπών στοιχείων της μελέτης, εφόσον προκύψουν ουσιώδεις μεταβολές.

Η διαχείριση αποκλίσεων και απρόβλεπτων ευρημάτων αποσκοπεί στη διασφάλιση της επιστημονικής τεκμηρίωσης των αποφάσεων που λαμβάνονται κατά την κατασκευή και στην προστασία των αξιών και των χαρακτηριστικών στοιχείων του μνημείου.

5.6.9 Αναλυτική και συνοπτική προμέτρηση

5.6.9.1 Κανονιστικό πλαίσιο

Η προμέτρηση έργων αποκατάστασης μνημείων καθορίζεται από δύο κανονιστικά επίπεδα, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη:

1. Γενικό πλαίσιο δημοσίων έργων:

- Νόμος 4412 (ΦΕΚ Α' 147/08-08-2016) "Δημόσιες Συμβάσεις Έργων, Προμηθειών και Υπηρεσιών (προσαρμογή στις Οδηγίες 2014/24/ΕΕ και 2014/25/ΕΕ)"

-
- Υ.Α. ΔΝΣγ/οικ.35577/ΦΝ.466/2017 (ΦΕΚ Β΄ 1746) «Κανονισμός Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών για δημόσιες συμβάσεις έργων»

2. Ειδικό πλαίσιο προστασίας μνημείων:

- ν. 4858/2021 Κύρωση Κώδικα νομοθεσίας για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Υ.Α. ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929 (ΦΕΚ Β΄ 2837/05.07.2019), η οποία εκδόθηκε κατ' εφαρμογή σχετικών Προεδρικών Διαταγμάτων (ιδίως Π.Δ. 24/2019 και Π.Δ. 696/1974).

Σημειώνεται, όμως, ότι στην Υ.Α. ΔΝΣγ/οικ.35577/ΦΝ.466/2017 δεν προβλέπεται ειδική κατηγορία εργασιών σε μνημεία, ενώ στην Υ.Α. ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929 προβλέπεται αναλυτική και συνοπτική προμέτρηση μόνο στην μελέτη εφαρμογής. Στα προγενέστερα στάδια μελετών προβλέπεται μόνο προσεγγιστικός προϋπολογισμός.

5.6.9.2 Προμέτρηση σε έργα αποκατάστασης μνημείων

Σε σχέση με τα συμβατικά έργα, η προμέτρηση σε έργα αποκατάστασης μνημείων παρουσιάζει μια σειρά από περιορισμούς και ιδιαιτερότητες, που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

1. Απουσία τυποποιημένου τιμολογίου.

Λόγω έλλειψης ειδικής κατηγορίας για έργα αναστήλωσης η προμέτρηση πρέπει να βασιστεί σε πρωτότυπες αναλύσεις τιμών για το σύνολο σχεδόν των ειδικών εργασιών (λιθοξοϊκές, ξυλουργικές, αναστήλωσης, συντήρηση επιχρισμάτων/ζωγραφικού διακόσμου, ενέματα, κ.λπ.). Κάθε τέτοια ανάλυση τιμών πρέπει να περιλαμβάνει πλήρη τεχνική τεκμηρίωση και να υποβάλλεται μαζί με τη μελέτη προς έγκριση στην αρμόδια επιτροπή. Συνιστάται να αναζητούνται εγκεκριμένα πρότυπα τιμολόγια (αν είναι διαθέσιμα) από συναφή έργα του Φορέα Διαχείρισης, ώστε να διασφαλίζεται συνέπεια μεταξύ έργων.

2. Μοναδικότητα και ανομοιογένεια στοιχείων.

Σε αντίθεση με τυπικά έργα, κάθε δομικό ή διακοσμητικό στοιχείο του μνημείου έχει μοναδική γεωμετρία και διαφορετικό βαθμό φθοράς. Η προμέτρηση δεν πρέπει να βασίζεται σε επαναλαμβανόμενα μοτίβα, αναλογίες και χαρακτηριστικά, όπως στην περίπτωση συμβατικών κτιρίων και κατασκευών, αλλά πρέπει να προκύπτει από λεπτομερή γεωμετρική τεκμηρίωση και αναλυτική αποτύπωση της κατάστασης διατήρησης των εξεταζόμενων στοιχείων, με αντιστοίχιση κάθε ποσότητας σε συγκεκριμένα παράγωγα γεωμετρικής τεκμηρίωσης.

3. Διάκριση παλαιού – νέου υλικού.

Η προμέτρηση πρέπει να διαχωρίζει τις ποσότητες αυθεντικού υλικού που συντηρείται ή/και διατηρείται από τις ποσότητες νέου υλικού, σύμφωνα με τις αρχές αναστρεψιμότητας και διακριτότητας των επεμβάσεων.

4. Αβεβαιότητα ποσοτήτων και απρόβλεπτες εργασίες.

Λόγω της πιθανότητας αποκάλυψης νέων ευρημάτων, κρυφών βλαβών ή αστοχιών κατά την εκτέλεση των εργασιών αποκατάστασης και ενίσχυσης, συνιστάται η πρόβλεψη αυξημένου —σε σχέση με τα συνήθη τεχνικά έργα— ποσοστού απροβλέπτων δαπανών, με ρητή τεκμηρίωση της παραδοχής αυτής στην τεχνική έκθεση της μελέτης εφαρμογής.

5. Διεπιστημονική συμβολή στην προμέτρηση.

Η αναλυτική προμέτρηση δεν αποτελεί αποκλειστικό έργο του πολιτικού μηχανικού ή του αρχιτέκτονα. Απαιτείται συνεργασία με όλες τις εμπλεκόμενες ειδικότητες (συντηρητές, αρχαιολόγους, πολιτικούς μηχανικούς, μηχανικούς υλικών, κ.α.) ώστε κάθε κατηγορία εργασιών (λιθοδομές, ξύλινα και μεταλλικά δομικά στοιχεία, ζωγραφικός/γλυπτικός διάκοσμος) να προμετράται με τους όρους και τα κριτήρια της αντίστοιχης ειδικότητας.

6. Ζητήματα αρμοδιότητας και έγκρισης.

Η αναλυτική προμέτρηση δεν οριστικοποιείται αυτοτελώς από τον μελετητή, αλλά υπόκειται σε έγκριση από το Κεντρικό Αρχαιολογικό Συμβούλιο (ΚΑΣ) για αρχαία μνημεία ή το Κεντρικό Συμβούλιο Νεωτέρων Μνημείων (ΚΣΝΜ) ή τα Τοπικά Συμβούλια Μνημείων για νεότερα μνημεία, κατόπιν εισήγησης της αρμόδιας Εφορείας Αρχαιοτήτων ή Υπηρεσίας Νεωτέρων Μνημείων και Τεχνικών Έργων. Ο επιβλέπων μηχανικός πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους χρόνους αυτής της γνωμοδοτικής διαδικασίας κατά τον σχεδιασμό του χρονοδιαγράμματος ωρίμανσης του έργου.

5.6.10 Προϋπολογισμός δαπάνης για το σύνολο του μελετούμενου έργου.

5.6.10.1 Κανονιστικό πλαίσιο

Η κατάρτιση προϋπολογισμού δαπάνης για το σύνολο του μελετούμενου έργου καθορίζεται από το προαναφερθέν κανονιστικό πλαίσιο (βλ. ενότητα 5.6.9.1)

5.6.10.2 Προϋπολογισμός δαπάνης

Σε σχέση με τα συμβατικά έργα, ο προϋπολογισμός δαπάνης για το σύνολο του έργου αποκατάστασης μνημείων παρουσιάζει μια σειρά από περιορισμούς και ιδιαιτερότητες, που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

1. Αυξημένο ποσοστό απροβλέπτων δαπανών.

Σε σχέση με τα συμβατικά κτίρια και υποδομές, τα μνημεία χαρακτηρίζονται από εγγενή ανομοιογένεια όσον αφορά στα υλικά τους, αλλά και από ένα ιστορικό φθορών και βλαβών που δεν είναι εφικτό να τεκμηριωθεί πλήρως λόγω περιορισμών δειγματοληψίας. Ως εκ τούτου, παρά την εκτενή τεκμηρίωση (βλ. ενότητα 5.2), παραμένει η αβεβαιότητα ύπαρξης κρυφών βλαβών, ενώ είναι πιθανό να προκύψουν νέα ευρήματα – όσον αφορά στην κατάσταση διατήρησης υλικών και στοιχείων – κατά την διάρκεια των εργασιών ενίσχυσης και αποκατάστασης (π.χ. κατά την διάρκεια αφαίρεσης επιχρισμάτων, αρμολογημάτων, αποκατάστασης τοιχοποιιών) του μνημείου. Ως εκ τούτου ο προϋπολογισμός έργων αποκατάστασης πρέπει να προβλέπει κατά κανόνα υψηλότερο ποσοστό απροβλέπτων από το σύνηθες σε συμβατικά τεχνικά έργα, εντός πάντως των ορίων του ν. 4412/2016. Το ποσοστό αυτό πρέπει να αιτιολογείται ειδικά, με αναφορά στον βαθμό τεκμηρίωσης της αποτύπωσης και στον χαρακτήρα του μνημείου.

2. Κόστος “πρωτότυπων” εργασιών.

Καθώς σημαντικό μέρος των εργασιών δεν καλύπτεται από τυποποιημένο τιμολόγιο (βλ. ενότητα 5.6.9.2), ο προϋπολογισμός πρέπει να ενσωματώνει το κόστος αυτών των «Νέων Τιμών» με ξεχωριστή οικονομοτεχνική τεκμηρίωση ανά στοιχείο κόστους, ώστε να είναι ελέγξιμο από το αρμόδιο γνωμοδοτικό συμβούλιο κατά την έγκριση της μελέτης εφαρμογής.

3. Ειδικά κονδύλια.

Πέραν των αμιγώς κατασκευαστικών εργασιών, ο προϋπολογισμός οφείλει να προβλέπει ειδικά κονδύλια για εργασίες που δεν εντάσσονται στο σύνηθες αντικείμενο ενός τεχνικού έργου. Αυτά περιλαμβάνουν κόστη για την συντήρηση κινητών ή ακίνητων στοιχείων από εξειδικευμένους συντηρητές αρχαιοτήτων, κόστη αρχαιολογικής επίβλεψης ή/και σωστικής ανασκαφικής έρευνας, ειδικές δομοστατικές μελέτες και έρευνες πεδίου, ειδικές γεωτεχνικές μελέτες αρχαιολογικών χώρων, κ.α..

5.7 Σύστημα ελέγχου ποιότητας των έργων σε ακίνητα μνημεία

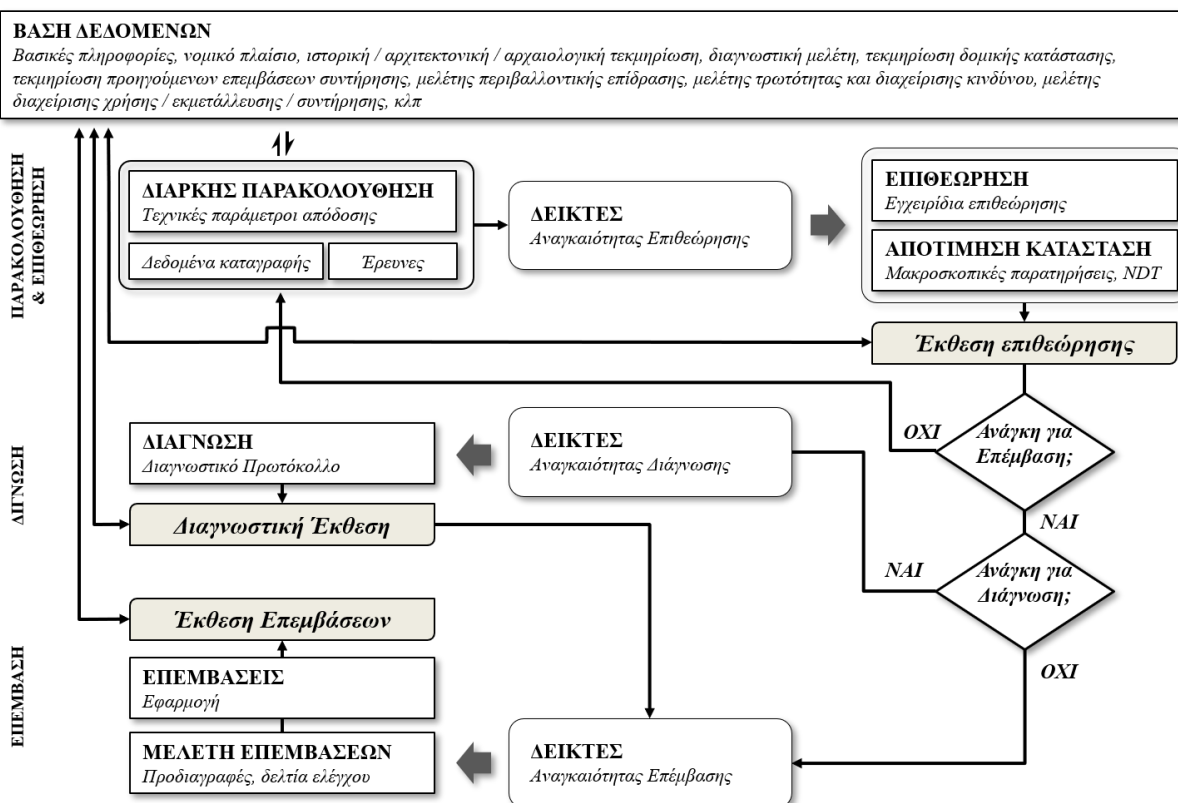
Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 12 παρ 2β προβλέπεται *σύνταξη και εφαρμογή συστήματος ελέγχου ποιότητας του έργου το οποίο περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:*

- αα) Αναλυτικό χρονοδιάγραμμα σχεδιασμού και προγραμματισμού των προς εκτέλεση εργασιών.*
- ββ) Διαδικασίες ελέγχου προόδου εκτέλεσης του χρονοδιαγράμματος και αντιμετώπιση τυχόν απρόβλεπτων δυσχερειών.*
- γγ) Πρόγραμμα ελέγχων τήρησης των εγκεκριμένων Προδιαγραφών ποιότητας υλικών, εξοπλισμού, τρόπου εκτέλεσης των εργασιών και εξειδίκευσης ανθρώπινου δυναμικού, καθώς και όλων των λοιπών όρων της Ειδικής Συγγραφής Υποχρεώσεων, που οφείλουν να πραγματοποιούνται παράλληλα με την πρόοδο του έργου.*
- δδ) Πρόγραμμα ελέγχων αποτίμησης της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων συντήρησης - αποκατάστασης - ενίσχυσης τόσο κατά τη διάρκεια της επέμβασης όσο και μετά το πέρας αυτής ή κατά την παραλαβή.*

Η ενότητα αυτή έχει σκοπό να αποσαφηνίσει την έννοια του ελέγχου ποιότητας ως οριζόντιας, διαρκούς λειτουργίας που διατρέχει το σύνολο του κύκλου ζωής ενός έργου αποκατάστασης — από την πρώτη αναγνώριση της ανάγκης επέμβασης έως και τη μακροχρόνια παρακολούθηση του μνημείου μετά την ολοκλήρωση των εργασιών — και να προτείνει συγκεκριμένα εργαλεία, διαδικασίες και δείκτες για κάθε στάδιο. Ο έλεγχος ποιότητας δεν αποτελεί τελική επιθεώρηση που λαμβάνει χώρα στο τέλος μιας διαδικασίας, αλλά ενσωματωμένο χαρακτηριστικό κάθε σταδίου, με στόχο την έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων, τη διασφάλιση της επιστημονικής εγκυρότητας των αποφάσεων και, εν τέλει, την προστασία της αυθεντικότητας και της ακεραιότητας του μνημείου

5.7.1 Έλεγχος ποιότητας σε όλα τα στάδια του έργου

Οι βασικές αυτές απαιτήσεις αναφέρονται σε αξιοποίηση ενός Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας (Quality Management System) το οποίο πρέπει να καλύπτει όλα τα στάδια του έργου.



Εικόνα 5.7.1-1 Έλεγχος ποιότητας σε όλα τα στάδια του έργου (Kioussi et al., 2013)

5.7.1.1 Διαχείριση ποιότητας στο στάδιο προκαταρκτικής μελέτης σκοπιμότητας

Το πρώτο στάδιο κάθε έργου αποκατάστασης δεν είναι η σύνταξη μελετών, αλλά η τεκμηριωμένη αναγνώριση της ανάγκης επέμβασης. Σε αυτό το στάδιο, ο έλεγχος ποιότητας έχει «προληπτικό» χαρακτήρα. Ο στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι η απόφαση για έναρξη ενός έργου βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια και όχι σε αποσπασματικές ή υποκειμενικές εκτιμήσεις.

Δείκτες αναγκαιότητας επιθεώρησης.

Η απόφαση να διενεργηθεί επιθεώρηση σε ένα μνημείο δεν θα πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά σε καταγραφή αστοχιών, προβλημάτων ή τυχαίες παρατηρήσεις, αλλά σε ένα σύνολο αντικειμενικών δεικτών που να λαμβάνουν υπόψη την κατηγορία και τη χρήση του μνημείου, την παλαιότητα της τελευταίας επιθεώρησης, την έκθεση σε περιβαλλοντικούς κινδύνους (σεισμικότητα, υγρασία, ατμοσφαιρική ρύπανση), καθώς και τυχόν ορατά σημάδια φθοράς που έχουν καταγραφεί από προσωπικό φύλαξης ή επισκέπτες. Η τυποποίηση τέτοιων δεικτών επιτρέπει την ιεράρχηση του συνόλου των μνημείων ευθύνης μιας Εφορείας ή Υπηρεσίας με βάση το επίπεδο επικινδυνότητας, ώστε οι διαθέσιμοι πόροι να κατευθύνονται εκεί όπου η ανάγκη είναι μεγαλύτερη.

Τυποποιημένες διαδικασίες και πρωτόκολλα καταγραφής προβλημάτων.

Κάθε επιθεώρηση θα πρέπει να καταλήγει σε τυποποιημένο έντυπο ή ψηφιακό πρωτόκολλο καταγραφής, ώστε τα ευρήματα να είναι συγκρίσιμα στον χρόνο και μεταξύ διαφορετικών μνημείων. Η απουσία ενιαίου προτύπου καταγραφής δυσχεραίνει τη μετέπειτα αξιολόγηση της εξέλιξης μιας βλάβης και την τεκμηρίωση της ανάγκης επέμβασης στα αρμόδια όργανα και Υπηρεσίες. Το πρωτόκολλο θα πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον περιγραφή της βλάβης,

εκτίμηση της έκτασης και της σοβαρότητάς της, φωτογραφική τεκμηρίωση και πρόταση για το επόμενο βήμα (παρακολούθηση, άμεση επέμβαση ή ένταξη σε πρόγραμμα μελετών).

Κριτήρια λήψης μέτρων προσωρινού χαρακτήρα.

Σε περιπτώσεις όπου η κατάσταση του μνημείου επιβάλλει άμεση δράση πριν την ολοκλήρωση όλου του εύρους μελετών, απαιτείται σαφές πλαίσιο κριτηρίων για τη λήψη μέτρων προσωρινής στερέωσης, συντήρησης, εξασφάλισης ή προστασίας. Τα κριτήρια αυτά θα πρέπει να καθορίζουν το επίπεδο επείγοντος που δικαιολογεί παρέκκλιση από την τυπική διαδικασία, τις αρμοδιότητες έγκρισης τέτοιων μέτρων, και την υποχρέωση τεκμηρίωσής τους ώστε να μην προδικάζουν ή να δυσχεραίνουν τις οριστικές επεμβάσεις που θα ακολουθήσουν. Ο έλεγχος ποιότητας αφορά κυρίως τη διασφάλιση ότι τα προσωρινά μέτρα είναι πράγματι αναστρέψιμα και συμβατά με τις αρχές της δεοντολογίας συντήρησης.

Διαδικασίες κατάρτισης φακέλου του έργου.

Η μετάβαση από την επιθεώρηση στην ένταξη ενός έργου σε πρόγραμμα μελετών προϋποθέτει την κατάρτιση φακέλου που να συγκεντρώνει το σύνολο των διαθέσιμων στοιχείων: ιστορικό μνημείου, προηγούμενες επεμβάσεις, υφιστάμενη τεκμηρίωση, ευρήματα επιθεωρήσεων και προκαταρκτική εκτίμηση κόστους και χρονοδιαγράμματος. Ο έλεγχος πληρότητας του φακέλου σε αυτό το στάδιο αποτρέπει την έναρξη μελετών με ελλιπή στοιχεία, κάτι που συχνά οδηγεί σε καθυστερήσεις και αναθεωρήσεις σε μεταγενέστερα στάδια.

5.7.1.2 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο της τεκμηρίωσης, αξιολόγησης και διαγνωστικής μελέτης

Το στάδιο της τεκμηρίωσης αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία θα στηριχθεί κάθε επόμενη απόφαση επέμβασης. Σφάλματα ή ελλείψεις σε αυτό το στάδιο μεταφέρονται αναπόφευκτα στις μελέτες επεμβάσεων και, τελικά, στο ίδιο το μνημείο.

Δείκτες αναγκαιότητας τεκμηρίωσης, αξιολόγησης και διάγνωσης.

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι δεν απαιτούν όλα τα μνημεία το ίδιο βάθος τεκμηρίωσης. Η ανάπτυξη δεικτών που να συσχετίζουν την πολυπλοκότητα του μνημείου, τον βαθμό βλάβης, την ιστορική και αρχιτεκτονική του σημασία και τον προβλεπόμενο τύπο επέμβασης με το απαιτούμενο επίπεδο τεκμηρίωσης επιτρέπει την αποδοτικότερη κατανομή πόρων, αποφεύγοντας τόσο την υπο-τεκμηρίωση κρίσιμων μνημείων όσο και την υπερβολική ανάλυση σε περιπτώσεις απλούστερων επεμβάσεων.

Διαδικασίες διατύπωσης προγράμματος μελετών τεκμηρίωσης.

Το πρόγραμμα μελετών τεκμηρίωσης θα πρέπει να καθορίζει με σαφήνεια τις απαιτούμενες ειδικότητες (π.χ. αρχιτεκτονική αποτύπωση, ιστορική έρευνα, παθολογία δομικών υλικών, στατική αποτίμηση, κ.ά.), τη μεταξύ τους αλληλουχία και αλληλεξάρτηση, και τα παραδοτέα κάθε επιμέρους μελέτης. Ο έλεγχος ποιότητας σε αυτή τη φάση αφορά την επαλήθευση ότι το πρόγραμμα μελετών είναι πλήρες ως προς το αντικείμενο και ρεαλιστικό ως προς το χρονοδιάγραμμα.

Ολοκληρωμένα πρωτόκολλα και εγχειρίδια τεκμηρίωσης / επιθεώρησης — διαχείριση σε πληροφοριακά συστήματα.

Η τεκμηρίωση ενός μνημείου παράγει μεγάλο όγκο ετερογενών δεδομένων (σχέδια, φωτογραφίες, αναλύσεις υλικών, ιστορικές πηγές), τα οποία, αν δεν οργανωθούν σε ενιαίο

πληροφοριακό σύστημα, καθίστανται δύσκολα προσβάσιμα και αξιοποιήσιμα. Η υιοθέτηση τυποποιημένων πρωτοκόλλων καταγραφής και η ένταξη των δεδομένων σε ψηφιακά αποθετήρια ή βάσεις δεδομένων μνημείων διασφαλίζει τη συνέχεια της γνώσης ανεξάρτητα από αλλαγές στο προσωπικό των υπηρεσιών που χειρίζονται το κάθε έργο.

Πρότυπα τεύχη μελετών τεκμηρίωσης.

Η ύπαρξη τυποποιημένων τευχών — δηλαδή προσχεδίων δομής και περιεχομένου που καθορίζουν τις ελάχιστες ενότητες μιας μελέτης τεκμηρίωσης — διευκολύνει τόσο τον μελετητή, ο οποίος έχει σαφές πλαίσιο αναφοράς, όσο και τον ελεγκτή, ο οποίος μπορεί να αξιολογήσει την πληρότητα της μελέτης με συστηματικό τρόπο. Τα πρότυπα αυτά θα πρέπει να προσαρμόζονται ανά κατηγορία μνημείου (π.χ. αρχαιολογικός χώρος, βυζαντινό μνημείο, νεότερο μνημείο ή κτίριο, βιομηχανική κληρονομιά, κ.α.), χωρίς ωστόσο να καθίστανται τόσο «άκαμπτα» ώστε να δυσχεραίνεται η συμπλήρωση των απαραίτητων στοιχείων που θα περιέχουν ή να εμποδίζουν την επιστημονική κρίση και αξιολόγηση.

Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (KPIs) και τυποποιημένες διαδικασίες ελέγχου μελετών.

Ο έλεγχος μιας μελέτης τεκμηρίωσης θα πρέπει να εξετάζει δύο διακριτές διαστάσεις: αφενός την πληρότητά της — δηλαδή κατά πόσο καλύπτονται όλες οι απαιτούμενες ενότητες — και αφετέρου την ποιότητα του περιεχομένου και την επιστημονική εγκυρότητά του. Ενδεικτικοί KPIs περιλαμβάνουν: ποσοστό τεκμηριωμένων στοιχείων με βιβλιογραφική ή αρχειακή παραπομπή, βαθμό συμφωνίας μεταξύ ανεξάρτητων αξιολογητών, και χρόνο από την υποβολή έως την έγκριση.

5.7.1.3 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο των μελετών επεμβάσεων

Το στάδιο αυτό είναι κρίσιμο από την άποψη του ελέγχου ποιότητας, καθώς εδώ λαμβάνονται οι αποφάσεις που θα καθορίσουν άμεσα τις επεμβάσεις στο μνημείο. Σφάλματα σε αυτό το στάδιο μπορούν να οδηγήσουν σε μη αναστρέψιμη απώλεια αυθεντικού υλικού ή σε επεμβάσεις ασύμβατες με τις αξίες του μνημείου.

Δείκτες αναγκαιότητας επέμβασης.

Η μετάβαση από τη διάγνωση στην απόφαση επέμβασης θα πρέπει να στηρίζεται σε σαφή κριτήρια που να συνδέουν τη φύση και τη σοβαρότητα της βλάβης με τον βαθμό επείγοντος και το είδος της προτεινόμενης επέμβασης (στερέωση, συντήρηση, αποκατάσταση, ενίσχυση). Η τεκμηρίωση αυτής της συσχέτισης στη μελέτη επιτρέπει τον έλεγχο αναλογικότητας της επέμβασης, αποφεύγοντας τόσο την υπο-επέμβαση όσο και την υπερβολική ή μη αναγκαία επέμβαση.

Πρότυπα τεύχη μελετών επεμβάσεων.

Η ύπαρξη τυποποιημένης δομής για τις μελέτες επεμβάσεων — περιγραφή προτεινόμενων εργασιών, αιτιολόγηση επιλογής υλικών και μεθόδων, εναλλακτικές που εξετάστηκαν και απορρίφθηκαν, αναμενόμενα αποτελέσματα — διευκολύνει τόσο τη σύνταξη όσο και τον έλεγχο.

Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (KPIs) και τυποποιημένες διαδικασίες ελέγχου μελετών επεμβάσεων.

Ο έλεγχος μιας μελέτης επέμβασης είναι πολυδιάστατος και θα πρέπει να εξετάζει συστηματικά τα ακόλουθα:

- Πληρότητα της μελέτης ως προς τις απαιτούμενες ενότητες και παραδοτέα.
- Τεχνική αρτιότητα των προτεινόμενων λύσεων (π.χ. δομοστατική επάρκεια, επιδόσεις υλικών).
- Τήρηση της δεοντολογίας επεμβάσεων και διατήρησης των αξιών του μνημείου: ελάχιστη επέμβαση, αναστρεψιμότητα, διακριτότητα νέου/παλαιού υλικού.
- Συμβατότητα υλικών και επεμβάσεων ενίσχυσης, αποκατάστασης και προστασίας με τα διατηρούμενα τμήματα του μνημείου.
- Τεκμηρίωση προδιαγραφών ποιότητας υλικών με αναφορά σε αναγνωρισμένα πρότυπα ή εργαστηριακές δοκιμές.
- Εφικτότητα ως προς διαθεσιμότητα υλικών, εξοπλισμού και εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού.
- Βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα των προτεινόμενων επεμβάσεων στον χρόνο.

Ο έλεγχος των ανωτέρω δεν θα πρέπει να ανατίθεται αποκλειστικά στον μελετητή που συνέταξε τη μελέτη, αλλά να διενεργείται από ανεξάρτητη ομάδα ή συλλογικό όργανο.

Διαχείριση μελετών σε ψηφιακά εργαλεία Heritage Building Information Modelling (HBIM).

Η ένταξη της μελέτης επέμβασης σε περιβάλλον HBIM επιτρέπει τον οπτικοποιημένο και ποσοτικό έλεγχο της συνέπειας μεταξύ τεκμηρίωσης και πρότασης επέμβασης, τη διασταύρωση δεδομένων από διαφορετικές ειδικότητες σε κοινό ψηφιακό μοντέλο, και τη συστηματική καταγραφή των αποφάσεων ώστε να παραμένουν ανιχνεύσιμες (traceable) σε βάθος χρόνου. Η χρήση τέτοιων εργαλείων δεν αποτελεί αυτοσκοπό, αλλά μέσο ενίσχυσης της ποιότητας του ελέγχου, ιδίως σε σύνθετα μνημεία όπου ο συντονισμός μεταξύ ειδικοτήτων είναι κρίσιμος.

5.7.1.4 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο των μελετών εφαρμογής

Οι μελέτες εφαρμογής εκφράζουν τις αρχές και τις κατευθύνσεις των μελετών επέμβασης σε συγκεκριμένο, εκτελέσιμο πρόγραμμα εργασιών. Ο έλεγχος ποιότητας σε αυτό το στάδιο επικεντρώνεται στη διασφάλιση ότι οι μελέτες εφαρμογής είναι αρκούντως λεπτομερείς ώστε να καθοδηγούν την εκτέλεση χωρίς ασάφειες, και ότι παραμένει πιστός στις αρχές που τέθηκαν στις μελέτες επέμβασης.

Κατάρτιση αναλυτικού προγραμματισμού των προς εκτέλεση εργασιών.

Το αναλυτικό χρονοδιάγραμμα, που απαιτείται ρητά από την ΥΑ ΦΕΚ 2837/2019, θα πρέπει να αναλύει το έργο σε επιμέρους φάσεις και δραστηριότητες, να προσδιορίζει αλληλεξαρτήσεις μεταξύ τους, και να προβλέπει ρεαλιστικά περιθώρια για απρόβλεπτες δυσχέρειες, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η πλήρης εικόνα της κατάστασης αποκαλύπτεται μόνο κατά τη διάρκεια των εργασιών.

Προδιαγραφές ποιότητας υλικών, εξοπλισμού και τρόπου εκτέλεσης εργασιών.

Οι μελέτες εφαρμογής θα πρέπει να καθορίζουν με σαφήνεια τις τεχνικές προδιαγραφές κάθε επέμβασης και υλικού, τον απαιτούμενο εξοπλισμό, και τον τρόπο εκτέλεσης κάθε επιμέρους εργασίας, περιλαμβανομένης της αλληλουχίας βημάτων όπου αυτό απαιτείται από τη φύση της επέμβασης.

Πιστοποίηση ανθρώπινου δυναμικού.

Οι εργασίες αποκατάστασης μνημείων απαιτούν συχνά εξειδικευμένες δεξιότητες (λιθοξόους, αγιογράφους, συντηρητές μετάλλων, παραδοσιακή ξυλουργική, κ.ά.) που δεν καλύπτονται πάντα από τυπικά επαγγελματικά προσόντα. Οι μελέτες εφαρμογής θα πρέπει να προσδιορίζουν τα απαιτούμενα προσόντα ή την αποδεδειγμένη εμπειρία του προσωπικού, καθώς και τη διαδικασία επαλήθευσής τους πριν την ανάθεση.

Πρότυπα Τεύχη Ειδικής Συγγραφής Υποχρεώσεων (Ε.Σ.Υ.).

Η Ειδική Συγγραφή Υποχρεώσεων αποτελεί το συμβατικό εργαλείο μέσω του οποίου οι απαιτήσεις ποιότητας καθίστανται νομικά δεσμευτικές για τον ανάδοχο. Πρότυπα τεύχη Ε.Σ.Υ. που καλύπτουν τις ελάχιστες τεχνικές και νομικές απαιτήσεις του Ν. 4412/2016, προσαρμοσμένα στις ιδιαιτερότητες των έργων προστασίας μνημείων, διασφαλίζουν ομοιομορφία στον τρόπο διατύπωσης των απαιτήσεων ποιότητας και διευκολύνουν τον έλεγχο συμμόρφωσης κατά την εκτέλεση.

5.7.1.5 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο εκτέλεσης των εργασιών

Κατά την εκτέλεση, ο έλεγχος ποιότητας μεταβαίνει από τον έλεγχο εγγράφων στον έλεγχο φυσικής υλοποίησης επί του μνημείου, και αποκτά συνεχή, τακτικό χαρακτήρα. Πρόκειται για το στάδιο όπου η μελετημένη ενέργεια μπορεί να αποκλίνει από το πραγματικό αποτέλεσμα, δεν υπάρχει συστηματική παρακολούθηση.

Διαδικασίες ελέγχου προόδου εκτέλεσης του χρονοδιαγράμματος και αντιμετώπιση απρόβλεπτων δυσχερειών.

Η τήρηση του εγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος θα πρέπει να παρακολουθείται σε τακτά διαστήματα, με συγκριτική αποτύπωση προγραμματισμένης έναντι πραγματικής προόδου. Όταν προκύπτουν απρόβλεπτες δυσχέριες, απαιτείται σαφής διαδικασία τεκμηρίωσης του προβλήματος, αξιολόγησης των επιπτώσεων και έγκρισης τυχόν αναγκαίων τροποποιήσεων από τα αρμόδια όργανα.

Πρόγραμμα ελέγχων τήρησης των εγκεκριμένων προδιαγραφών ποιότητας υλικών και εξοπλισμού.

Κάθε παρτίδα υλικού που εισάγεται στο εργοτάξιο θα πρέπει να ελέγχεται ως προς τη συμφωνία της με τις εγκεκριμένες προδιαγραφές, είτε μέσω πιστοποιητικών του προμηθευτή είτε, όπου απαιτείται, μέσω δειγματοληπτικού εργαστηριακού ελέγχου. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για ευαίσθητες εργασίες (π.χ. όργανα καθαρισμού, μέσα στερέωσης) θα πρέπει επίσης να ελέγχεται ως προς την καταλληλότητά του πριν τη χρήση.

Πρόγραμμα ελέγχων τήρησης των εγκεκριμένων προδιαγραφών του τρόπου εκτέλεσης των εργασιών.

Πέρα από τα υλικά, η ίδια η μέθοδος εκτέλεσης μπορεί να επηρεάσει καθοριστικά το αποτέλεσμα. Η επίβλεψη θα πρέπει να περιλαμβάνει συστηματική παρακολούθηση της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας σε σχέση με αυτή που προβλέπεται στη μελέτη εφαρμογής, ιδίως σε εργασίες υψηλού κινδύνου ή χαμηλής αναστρεψιμότητας.

Έλεγχος εξειδίκευσης ανθρώπινου δυναμικού.

Η επαλήθευση των προσόντων του προσωπικού δεν θα πρέπει να περιορίζεται στο στάδιο ανάθεσης, αλλά να επαναλαμβάνεται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης, ιδίως όταν υπάρχει εναλλαγή προσωπικού ή ανάθεση σε υπεργολάβους.

Έλεγχος συμπλήρωσης του ημερολογίου του έργου.

Το ημερολόγιο έργου καταγράφει σε καθημερινή βάση τις εκτελούμενες εργασίες, τις καιρικές συνθήκες, τυχόν προβλήματα και τις αποφάσεις που λαμβάνονται επιτόπου. Η συστηματική και έγκαιρη συμπλήρωσή του αποτελεί προϋπόθεση τόσο για τη διαφάνεια της διαδικασίας όσο και για τη μετέπειτα τεκμηρίωση «ως κατασκευάσθηκαν».

Έλεγχος τεχνικής αρτιότητας και πληρότητας σχεδίων «ως κατασκευάσθηκαν».

Καθώς οι εργασίες σε μνημεία ενίοτε αποκλίνουν σε επιμέρους σημεία από την αρχική μελέτη, είναι απαραίτητη η συστηματική ενημέρωση των σχεδίων ώστε να αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια την τελική κατάσταση. Ο έλεγχος πληρότητας και ακρίβειας αυτών των σχεδίων πριν την παραλαβή αποτρέπει την απώλεια πολύτιμης πληροφορίας για τη μετέπειτα διαχείριση του μνημείου.

Πρότυπο Δελτίο Τεκμηρίωσης Επεμβάσεων.

Η υιοθέτηση ενιαίου, τυποποιημένου δελτίου για την καταγραφή κάθε επιμέρους επέμβασης (θέση, περιγραφή, υλικά και μέθοδος που εφαρμόστηκαν, ημερομηνία, υπεύθυνος εκτέλεσης) δημιουργεί ένα συνεκτικό αρχείο που μπορεί να συσχετιστεί με τα σχέδια «ως κατασκευάσθηκαν» και να τροφοδοτήσει τόσο την αποτίμηση του έργου όσο και τη μελλοντική παρακολούθηση.

Έλεγχος τήρησης λοιπών όρων της Ειδικής Συγγραφής Υποχρεώσεων.

Πέραν των τεχνικών προδιαγραφών, η Ε.Σ.Υ. περιλαμβάνει και όρους διαδικαστικού ή διοικητικού χαρακτήρα (υποχρεώσεις ασφάλειας και υγείας, περιβαλλοντικοί όροι, υποχρεώσεις ενημέρωσης της επίβλεψης), η τήρηση των οποίων θα πρέπει να παρακολουθείται παράλληλα με την τεχνική πρόοδο του έργου.

5.7.1.6 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο αποτίμησης των εργασιών

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, και πριν τη μετάβαση στο στάδιο της παρακολούθησης, απαιτείται συστηματική αποτίμηση τόσο της διαδικασίας όσο και του αποτελέσματος.

KPIs και τυποποιημένες διαδικασίες αποτίμησης της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων.

Η αποτελεσματικότητα μιας επέμβασης δεν αποτιμάται μόνο οπτικά, αλλά θα πρέπει να συνδέεται, όπου αυτό είναι εφικτό, με μετρήσιμα κριτήρια, π.χ. τη σταθεροποίηση ή μη μιας ρηγμάτωσης που παρακολουθείται με μετρητικά όργανα, τη συμπεριφορά νέων υλικών σε σχέση με τις αναμενόμενες ιδιότητές τους, ή τον βαθμό επίτευξης των στόχων που είχαν τεθεί στη μελέτη επέμβασης. Η ανάπτυξη τέτοιων δεικτών, ακόμη και σε απλή μορφή, μετατρέπει την αποτίμηση από υποκειμενική κρίση σε τεκμηριωμένη διαδικασία.

Αποτίμηση του βαθμού εκτέλεσης των προβλεπόμενων μελετών σε σύγκριση με τις τροποποιήσεις τους.

Κάθε έργο αποκατάστασης μνημείου σπανίως υλοποιείται ακριβώς όπως είχε αρχικά μελετηθεί. Η συστηματική σύγκριση μεταξύ αρχικής μελέτης, τυχόν τροποποιήσεων και τελικής υλοποίησης επιτρέπει την κατανόηση του βαθμού στον οποίο ο αρχικός σχεδιασμός ανταποκρίθηκε στις πραγματικές ανάγκες. Η ανάλυση αυτών των αποκλίσεων σε επίπεδο Υπηρεσίας μπορεί να αναδείξει επαναλαμβανόμενα μοτίβα — για παράδειγμα συστηματική

υποεκτίμηση συγκεκριμένων κατηγοριών εργασιών — τα οποία μπορούν να βελτιώσουν τον σχεδιασμό μελλοντικών μελετών.

5.7.1.7 Έλεγχος ποιότητας στο στάδιο παρακολούθησης, συντήρησης και διαχείρισης κινδύνων μετά την ολοκλήρωση των εργασιών

Η ολοκλήρωση των εργασιών δεν σηματοδοτεί το τέλος της ευθύνης για την ποιότητα, αλλά τη μετάβαση σε ένα νέο, μακρόχρονο στάδιο διαχείρισης. Η απουσία συστηματικής παρακολούθησης μετά την παράδοση ενός έργου είναι από τα συχνότερες αδυναμίες στη διαχείριση μνημείων, με αποτέλεσμα προβλήματα που θα μπορούσαν να εντοπιστούν έγκαιρα να εξελίσσονται σε εκτεταμένες βλάβες που απαιτούν νέα, δαπανηρή επέμβαση.

Τυποποίηση κριτηρίων αποδοχής κρίσιμων παραμέτρων παρακολούθησης μνημείων.

Για κάθε μνημείο που έχει υποστεί επέμβαση, θα πρέπει να προσδιορίζονται οι κρίσιμες παράμετροι που χρήζουν παρακολούθησης (π.χ. εύρος ρωγμών, επίπεδα υγρασίας, ρυθμός καθίζησης, κατάσταση επιφανειακών στρωμάτων) και τα αντίστοιχα όρια αποδοχής. Η τυποποίηση αυτών των κριτηρίων ανά κατηγορία μνημείου και τύπο επέμβασης διευκολύνει τη συγκρισιμότητα και την ανάπτυξη εμπειρίας σε επίπεδο Υπηρεσίας.

Καθορισμός ορίων συναγερμού των παρακολουθούμενων παραμέτρων.

Απαιτείται καθορισμός κλιμακωτών ορίων πέραν των οποίων ενεργοποιείται διαδικασία άμεσης ειδοποίησης και αξιολόγησης, ξεχωρίζοντας μεταξύ επιπέδων που απαιτούν ενίσχυση της συχνότητας παρακολούθησης και επιπέδων που επιβάλλουν άμεση επιτόπια αξιολόγηση από ειδικό.

Διαδικασίες και πρωτόκολλα επιθεωρήσεων, παρακολούθησης και τυποποιημένα δελτία καταγραφής.

Η περιοδική επιθεώρηση θα πρέπει να ακολουθεί τυποποιημένο πρωτόκολλο, ανάλογο εκείνου που εφαρμόζεται στο στάδιο της προκαταρκτικής αξιολόγησης, ώστε τα δεδομένα διαδοχικών επιθεωρήσεων να επιτρέπουν την ανίχνευση διαφοροποιήσεων στον χρόνο και όχι μόνο τη στατική περιγραφή μιας δεδομένης χρονικής στιγμής.

Έλεγχος διαδικασιών ανάρτησης δεδομένων στο αποθετήριο πληροφοριών μνημείου.

Τα δεδομένα παρακολούθησης πρέπει να συγκεντρώνονται συστηματικά και να παραμένουν προσβάσιμα. Η τήρηση συγκεκριμένης διαδικασίας και χρονοδιαγράμματος ανάρτησης των ευρημάτων κάθε επιθεώρησης σε ψηφιακό αποθετήριο — ιδανικά συνδεδεμένο με την τεκμηρίωση και τα δεδομένα «ως κατασκευάσθηκαν» — αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη συνέχεια και την αξιοποιησιμότητα της γνώσης.

Σχέδιο παρακολούθησης, συντήρησης και διαχείρισης.

Για κάθε μνημείο που έχει ολοκληρώσει μείζονα επέμβαση, συνιστάται η κατάρτιση συνοπτικού αλλά συγκεκριμένου σχεδίου που να προσδιορίζει τη συχνότητα και το είδος των απαιτούμενων επιθεωρήσεων, τις αρμοδιότητες παρακολούθησης, και τις προβλεπόμενες ενέργειες σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων συναγερμού.

Πρόγραμμα τακτικών και προληπτικών συντηρήσεων μνημείου.

Πέρα από την παρακολούθηση, η μακροχρόνια προστασία ενός μνημείου ή ιστορικής κατασκευής προϋποθέτει πρόγραμμα τακτικής, προληπτικής συντήρησης (π.χ. έλεγχος

στεγανότητας, συντήρηση μεταλλικών στοιχείων, καθαρισμός υδρορροών), ώστε να αποφευχθεί ή επιβραδυνθεί η επανεμφάνιση φθορών και βλαβών που θα μπορούσαν να αποτραπούν με μικρού κόστους παρεμβάσεις.

Πρότυπο αξιολόγησης και διαχείρισης κινδύνων και συμβάντων.

Η παρακολούθηση ενός μνημείου δεν αφορά μόνο την φυσική ή αναμενόμενη φθορά, αλλά και τον κίνδυνο από έκτακτα συμβάντα (σεισμός, πλημμύρα, πυρκαγιά, ανθρωπογενής βλάβη). Η ύπαρξη τυποποιημένου πλαισίου αξιολόγησης κινδύνου, που να προσδιορίζει τις πιθανές απειλές ανά μνημείο και τις αντίστοιχες διαδικασίες άμεσης αντίδρασης, ολοκληρώνει τον κύκλο ελέγχου ποιότητας, συνδέοντάς τον με την ευρύτερη στρατηγική πρόληψης και ετοιμότητας έναντι καταστροφών.

5.7.1.8 Αναγκαιότητα εφαρμογής ολοκληρωμένου ελέγχου ποιότητας σε όλα τα στάδια του έργου

Ο έλεγχος ποιότητας σε έργα αποκατάστασης μνημείων δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μεμονωμένη, τελική επαλήθευση, αλλά ως οριζόντια λειτουργία που συνοδεύει το έργο από την πρώτη ένδειξη ανάγκης επέμβασης έως και τη διαρκή παρακολούθηση του μνημείου. Κάθε στάδιο τροφοδοτεί το επόμενο με δεδομένα, τεκμηρίωση και αποφάσεις των οποίων η ποιότητα καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την επιτυχία των επόμενων σταδίων. Αντίστροφα, η αποτίμηση και η παρακολούθηση μετά την ολοκλήρωση ενός έργου τροφοδοτούν με τη σειρά τους τη βελτίωση των διαδικασιών για μελλοντικά έργα, κλείνοντας έναν κύκλο συνεχούς βελτίωσης.

Η ανάπτυξη ενιαίων εργαλείων — τυποποιημένων δελτίων, πρότυπων τευχών μελετών, ψηφιακών αποθετηρίων, δεικτών απόδοσης — σε επίπεδο Υπουργείου ή Φορέα Διαχείρισης, αντί της αποσπασματικής εφαρμογής τους ανά Εφορεία, Υπηρεσία ή έργο, αποτελεί προϋπόθεση για τη συστηματική και συγκρίσιμη εφαρμογή ελέγχου ποιότητας στο σύνολο της δημόσιας διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η ευθύνη της τήρησης αυτών των διαδικασιών δεν περιορίζεται σε μία ειδικότητα ή ρόλο, αλλά αφορά το σύνολο των εμπλεκόμενων επιστημόνων και μηχανικών σε κάθε στάδιο, καθένας εκ των οποίων καλείται να αντιλαμβάνεται τον έλεγχο ποιότητας όχι ως πρόσθετη διοικητική επιβάρυνση, αλλά ως αναπόσπαστο μέρος της επιστημονικής και επαγγελματικής ευθύνης που συνεπάγεται η επέμβαση σε μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς.

5.7.2 Ειδικά θέματα ελέγχου ποιότητας έργων

5.7.2.1 Εκτέλεση Έργου και Παρακολούθηση Ποιότητας των Η/Μ Εγκαταστάσεων

5.7.2.1.1 Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας (Quality Management System – QMS) έργων αποκατάστασης μνημείων

Όπως προαναφέρθηκε, η ΥΑ ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929 (ΦΕΚ Β΄ 2837/2019) προβλέπει ρητά ότι για έργα μείζονος σημασίας η εκτέλεση των εργασιών συνοδεύεται υποχρεωτικά από ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου και διασφάλισης ποιότητας, το οποίο καλύπτει όλα τα στάδια του έργου, από την προετοιμασία έως την ολοκλήρωση και την τελική τεκμηρίωση.

Το σύστημα αυτό μπορεί να τυποποιηθεί ως εξειδικευμένο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας (QMS) για έργα αποκατάστασης μνημείων, προσαρμοσμένο στις ιδιαιτερότητες της πολιτιστικής κληρονομιάς και στις αρχές δεοντολογίας των επεμβάσεων. Οι Η/Μ εγκαταστάσεις αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του συνολικού προγράμματος ποιότητας του έργου και στο πλαίσιο αυτό περιγράφονται παρακάτω οι ιδιαιτερότητες που πρέπει να προστεθούν – αναλυθούν για τις Η/Μ εργασίες.

5.7.2.1.2 Δομή και αντικείμενο του Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας

Το QMS έργων αποκατάστασης συγκροτείται ως δομημένο σύνολο διαδικασιών, το οποίο περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- σαφή ορισμό ρόλων και αρμοδιοτήτων (Διευθύνουσα Υπηρεσία, επίβλεψη, ανάδοχος, εξειδικευμένο προσωπικό),
- καθορισμό διαδικασιών ελέγχου ποιότητας,
- Καθορισμό των δοκιμών λειτουργίας και στεγανότητας των εγκαταστάσεων
- Καθορισμό των διαδικασιών παραλαβής τμήματος ή / και ολόκληρης της εγκατάστασης σε χρήση ή προσωρινή λειτουργία
- μηχανισμούς τεκμηρίωσης και ιχνηλασιμότητας,
- πρόβλεψη διορθωτικών και προληπτικών ενεργειών.

Η δομή αυτή διασφαλίζει ότι η ποιότητα δεν ελέγχεται αποσπασματικά, αλλά ενσωματώνεται συστηματικά στην παραγωγή του έργου.

5.7.2.1.3 Έλεγχοι υλικών, εγκαταστάσεων και εξειδίκευσης προσωπικού

Το QMS προβλέπει συστηματικούς ελέγχους:

- υλικών επεμβάσεων, ως προς τη συμβατότητα, την ποιότητα και την τεκμηριωμένη προέλευσή τους,
- μεθόδων εφαρμογής, ώστε να συμφωνούν με τις εγκεκριμένες μελέτες και τις τεχνικές προδιαγραφές,
- εξειδίκευσης ανθρώπινου δυναμικού, ιδίως σε επεμβάσεις που απαιτούν ειδικές δεξιότητες.
- Δοκιμές στεγανότητας των εγκαταστάσεων
- Δοκιμές λειτουργίας των εγκαταστάσεων

Οι έλεγχοι αυτοί πραγματοποιούνται παράλληλα με την εξέλιξη του έργου και τεκμηριώνονται συστηματικά, διασφαλίζοντας την επιστημονική και τεχνική αρτιότητα των επεμβάσεων.

5.7.2.1.4 Σχέδια «ως κατασκευάσθηκαν» (As-built) Η/Μ Εγκαταστάσεων

Τα σχέδια «ως κατασκευάσθηκαν» αποτυπώνουν με ακρίβεια:

- την τελική μορφή των εγκαταστάσεων του μνημείου,
- τις πραγματικές θέσεις του εξοπλισμού και τις διαστάσεις των δικτύων,
- τις τελικές λύσεις που εφαρμόστηκαν σε σχέση με τη μελέτη,
- τις οδεύσεις των δικτύων που εν τέλει υλοποιήθηκαν
- τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες που υλοποιήθηκαν.

Τα σχέδια αυτά αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της τελικής τεκμηρίωσης και είναι κρίσιμα για τη συντήρηση, την παρακολούθηση και τον μελλοντικό σχεδιασμό επεμβάσεων.

*5.7.2.1.5. Σχέδιο Παρακολούθησης, Συντήρησης και Διαχείρισης Κινδύνων μετά την ολοκλήρωση
(Post-Project Monitoring & Maintenance Plan)*

Η ολοκλήρωση ενός έργου αποκατάστασης ακίνητου μνημείου δεν εξαντλείται στην παραλαβή και στην τελική τεκμηρίωση, αλλά προϋποθέτει ένα οργανωμένο, επαναλήψιμο και τεκμηριωμένο πλαίσιο για τη διαχρονική διατήρηση των αποτελεσμάτων του έργου. Σε συνάφεια με τη λογική της ΥΑ (ΦΕΚ Β΄ 2837/2019) περί ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης, ελέγχου και αξιολόγησης των επεμβάσεων, καθώς και με τα συναφή Προεδρικά Διατάγματα, καθίσταται αναγκαία η τυποποίηση ενός Σχεδίου Παρακολούθησης, Συντήρησης και Διαχείρισης Κινδύνων, το οποίο εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα, την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των επεμβάσεων στον χρόνο .

5.7.2.1.6 Σχέδιο Προληπτικής Συντήρησης (Preventive Maintenance Plan) H/M Εγκαταστάσεων

Το Σχέδιο Προληπτικής Συντήρησης συνιστά το βασικό εργαλείο διατήρησης της κατάστασης του μνημείου και περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- Κατάλογο εξοπλισμού και δικτύων προς συντήρηση (Ενεργός εξοπλισμός, δίκτυα σωληνώσεων, ηλεκτρολογικά δίκτυα, , εγκαταστάσεις περιβάλλοντος χώρου).
- Περιοδικότητα επιθεωρήσεων (π.χ. τριμηνιαίες/εξαμηνιαίες/ετήσιες), με τεκμηριωμένη επιλογή ανάλογα με την τρωτότητα υλικών, τον χρόνο ζωής του εξοπλισμού και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Πρότυπα πρωτόκολλα εργασιών συντήρησης, με σαφή διάκριση προληπτικών ενεργειών (καθαρισμοί, απομάκρυνση σωματιδίων, έλεγχος λειτουργίας, έλεγχος διαρροών) και διορθωτικών επεμβάσεων μικρής κλίμακας.
- Ορισμό υπευθύνων (φορέας διαχείρισης, υπεύθυνος μνημείου, εξειδικευμένο προσωπικό/συντηρητές) και σαφές πλαίσιο εγκρίσεων για παρεμβάσεις που υπερβαίνουν τη ρουτίνα συντήρησης.
- Σύνδεση με το ψηφιακό αποθετήριο: κάθε ενέργεια συντήρησης καταγράφεται ως νέα εγγραφή στο Ψηφιακό Μητρώο Επεμβάσεων/Φάκελο Μνημείου.

Στόχος είναι η μετάβαση από «αντιδραστική» συντήρηση σε συστηματική προληπτική διαχείριση, που ελαχιστοποιεί την ανάγκη μελλοντικών εκτεταμένων επεμβάσεων .

5.7.2.1.7 Πρόγραμμα Παρακολούθησης (Monitoring) και αξιολόγηση συμπεριφοράς

Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης τυποποιεί τη συλλογή, σύγκριση και αξιολόγηση δεδομένων μετά την ολοκλήρωση του έργου, με στόχο την έγκαιρη διάγνωση αποκλίσεων από την επιθυμητή συμπεριφορά. Περιλαμβάνει:

- Οπτικές επιθεωρήσεις με δομημένα δελτία καταγραφής (αποκολλήσεις, υγρασίες, μεταβολές δικτύων, διάβρωση εγκαταστάσεων).
- Σε περιπτώσεις που από την μελέτη έχει προβλεφθεί Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης (BEMS) των εγκαταστάσεων του μνημείου είναι εφικτή η απομακρυσμένη παρακολούθηση όπου απαιτείται (π.χ. αισθητήρες υγρασίας, θερμοκρασίας, πίεσης,

ηλεκτρικών μεγεθών, πλωτήρες στάθμης υγρών), ιδίως σε εγκαταστάσεις αυξημένου κινδύνου σε μνημεία .

- Καθορισμό ορίων συναγερμού και κριτηρίων αποδοχής (thresholds): π.χ. ανίχνευση πυρκαγιάς, μέγιστη επιτρεπτή υγρασία σε συγκεκριμένες ζώνες, ανοχές παραμορφώσεων των εγκαταστάσεων).
- Διαδικασία αξιολόγησης αποτελεσματικότητας επεμβάσεων: σύγκριση με τα τελικά “as-built” και με τις παραδοχές της μελέτης, τεκμηριωμένη αιτιολόγηση τυχόν διαφορών και πρόταση διορθωτικών μέτρων.

Το Monitoring λειτουργεί ως «επέκταση» του QMS μετά την παραλαβή και ενισχύει τη διαχρονική αποτίμηση ποιότητας των επεμβάσεων .

5.7.2.1.8 Διαχείριση κινδύνων και συμβάντων (Risk & Incident Management)

Καθιερώνεται τυποποιημένη διαδικασία διαχείρισης κινδύνων και συμβάντων, που καλύπτει κατ’ ελάχιστον:

- Χαρτογράφηση κινδύνων (σεισμικός κίνδυνος, πλημμύρα/απορροές, πυρκαγιά, βανδαλισμός/κλοπές, ακραία καιρικά φαινόμενα, αστοχίες υποδομών, επιβάρυνση από χρήση/επισκεψιμότητα).
- Σενάρια απόκρισης (ποιος ειδοποιεί ποιον, σε ποιο χρόνο, με ποια τεκμηρίωση) και σαφή ιεράρχηση αρμοδιοτήτων.
- Πρωτόκολλο πρώτης τεκμηρίωσης συμβάντος: άμεση φωτογραφική τεκμηρίωση, αρχική εκτίμηση, προσωρινά μέτρα προστασίας.
- Διαδικασία αποκατάστασης μετά από συμβάν: αξιολόγηση, έγκριση ενεργειών, τεκμηρίωση εφαρμογής, ενημέρωση ψηφιακού φακέλου.

Η διαχείριση κινδύνων ενισχύει την ανθεκτικότητα του μνημείου και μειώνει τον χρόνο απόκρισης και τις απώλειες, με πλήρη τεκμηρίωση και λογοδοσία .

5.7.2.1.9 Επικαιροποίηση ψηφιακού φακέλου και αποθετηρίου (Living Repository)

Ο Ψηφιακός Φάκελος Μνημείου και το Αποθετήριο Έργου δεν παραμένουν στατικά, αλλά λειτουργούν ως ζωντανό μητρώο. Καθιερώνεται τυποποιημένη διαδικασία επικαιροποίησης που περιλαμβάνει:

- εισαγωγή αποτελεσμάτων επιθεωρήσεων/μετρήσεων (με ημερομηνία, υπεύθυνο, μεθοδολογία),
- καταγραφή μικρο-επεμβάσεων συντήρησης και υλικών που χρησιμοποιήθηκαν,
- ενημέρωση “as-maintained” δεδομένων (όπου απαιτείται),
- διαχείριση εκδόσεων (versioning) και audit trail,
- διαβάθμιση πρόσβασης (δικαιώματα ανά ρόλο), σε συνέπεια με τις απαιτήσεις κυβερνοασφάλειας.

Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η συνέχεια της γνώσης και η δυνατότητα τεκμηριωμένου σχεδιασμού μελλοντικών ενεργειών.

Επιπρόσθετα, η δημιουργία ενός τέτοιου "Living Repository" συνδέεται άμεσα με πολυεπίπεδες αρχιτεκτονικές προστασίες. Είναι απαραίτητο να τονιστεί η κρισιμότητα για προηγμένη ασφάλεια δεδομένων. Επιπρόσθετα, ένα τέτοιο "ζωντανό αποθετήριο" θα μπορούσε, υπό προϋποθέσεις ελεγχόμενης και ανωνυμοποιημένης πρόσβασης, να αποτελέσει ένα πρωτοποριακό εργαλείο ακαδημαϊκής άσκησης και συνεργασίας για τους φοιτητές των Πολυτεχνικών Σχολών.

5.7.2.2 Έλεγχος ποιότητας των υλικών

Ο έλεγχος της ποιότητας όσον αφορά στα υλικά, πραγματοποιείται σε δυο επίπεδα, στο επίπεδο της περιοδικής δειγματοληψίας των υλικών που χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις και στο επίπεδο του μη καταστρεπτικού ελέγχου όπου εκτιμάται η αποτελεσματικότητά των επεμβάσεων.

5.7.2.2.1 Έλεγχος ποιότητας των υλικών συντήρησης κατά τη διάρκεια του έργου (περιοδική δειγματοληψία και μη καταστρεπτικός έλεγχος επί τόπου)

Θα πρέπει να γίνονται δειγματοληπτικοί έλεγχοι των υλικών και να εξετάζονται στο εργαστήριο ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Αυτό είναι σημαντικό, γιατί:

- Όσον αφορά στα φυσικά υλικά (λίθοι, αδρανή, κ.α.). Τα φυσικά υλικά διαφοροποιούνται ανάλογα με το σημείο απόληψης. Συνεπώς δύναται ένας λίθος να διαφοροποιηθεί ακόμα και στο ίδιο λατομείο, ενώ μια άμμος μπορεί να αλλάξει σε ένα πέρας ετών λόγω διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών (χρώμα, κοκκομετρία κ). Σε περίπτωση που μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά και κρίνονται ως μη συμβατά και επιτελεστικά βάσει των κριτηρίων που έχουν τεθεί για την επιλογή τους, θα πρέπει να γίνεται νέα αποστολή από τον προμηθευτή ή εκ νέου επιλογή υλικών.
- Όσον αφορά στα σύνθετα υλικά. Τα χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών (π.χ. κονιάματα, ενέματα) εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ανάμιξη, τις συνθήκες στον χώρο παρασκευής και εφαρμογής τους, καθώς και τις συνθήκες συντήρησής τους. Συνεπώς είναι σημαντικό κατά τη διάρκεια ενός έργου να κατασκευάζονται δοκίμια από τα σύνθετα υλικά που εφαρμόζονται, να συντηρούνται στον χώρο του εργοταξίου με τον ίδιο τρόπο που συντηρούνται και τα υλικά που εφαρμόζονται και εν συνεχεία να εξετάζονται στο εργαστήριο, ώστε να διασφαλίζεται ότι δεν μεταβάλλονται οι επιθυμητές ιδιότητες. Σε περίπτωση που μεταβάλλονται, θα πρέπει να γίνεται αναπροσαρμογή του σχεδιασμού.

Επιπλέον ο μη καταστρεπτικός έλεγχος πρέπει να διεξάγεται εκτός από την έναρξη του έργου, ώστε να υπάρχουν μετρήσεις αναφοράς, και σε κρίσιμα σημεία κατά τη διάρκεια εφαρμογής των επεμβάσεων, ώστε σε περίπτωση που εντοπιστεί θέμα ασυμβατότητας ή κριθούν μη αποτελεσματικά, να είναι δυνατή η δυναμική αναπροσαρμογή της μελέτης εφαρμογής.

Στο πέρας του έργου και πριν παραδοθεί στην Αναθετούσα αρχή, θα πρέπει να αποτιμάται η απόκριση του κτηρίου σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν προκύψει από το σύνολο των ελέγχων που έγιναν στο πέρας του έργου, ώστε η αποτίμηση να αντιστοιχεί στην πραγματική κατάσταση.

5.7.2.2.2 Έλεγχος ποιότητας των επεμβάσεων συντήρησης επί τόπου με το πέρας των επεμβάσεων και σε διάρκεια χρόνου (με καταστρεπτικός έλεγχος επί τόπου και εργαστηριακές αναλύσεις)

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων (μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα) και η διερεύνηση πιθανών καθυστερημένων επιβλαβών επιδράσεων αποτελούν βασικά κριτήρια για την ορθή επιλογή υλικών και μεθόδων. Παρότι ορισμένοι οργανισμοί έχουν προτείνει γενικές κατευθυντήριες γραμμές που τονίζουν τη σημασία της παρακολούθησης, σπάνια παρέχονται λεπτομερή πρωτόκολλα εφαρμογής.

Η βιβλιογραφία αναφέρει απλουστευμένα πρωτόκολλα in situ με χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών, αποφεύγοντας σύνθετες και δαπανηρές τεχνικές, δεδομένου ότι οι μετρήσεις πρέπει να επαναλαμβάνονται διαχρονικά. Οι τεχνικές μη καταστρεπτικού ελέγχου αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο, καθώς επιτρέπουν την αποτίμηση της εφαρμογής των υλικών αποκατάστασης όσον αφορά (i) **τη συμβατότητά τους** σε σχέση με τα ιστορικά δομικά υλικά, αλλά και (ii) **την επιτελεσματικότητά τους** σε σχέση με σκοπό εφαρμογής τους, στην κλίμακα του μνημείου και σε πραγματικό χρόνο.

Ο μη καταστρεπτικός έλεγχος πρέπει να διεξάγεται πριν την έναρξη του έργου, ώστε να υπάρχουν μετρήσεις αναφοράς, καθώς και σε κρίσιμα σημεία του έργου, ώστε σε περίπτωση που εντοπιστεί θέμα ασυμβατότητας ή κριθούν μη αποτελεσματικά, να είναι δυνατή η δυναμική αναπροσαρμογή της μελέτης εφαρμογής. Τέλος, θα πρέπει να εφαρμόζονται μετά το πέρας του έργου, ώστε να έχει διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων πριν παραδοθεί στην Αναθετούσα Αρχή.

Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές που εφαρμόζονται είναι οι ίδιες που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.2.7.2. Η επιλογή των τεχνικών έχει να κάνει με την επέμβαση που πραγματοποιείται και τον σκοπό που έχει εφαρμοστεί το υλικό. Μεταξύ των συχνότερα προτεινόμενων μεθόδων συγκαταλέγονται οι ακόλουθες:

- ψηφιακή μικροσκοπία,
- χρωματομετρία
- υπέρυθη θερμογραφία
- απορρόφηση νερού με σωλήνα Karsten,

Σε γενικές γραμμές προτείνεται η επιβεβαίωση των in situ αποτελεσμάτων με εργαστηριακές τεχνικές, όπως ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) ή δοκιμές τριχοειδούς απορρόφησης. Ωστόσο, η πρακτική δείχνει ότι κατά τη μακροχρόνια παρακολούθηση δόκιμη είναι η εφαρμογή εργαστηριακών αναλύσεων σε δείγματα, συχνά σε συνδυασμό με επιτόπιες μη καταστρεπτικές δοκιμές. Η προτίμηση στις εργαστηριακές μεθόδους οφείλεται κύρια στην πολυπλοκότητα των αναλυτικών ζητημάτων, τα οποία δεν μπορούν πάντοτε να επιλυθούν αποκλειστικά με in situ μη καταστρεπτικές τεχνικές.

Η αντικατάσταση των εργαστηριακών μεθόδων από επιτόπιες δεν είναι απλή διαδικασία. Απαιτείται ο καθορισμός σαφών δεικτών, παραμέτρων και οριακών τιμών, καθώς και η συστηματική συσχέτιση μεταξύ εργαστηριακών και in situ αποτελεσμάτων. Η ανάπτυξη νέων φορητών οργάνων και επιτόπιων τεχνικών αποτελεί πεδίο έρευνας. Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι απλές και οικονομικές μέθοδοι, οι οποίες έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες ευρείας

εφαρμογής στη μακροχρόνια παρακολούθηση. Ωστόσο, η απλότητα δεν πρέπει να συγχέεται με απλοϊκότητα· η σωστή εκπαίδευση των συντηρητών και η ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι εξίσου κρίσιμες με την εφαρμογή σύνθετων τεχνικών.

Συνεπώς, η παρακολούθηση των επεμβάσεων συντήρησης δεν αποτελεί συμπληρωματικό στάδιο, αλλά θεμελιώδες εργαλείο για την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων, την εκτίμηση της επαναληψιμότητας των επεμβάσεων και τη βιώσιμη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

5.8. Τεύχη δημοπράτησης

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 10 τα τεύχη δημοπράτησης συντάσσονται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από την κείμενη νομοθεσία και περιλαμβάνουν:

- α) Τεχνική περιγραφή του προς εκτέλεση έργου
- β) Τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης του έργου
- γ) Αναλυτικό τιμολόγιο (ανάλυση τιμών)
- δ) Τιμολόγιο μελέτης
- ε) Τιμολόγιο προσφοράς
- στ) Τιμολόγιο μελέτης
- ζ) Τιμολόγιο προσφοράς (όταν απαιτείται)
- η) Προϋπολογισμό μελέτης
- θ) Προϋπολογισμό προσφοράς (όταν απαιτείται)
- ι) Συγγραφή υποχρεώσεων, γενική ή και ειδικές
- ια) Διακήρυξη

Αναλόγως προς τον τρόπο εκτέλεσης του έργου επιλέγονται εξ αυτών τα αντικείμενα κατά περίπτωση.

5.9 Εκτέλεση εργασιών

5.9.1 Φορείς και προσωπικό που εκτελούν τις εργασίες

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 12 παρ. 1 η εκτέλεση εργασιών σε μνημεία γίνεται είτε από το εξειδικευμένο επιστημονικό και εργατοτεχνικό προσωπικό των αρμόδιων Υπηρεσιών του ΥΠΠΟΑ είτε από την Υπηρεσία με αυτεπιστασία και απολογιστικά είτε με ανάθεση από την Υπηρεσία σε ιδιώτες εργολήπτες που έχουν τα απαραίτητα προσόντα και εξειδίκευση, σύμφωνα με τον ν. 4412/2016, το άρθρο 81 του ν. 1958/1991 και το π.δ. 24/2019, υπό την εποπτεία της αρμόδιας υπηρεσίας του ΥΠΠΟΑ. Οι εργασίες δύναται να εκτελεστούν από τρίτο φορέα κατόπιν σχετικής απόφασης του Υπουργού Πολιτισμού και Αθλητισμού σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 11 του ν. 4355/2015 (Α' 178). Μέχρι την έκδοση του εκτελεστικού προεδρικού διατάγματος του άρθρου 9 παρ. 5 του ν. 2557/1997 (Α' 271) περί συστάσεως ειδικού Μητρώου Εργοληπτών, οι προϋποθέσεις ειδικής εμπειρίας των εργοληπτών και οι τρόποι επιλογής τους ορίζονται στη διακήρυξη σύμφωνα με όσα προβλέπονται στο π.δ. 24/2019.

5.9.2. Εργασίες «μείζονος σημασίας»

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 12 παρ. 2 προκειμένου περί εργασιών «μείζονος σημασίας»:

Τόσο στην περίπτωση αναλήψεως των εργασιών από εργολήπτη όσο και στην περίπτωση εκτελέσεώς τους δι' αυτεπιστασίας, η Διευθύνουσα Υπηρεσία:

- α) Ορίζει ομάδα επίβλεψης των εργασιών που περιλαμβάνει όλες τις αναγκαίες ειδικότητες ανάλογα με την φύση του εκτελούμενου έργου και τον επικεφαλής της που είναι ο συντονιστής. Οι επί μέρους αρμοδιότητες και υποχρεώσεις των επιβλεπόντων απορρέουν από το γνωστικό αντικείμενο καθενός αλλά η επιστημονική και τεχνική ευθύνη για την άρτια υλοποίηση του έργου είναι κοινή. Επίσης, ορίζει ή εγκρίνει τον τεχνικό ασφάλειας και υγείας σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.
- β) Φροντίζει για τη σύνταξη και εφαρμογή συστήματος ελέγχου ποιότητας του έργου το οποίο περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:
 - αα) Αναλυτικό χρονοδιάγραμμα σχεδιασμού και προγραμματισμού των προς εκτέλεση εργασιών.
 - ββ) Διαδικασίες ελέγχου προόδου εκτέλεσης του χρονοδιαγράμματος και αντιμετώπιση τυχόν απρόβλεπτων δυσχερειών.
 - γγ) Πρόγραμμα ελέγχων τήρησης των εγκεκριμένων Προδιαγραφών ποιότητας υλικών, εξοπλισμού, τρόπου εκτέλεσης των εργασιών και εξειδίκευσης ανθρώπινου δυναμικού, καθώς και όλων των λοιπών όρων της Ειδικής Συγγραφής Υποχρεώσεων, που οφείλουν να πραγματοποιούνται παράλληλα με την πρόοδο του έργου.
 - δδ) Πρόγραμμα ελέγχων αποτίμησης της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων συντήρησης - αποκατάστασης - ενίσχυσης τόσο κατά τη διάρκεια της επέμβασης όσο και μετά το πέρας αυτής ή κατά την παραλαβή.
- γ) Φροντίζει για τη στελέχωση του συνεργείου (ή των συνεργείων) με το απαραίτητο εξειδικευμένο προσωπικό ανταποκρινόμενο στις ιδιομορφίες του έργου, με τις κατάλληλες δεξιότητες και εμπειρία και για την έγκαιρη εξασφάλιση των κατάλληλων υλικών και εξοπλισμού.
- δ) Φροντίζει για την πιστή εκτέλεση της εγκεκριμένης μελέτης επεμβάσεων, για την τεχνικώς άρτια και ασφαλή εκτέλεση των επί μέρους εργασιών και τον ποιοτικό έλεγχο υλικών, εξοπλισμού και τρόπου εκτέλεσης των εργασιών, όπως αυτά αναγράφονται στα εγκεκριμένα σχέδια, τεχνικές περιγραφές και Τεχνικές Προδιαγραφές της Μελέτης, που έχουν συνταχθεί σε εφαρμογή του άρθρου 3 της παρούσας, με τήρηση ή μερική προσαρμογή των ευρύτερων κανονιστικών διατάξεων όπως είναι οι εκάστοτε ισχύουσες Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές Κτιριακών έργων και λοιποί κανονισμοί και Ευρωκώδικες.
- ε) Αναφέρει εγγράφως και εγκαίρως στην Προϊσταμένη Αρχή:
 - αα) Την ενδεχόμενη ύπαρξη στη μελέτη κενών ή ασαφειών.
 - ββ) Τη διαπίστωση τυχόν προβλημάτων που προέκυψαν κατά την εκτέλεση του έργου, τα οποία δεν ήταν δυνατόν να γνώριζε ο μελετητής ή οφείλονται σε ανωτέρα βία, και τις κατά περίπτωση προτάσεις για την επίλυσή τους όπως τροποποίηση, ή εκπόνηση συμπληρωματικής μελέτης, ή ανάγκη πρόσληψης εξειδικευμένου προσωπικού.

Σε περιπτώσεις εμφάνισης προβλημάτων που απαιτούν σημαντική τροποποίηση της μελέτης η Διευθύνουσα υπηρεσία φροντίζει για την έγκαιρη ενημέρωση των μελετητών και την διαβίβαση των απόψεών τους στην προϊσταμένη αρχή μαζί με την τελική

πρότασή της για την αντιμετώπισή τους. Στις εν λόγω περιπτώσεις οι μελετητές οφείλουν να προσαρμόσουν τη μελέτη σε συνεργασία με τη Διευθύνουσα Υπηρεσία.

γγ) Την πιθανή ανάγκη εκτέλεσης αρχαιολογικών ανασκαφών από την αρμόδια Εφορεία Αρχαιοτήτων.

στ) Παρακολουθεί την πορεία εκτέλεσης του χρονοδιαγράμματος και του προϋπολογισμού του έργου και εγκαίρως ειδοποιεί εγγράφως την Προϊσταμένη Αρχή για τυχόν καθυστέρηση της εκτέλεσης των επιμέρους εργασιών ή μεταβολή του κόστους τους και τους λόγους στους οποίους οφείλεται αυτή.

ζ) Φροντίζει για την απαραίτητη και ακριβή συμπλήρωση του ημερολόγιου του έργου από τον υπεύθυνο σύμφωνα με τον νόμο, που υπογράφεται από τον ορισθέντα επιβλέποντα του έργου, και στο οποίο καταγράφονται:

αα) Οι εκτελούμενες εργασίες, το εργατικό προσωπικό, τυχόν καθυστερήσεις.

ββ) Προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκτέλεση του έργου και η επίλυσή του.

γγ) Εντολές της επίβλεψης για αντιμετώπιση επειγόντων θεμάτων.

η) Φροντίζει για τη φωτογραφική ή και βιντεοσκοπική, όπου απαιτείται, καθώς και για και τη σχεδιαστική τεκμηρίωση χαρακτηριστικών φάσεων των εργασιών κατά το διάστημα της εκτέλεσης του έργου και την εκπόνηση των σχεδίων των επεμβάσεων «όπως κατασκευάσθηκαν» από τους επιβλέποντες ή/και τον ανάδοχο του έργου.

Τα σχέδια «ως κατασκευάσθηκαν» αποτυπώνουν με ακρίβεια:

- την τελική μορφή των εγκαταστάσεων του μνημείου,
- τις πραγματικές θέσεις του εξοπλισμού και τις διαστάσεις των δικτύων,
- τις τελικές λύσεις που εφαρμόστηκαν σε σχέση με τη μελέτη,
- τις οδεύσεις των δικτύων που εν τέλει υλοποιήθηκαν
- τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες που υλοποιήθηκαν.

Τα σχέδια αυτά αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της τελικής τεκμηρίωσης και είναι κρίσιμα για τη συντήρηση, την παρακολούθηση και τον μελλοντικό σχεδιασμό επεμβάσεων

θ) Φροντίζει για τη σύνταξη «Δελτίου Τεκμηρίωσης Επεμβάσεων» ή «Προγράμματος Ποιότητας», με την ολοκλήρωση του έργου, που συντάσσεται και συνυπογράφεται από τα μέλη της ομάδας επίβλεψης με ευθύνη του συντονιστή στο οποίο καταγράφονται όλα τα γενικά και ειδικά στοιχεία και συντελεστές του έργου, όπως οι Μελετητές, οι Επιβλέποντες, οι ανάδοχοι, η αναλυτική περιγραφή των επεμβάσεων και οι τυχόν τροποποιήσεις, προσαρμογές ή συμπληρώσεις της μελέτης, τα χαρακτηριστικά και η προέλευση των πρώτων υλών (κονίες αδρανή, λίθοι, πλίνθοι, ξυλεία, χάλυβες, κ.λπ.), οι συνθέσεις και τα χαρακτηριστικά των κονιαμάτων, των ενεμάτων, των επιχρισμάτων, και κάθε είδους διερευνήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του έργου. Καταγράφονται επίσης όλοι οι έλεγχοι ποιότητας υλικών, εξοπλισμού και εργασιών και οι έλεγχοι αποτίμησης της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν πριν, κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων και μετά από αυτές, και τα στοιχεία της έκθεσης αξιολόγησής τους. Επίσης, περιλαμβάνονται όλα τα σχέδια «ως κατασκευάσθη» και τα ημερολόγια του έργου.

Τα στοιχεία του «Δελτίου Τεκμηρίωσης Επεμβάσεων» είναι απαραίτητα και αποτελούν προϋπόθεση για την οριστική παραλαβή του έργου, και την τήρηση του Φακέλου Ασφάλειας και Υγιεινής (ΦΑΥ) του έργου. Επίσης είναι απαραίτητα για τη σύνταξη πορισμάτων επιθεώρησης της κατάστασης του μνημείου από την αρμόδια υπηρεσία όπως ορίζεται στις διατάξεις του άρθρου 4 του ν. 3028/2002.

-
- ι) Μεριμνά για τη σύνταξη ετήσιων εκθέσεων εργασιών από τους διενεργούντες τις εργασίες, στις οποίες εντάσσονται και οι εκθέσεις των ειδικών συνεργατών το αργότερο ως τον Απρίλιο του επόμενου έτους, και για τη σύνταξη της τελικής έκθεσης εργασιών η οποία κατατίθεται στην Υπηρεσία ή δημοσιεύεται εντός ενός έτους από την αποπεράτωση του έργου, όπως ορίζεται στις διατάξεις του άρθρου 44 του ν. 3028/2002.

Η τελική έκθεση περιλαμβάνει τις επιμέρους εκθέσεις και συμπεράσματα όλων των διενεργούντων τις εργασίες ανάλογα με τις ειδικότητές τους και κατοχυρώνει το δικαίωμά τους προς δημοσίευση.

5.9.3 Εργασίες «ελάσσονος σημασίας»

Σύμφωνα με την ΥΑ ΦΕΚ2837/2019 άρθρο 12 παρ. 3, προκειμένου περί εργασιών «ελάσσονος σημασίας», για την εκτέλεση των εργασιών τα στοιχεία που κατ' ελάχιστον πρέπει να περιλαμβάνονται στο Δελτίο Τεκμηρίωσης επεμβάσεων ορίζονται από την αρμόδια Υπηρεσία.

5.9.4 Παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων

Η παρακολούθηση στον χρόνο (monitoring) της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων και της μακροχρόνιας συμπεριφοράς των επεμβάσεων που υλοποιήθηκαν είναι σημαντική δραστηριότητα. Μετά την εφαρμογή επεμβάσεων συντήρησης, είναι απαραίτητο να εξετάζεται συστηματικά η εξέλιξη των επιπτώσεων σε βάθος χρόνου, ώστε να διαπιστώνεται τόσο η διατήρηση των επιθυμητών ιδιοτήτων των υλικών και επεμβάσεων όσο και η πιθανή εμφάνιση φθορών. Επιπλέον, κατά την παρακολούθηση εντοπίζεται η ανάγκη για επανάληψη κάποιων επεμβάσεων ή για περαιτέρω παρεμβάσεις.

Ωστόσο, η παρακολούθηση (monitoring) παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Συχνά, μετά την ολοκλήρωση ενός έργου συντήρησης, η πρόσβαση στις συντηρημένες επιφάνειες καθίσταται περιορισμένη, ιδιαίτερα όταν έχουν απομακρυνθεί ικριώματα ή όταν απαιτείται η απομόνωση του χώρου από το κοινό. Επιπλέον, συνήθως οι επεμβάσεις συντήρησης ακολουθούν μια αλληλουχία όπως πχ μετά τις επεμβάσεις καθαρισμού ακολουθούν επεμβάσεις στερέωσης ή προστασίας. Κατά συνέπεια, η παρακολούθηση αφορά ένα νέο, σύνθετο «σύστημα» συντήρησης και όχι μεμονωμένα τον καθαρισμό.

Σε γενικές γραμμές η παρακολούθηση είναι κρίσιμη για:

- Τον έλεγχο μακροχρόνιας αποτελεσματικότητας
- Την εκτίμηση γήρανσης προϊόντος
- Την απόφαση επανάληψης επέμβασης

Παρόλη την αναγκαιότητα της μακροχρόνια παρακολούθησης, σε γενικές γραμμές παραμένει περιορισμένη για τους εξής λόγους:

- Πρόσβαση (ικριώματα): Συχνά μετά το πέρας των εργασιών τα ικριώματα απομακρύνονται, ενέργεια που όμως έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην διενέργεια των απαραίτητων περιοδικών ή έκτακτων ελέγχων και παρακολούθησης.
- Κόστος, το οποίο πρέπει να προβλέπει τακτικές δαπάνες που θα εντάσσονται στον τακτικό προϋπολογισμό
- Έλλειψη χρηματοδότησης

- Ανάγκη εξειδικευμένων αναλύσεων
- Την αξιολόγηση της διατήρησης της αρχιτεκτονικής αυθεντικότητας, της αναγνωσιμότητας των ιστορικών φάσεων και της συμβατότητας των επεμβάσεων με τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τις αξίες του μνημείου.
- Την αξιολόγηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του μνημείου και της συμβατότητας των χρήσεων που φιλοξενεί μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων.

5.10 Αποτίμηση

5.10.1 Αποτίμηση αρχιτεκτονικών επεμβάσεων

Η αποτίμηση των αρχιτεκτονικών επεμβάσεων αποσκοπεί στην αξιολόγηση του βαθμού επίτευξης των στόχων προστασίας, διατήρησης, αποκατάστασης, ανάδειξης και λειτουργικής αναβάθμισης του μνημείου που είχαν τεθεί κατά τα προηγούμενα στάδια της μελέτης.

Η αποτίμηση πραγματοποιείται σε συνάρτηση με τα συμπεράσματα της Τυπολογικής, Μορφολογικής και Λειτουργικής Ανάλυσης του Μνημείου (παρ. 5.2.4.1), της Αξιολόγησης των Αξιών και των Χαρακτηριστικών Στοιχείων του Μνημείου (παρ. 5.2.4.2), του Καθορισμού Αρχών και Στόχων Επέμβασης (παρ. 5.4.3.2), της Διαμόρφωσης και Τεκμηρίωσης της Αρχιτεκτονικής Πρότασης (παρ. 5.4.3.1), καθώς και των εγκεκριμένων λύσεων της Οριστικής Αρχιτεκτονικής Μελέτης (παρ. 5.5.1) και της Αρχιτεκτονικής Μελέτης Εφαρμογής (παρ. 5.6.1).

Η αποτίμηση βασίζεται στη σύγκριση της κατάστασης του μνημείου πριν και μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα εγκεκριμένα μελετητικά δεδομένα, την τελική κατασκευή και τη λειτουργία του έργου.

Η αποτίμηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

- α) την αξιολόγηση της εφαρμογής των εγκεκριμένων αρχιτεκτονικών επεμβάσεων,
- β) την αξιολόγηση του βαθμού διατήρησης, προστασίας και ανάδειξης των χαρακτηριστικών στοιχείων και των αξιών που είχαν αναγνωρισθεί κατά τις παρ. 5.2.4.1 και 5.2.4.2,
- γ) την αξιολόγηση της διατήρησης της αυθεντικότητας, της ακεραιότητας και της αναγνωσιμότητας του μνημείου,
- δ) την αξιολόγηση της ενσωμάτωσης νέων κατασκευών, προσθηκών ή συμπληρώσεων σε σχέση με τις αρχές που είχαν καθορισθεί κατά την παρ. 5.4.3.4 και τις εγκεκριμένες λύσεις της παρ. 5.5.1,
- ε) την αξιολόγηση της λειτουργικής οργάνωσης και της καταλληλότητας των χώρων σε σχέση με τη χρήση για την οποία προορίζονται,
- στ) την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων προσβασιμότητας, ασφάλειας και εξυπηρέτησης των χρηστών,
- ζ) την αξιολόγηση των επεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο σε σχέση με τα συμπεράσματα της Ανάλυσης του Άμεσου Περιβάλλοντος Χώρου και του Ιστορικού Τοπίου (παρ. 5.2.4.3),
- η) την αξιολόγηση της συμβατότητας των υλικών, των τεχνικών και των κατασκευαστικών λύσεων που εφαρμόστηκαν,
- θ) την καταγραφή τυχόν αποκλίσεων μεταξύ μελέτης και κατασκευής και την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στα χαρακτηριστικά στοιχεία και στις αξίες του μνημείου,

-
- ι) την αξιολόγηση του βαθμού επίτευξης των στόχων επέμβασης που είχαν τεθεί κατά τις παρ. 5.4.3.2 και 5.5.1, καθώς και την καταγραφή συμπερασμάτων και προτάσεων για τη μελλοντική παρακολούθηση, συντήρηση και διαχείριση του μνημείου.

Τα αποτελέσματα της αποτίμησης τεκμηριώνονται σε ειδική έκθεση και δύνανται να συνοδεύονται από φωτογραφική τεκμηρίωση, σχέδια, πίνακες, δεδομένα παρακολούθησης, ψηφιακά μοντέλα HBIM ή Ψηφιακά Δίδυμα, καθώς και κάθε άλλο στοιχείο που συμβάλλει στην αξιολόγηση των επεμβάσεων και στη διαχρονική παρακολούθηση της κατάστασης διατήρησης και λειτουργίας του μνημείου.

5.10.2 Αποτίμηση γεωμετρίας αποκατεστημένου μνημείου

Η αξιοποίηση των 3D μοντέλων στην παρακολούθηση έργων αποκατάστασης είναι κρίσιμη:

- Σύγκριση “ως έχει” – “ως κατασκευάστηκε” μέσω νέων σαρώσεων.
- Ανίχνευση αποκλίσεων και παραμορφώσεων (deformation analysis).
- Παρακολούθηση παθολογίας στο χρόνο (crack monitoring, erosion).
- Ψηφιακά ημερολόγια έργου συνδεδεμένα με το 3D μοντέλο.

Η αξιοποίηση των τρισδιάστατων (3D) μοντέλων στην παρακολούθηση έργων αποκατάστασης παίζει καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της ποιότητας και της ακρίβειας των επεμβάσεων. Μέσω επαναλαμβανόμενων σαρώσεων είναι δυνατή η σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης ενός μνημείου ή κατασκευής με την τελική κατάσταση μετά την ολοκλήρωση των εργασιών («ως έχει» – «ως κατασκευάστηκε»), επιτρέποντας την ακριβή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του έργου.

Παράλληλα, με τα 3D μοντέλα πραγματοποιείται η ανίχνευση αποκλίσεων και παραμορφώσεων μέσω εξειδικευμένων αναλύσεων (deformation analysis), συμβάλλοντας στον έγκαιρο εντοπισμό πιθανών προβλημάτων. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα συστηματικής παρακολούθησης της παθολογίας των κατασκευών στον χρόνο, όπως η εξέλιξη ρωγμών, φθορών ή φαινομένων διάβρωσης και αποσάθρωσης. Τέλος, η σύνδεση των 3D μοντέλων με ψηφιακά ημερολόγια έργου επιτρέπει την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση της προόδου των εργασιών, δημιουργώντας ένα δυναμικό και διαδραστικό περιβάλλον διαχείρισης και παρακολούθησης των επεμβάσεων αποκατάστασης.

Η έκθεση αποτίμησης της γεωμετρίας του αποκατεστημένου μνημείου θα καθορίσει

1. τις διαδικασίες τεκμηρίωσης επεμβάσεων
2. τη συχνότητα επαναληπτικών μετρήσεων
3. τα κατώφλια αποδεκτών αποκλίσεων

5.10.3 Αποτίμηση της συμβατότητας της επέμβασης μετά την ολοκλήρωση του έργου

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών αποκατάστασης πραγματοποιείται η συνολική αποτίμηση της συμβατότητας της επέμβασης, με σκοπό την τεκμηρίωση της επίτευξης των στόχων της μελέτης και την επαλήθευση ότι τα εφαρμοσθέντα υλικά και οι τεχνικές επέμβασης συνεργάζονται με την ιστορική κατασκευή, χωρίς να προκαλούν νέους μηχανισμούς φθοράς ή ασυμβατότητες.

Η αποτίμηση βασίζεται στη σύγκριση των αρχικών δεδομένων της διαγνωστικής μελέτης, των απαιτήσεων της οριστικής μελέτης, των αποτελεσμάτων των ελέγχων εφαρμογής και της τελικής κατάστασης του μνημείου.

Η αποτίμηση περιλαμβάνει, κατά περίπτωση:

α) Αποτίμηση χημικής συμβατότητας

Επαλήθευση ότι τα εφαρμοσθέντα υλικά δεν προκάλεσαν ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις, δημιουργία νέων προϊόντων φθοράς, μεταφορά ή συσσώρευση διαλυτών αλάτων, μεταβολή της χημικής ισορροπίας του ιστορικού υλικού ή επιτάχυνση της διάβρωσης μεταλλικών στοιχείων.

β) Αποτίμηση υγρομετρικής συμβατότητας

Έλεγχος της συμπεριφοράς των νέων υλικών ως προς τη διακίνηση της υγρασίας, τη διαπερατότητα στους υδρατμούς, την τριχοειδή αναρρίχηση, τη θερμοϋγρομετρική συμπεριφορά και τη συμβατότητά τους με το ιστορικό υπόστρωμα.

γ) Αποτίμηση μηχανικής συμβατότητας

Αξιολόγηση της συνεργασίας των νέων και των ιστορικών υλικών ως προς την παραμόρφωση, τη μεταφορά τάσεων, τη συνάφεια, τη συνοχή και τη δομική συμπεριφορά της κατασκευής.

δ) Αποτίμηση μορφολογικής και αισθητικής συμβατότητας

Αξιολόγηση της συμβατότητας των νέων επεμβάσεων ως προς τη μορφή, την υφή, το χρώμα, την επιφανειακή συμπεριφορά και τη συνολική αναγνωσιμότητα του μνημείου, σύμφωνα με τις αρχές της ελάχιστης επέμβασης και της διακριτότητας.

ε) Αποτίμηση λειτουργικής αποτελεσματικότητας

Επιβεβαίωση ότι η επέμβαση πέτυχε τους επιδιωκόμενους στόχους, όπως η στερέωση, η αποκατάσταση της συνοχής, η βελτίωση της δομικής συμπεριφοράς, ο περιορισμός της διείσδυσης νερού ή άλλες απαιτήσεις που είχαν τεθεί από τη μελέτη.

5.10.3.1 Μέθοδοι αποτίμησης

Η αποτίμηση πραγματοποιείται, κατά περίπτωση, με συνδυασμό:

- οπτικού ελέγχου,
- συγκριτικής φωτογραφικής τεκμηρίωσης,
- μη καταστροφικών ελέγχων,
- εργαστηριακών αναλύσεων δειγμάτων όπου επιτρέπεται,
- μετρήσεων φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων,
- περιβαλλοντικών μετρήσεων,
- συγκριτικής αξιολόγησης πριν και μετά την επέμβαση.

Τα αποτελέσματα τεκμηριώνονται σε συγκριτικούς πίνακες και χαρτογραφήσεις, με αναφορά στις αποκλίσεις από τις προβλέψεις της μελέτης και στις τυχόν διορθωτικές ενέργειες που απαιτούνται.

5.10.3.2 Παραδοτέα

Η αποτίμηση της συμβατότητας συνοδεύεται από:

- επικαιροποιημένη χαρτογράφηση της κατάστασης διατήρησης,
- τεκμηρίωση των τελικών υλικών που εφαρμόστηκαν,
- αποτελέσματα ποιοτικών και ποσοτικών ελέγχων,
- συγκριτική αξιολόγηση πριν και μετά την επέμβαση,
- τεκμηρίωση αποκλίσεων,
- συμπεράσματα σχετικά με τη συμβατότητα και τη μακροχρόνια συμπεριφορά της επέμβασης,
- προτάσεις για πρόγραμμα παρακολούθησης (monitoring), όπου απαιτείται.

5.11 Σχέδιο Παρακολούθησης, Συντήρησης και Διαχείρισης Κινδύνων μετά την ολοκλήρωση

(Post-Project Monitoring & Maintenance Plan)

Η ολοκλήρωση ενός έργου αποκατάστασης ακίνητου μνημείου δεν εξαντλείται στην παραλαβή και στην τελική τεκμηρίωση, αλλά προϋποθέτει ένα οργανωμένο, επαναλήψιμο και τεκμηριωμένο πλαίσιο για τη διαχρονική διατήρηση των αποτελεσμάτων του έργου. Σε συνάφεια με τη λογική της ΥΑ (ΦΕΚ Β΄ 2837/2019) περί ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης, ελέγχου και αξιολόγησης των επεμβάσεων, καθώς και με τα συναφή Προεδρικά Διατάγματα, καθίσταται αναγκαία η τυποποίηση ενός Σχεδίου Παρακολούθησης, Συντήρησης και Διαχείρισης Κινδύνων, το οποίο εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα, την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των επεμβάσεων στον χρόνο .

5.11.1 Σχέδιο Προληπτικής Συντήρησης (Preventive Maintenance Plan) Η/Μ Εγκαταστάσεων

Το Σχέδιο Προληπτικής Συντήρησης συνιστά το βασικό εργαλείο διατήρησης της κατάστασης του μνημείου και περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον:

- Κατάλογο εξοπλισμού και δικτύων προς συντήρηση (Ενεργός εξοπλισμός, δίκτυα σωληνώσεων, ηλεκτρολογικά δίκτυα, , εγκαταστάσεις περιβάλλοντος χώρου).
- Περιοδικότητα επιθεωρήσεων (π.χ. τριμηνιαίες/εξαμηνιαίες/ετήσιες), με τεκμηριωμένη επιλογή ανάλογα με την τρωτότητα υλικών, τον χρόνο ζωής του εξοπλισμού και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Πρότυπα πρωτόκολλα εργασιών συντήρησης, με σαφή διάκριση προληπτικών ενεργειών (καθαρισμοί, απομάκρυνση σωματιδίων, έλεγχος λειτουργίας, έλεγχος διαρροών) και διορθωτικών επεμβάσεων μικρής κλίμακας.
- Ορισμό υπευθύνων (φορέας διαχείρισης, υπεύθυνος μνημείου, εξειδικευμένο προσωπικό/συντηρητές) και σαφές πλαίσιο εγκρίσεων για παρεμβάσεις που υπερβαίνουν τη ρουτίνα συντήρησης.
- Σύνδεση με το ψηφιακό αποθετήριο: κάθε ενέργεια συντήρησης καταγράφεται ως νέα εγγραφή στο Ψηφιακό Μητρώο Επεμβάσεων/Φάκελο Μνημείου.

Στόχος είναι η μετάβαση από «αντιδραστική» συντήρηση σε συστηματική προληπτική διαχείριση, που ελαχιστοποιεί την ανάγκη μελλοντικών εκτεταμένων επεμβάσεων .

5.11.2 Πρόγραμμα Παρακολούθησης (Monitoring) και αξιολόγηση συμπεριφοράς

Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης τυποποιεί τη συλλογή, σύγκριση και αξιολόγηση δεδομένων μετά την ολοκλήρωση του έργου, με στόχο την έγκαιρη διάγνωση αποκλίσεων από την επιθυμητή συμπεριφορά.

Περιλαμβάνει:

- Οπτικές επιθεωρήσεις με δομημένα δελτία καταγραφής (αποκολλήσεις, υγρασίες, μεταβολές δικτύων, διάβρωση εγκαταστάσεων).
- Σε περιπτώσεις που από την μελέτη έχει προβλεφθεί Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης (BEMS) των εγκαταστάσεων του μνημείου είναι εφικτή η απομακρυσμένη παρακολούθηση όπου απαιτείται (π.χ. αισθητήρες υγρασίας, θερμοκρασίας, πίεσης, ηλεκτρικών μεγεθών, πλωτήρες στάθμης υγρών), ιδίως σε εγκαταστάσεις αυξημένου κινδύνου σε μνημεία .
- Καθορισμό ορίων συναγερμού και κριτηρίων αποδοχής (thresholds): π.χ. ανίχνευση πυρκαϊάς, μέγιστη επιτρεπτή υγρασία σε συγκεκριμένες ζώνες, ανοχές παραμορφώσεων των εγκαταστάσεων).
- Διαδικασία αξιολόγησης αποτελεσματικότητας επεμβάσεων: σύγκριση με τα τελικά “as-built” και με τις παραδοχές της μελέτης, τεκμηριωμένη αιτιολόγηση τυχόν διαφορών και πρόταση διορθωτικών μέτρων.

Το Monitoring λειτουργεί ως «επέκταση» του QMS μετά την παραλαβή και ενισχύει τη διαχρονική αποτίμηση ποιότητας των επεμβάσεων .

5.11.3 Διαχείριση κινδύνων και συμβάντων (Risk & Incident Management)

Καθιερώνεται τυποποιημένη διαδικασία διαχείρισης κινδύνων και συμβάντων, που καλύπτει κατ' ελάχιστον:

- Χαρτογράφηση κινδύνων (σεισμικός κίνδυνος, πλημμύρα/απορροές, πυρκαγιά, βανδαλισμός/κλοπές, ακραία καιρικά φαινόμενα, αστοχίες υποδομών, επιβάρυνση από χρήση/επισκεψιμότητα).
- Σενάρια απόκρισης (ποιος ειδοποιεί ποιον, σε ποιο χρόνο, με ποια τεκμηρίωση) και σαφή ιεράρχηση αρμοδιοτήτων.
- Πρωτόκολλο πρώτης τεκμηρίωσης συμβάντος: άμεση φωτογραφική τεκμηρίωση, αρχική εκτίμηση, προσωρινά μέτρα προστασίας.
- Διαδικασία αποκατάστασης μετά από συμβάν: αξιολόγηση, έγκριση ενεργειών, τεκμηρίωση εφαρμογής, ενημέρωση ψηφιακού φακέλου.

Η διαχείριση κινδύνων ενισχύει την ανθεκτικότητα του μνημείου και μειώνει τον χρόνο απόκρισης και τις απώλειες, με πλήρη τεκμηρίωση και λογοδοσία .

5.11.4 Εφαρμογή του Ευρωπαϊκού προτύπου EN 17652 «Πολιτιστική Κληρονομιά-Αξιολόγηση αρχαιολογικών αποθέσεων για την διατήρηση τους *in situ*» και σχέση του με διαχείριση έργων, αξιολόγησης διακινδυνεύσεων και περιβάλλοντος

Το EN 17652:2022 ανταποκρινόμενο στις νέες θεωρήσεις του ICOMOS, με δύο διακριτά μεταξύ τους μέρη, προτείνει:

Μέρος 1:

περιλαμβάνει τη Διαχείριση και Αξιολόγηση έργων Πολιτιστικής κληρονομιάς που είναι:

1. Συστηματική αξιολόγηση κινδύνων
 - Προσδιορίζει φυσικούς, χημικούς, βιολογικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση διατήρησης ενός χώρου.
2. Τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων
 - Παρέχει πλαίσιο αξιολόγησης για το αν ένας χώρος πρέπει να διατηρηθεί, να παρακολουθείται ή να εφαρμοστούν μέτρα προστασίας.
3. Μείωση κόστους και απωλειών
 - Η έγκαιρη παρακολούθηση επιτρέπει την πρόληψη φθορών αντί της δαπανηρής αποκατάστασης.
4. Τυποποίηση διαδικασιών
 - Χρησιμοποιεί κοινή μεθοδολογία για αρχαιολόγους, αρχιτέκτονες, μελετητές, εργολήπτες και δημόσιες αρχές και για μεγαλύτερη αξιοπιστία πρότυπα δοκιμών, και ακολουθεί διαδικασία που ορίζεται από την διεπιστημονική ομάδα έργου, από την στιγμή που εντοπίζεται μια απειλή (π.χ. τεχνικό έργο, διάβρωση) έως την τελική επιλογή της *in situ* διατήρησης ή της ανασκαφής.

Τα παραπάνω εμφανίζονται στο παρακάτω αναφερόμενο ως **Ενοποιημένο Διάγραμμα Ροής Λήψης Αποφάσεων και υλοποίησης εργασιών**.

Σημείωση: Για μεγάλα έργα υποδομών (οδικά, σιδηροδρομικά, λιμενικά, ενεργειακά), το EN 17652 βοηθά στη διαχείριση: Διαχείριση διακινδυνεύσεων στο έργο, συμμόρφωσης με αρχαιολογικές απαιτήσεις, Τήρησης χρονοδιαγραμμάτων, υποβοήθηση συναίνεσης ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders).

Μέρος 2:

Διαδικασίες (βήματα) Παρακολούθησης της Εφαρμογής των μελετών και της Διαχείρισης Περιβάλλοντος

Το πρότυπο ενσωματώνει σαφώς τον κύκλο Plan – Do – Check – Adjust (PDCA) για τον σχεδιασμό και την παρακολούθηση των ενεργειών.

Στην πράξη:

- Plan (Σχεδιασμός):
 - καθορισμός στόχων,
 - επιλογή παραμέτρων παρακολούθησης,
 - ορισμός ορίων συναγερμού (trigger levels).
- Do (Υλοποίηση):
 - συλλογή δεδομένων και μετρήσεων.

-
- Check (Έλεγχος):
 - αξιολόγηση αποτελεσμάτων και σύγκριση με τους στόχους.
 - Adjust (Βελτίωση): διορθωτικές ενέργειες ή νέα μέτρα προστασίας

2. Διάγραμμα Παρακολούθησης (Environmental Management) και Καταγραφών

Όταν αποφασιστεί η διατήρηση in situ, το EN 17652 επιβάλλει τη δημιουργία ενός δυναμικού συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης. Στόχος είναι η παρακολούθηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη σταθερότητα των αρχαιολογικών αποθέσεων (υγρασία, οξυγόνο, pH, θερμοκρασία, στάθμη υδροφόρου ορίζοντα).

2.1 Κρίσιμα Σημεία Σύνδεσης των Διαγραμμάτων (Interface)

- Προτεραιότητα στις μη καταστροφικές μεθόδους: Το διάγραμμα διαχείρισης έργου επιβάλλει τη χρήση non-invasive τεχνικών στο στάδιο της προκαταρκτικής αξιολόγησης (Desktop & Preliminary), περιορίζοντας τις δειγματοληψίες μόνο όταν τα δεδομένα δεν επαρκούν.

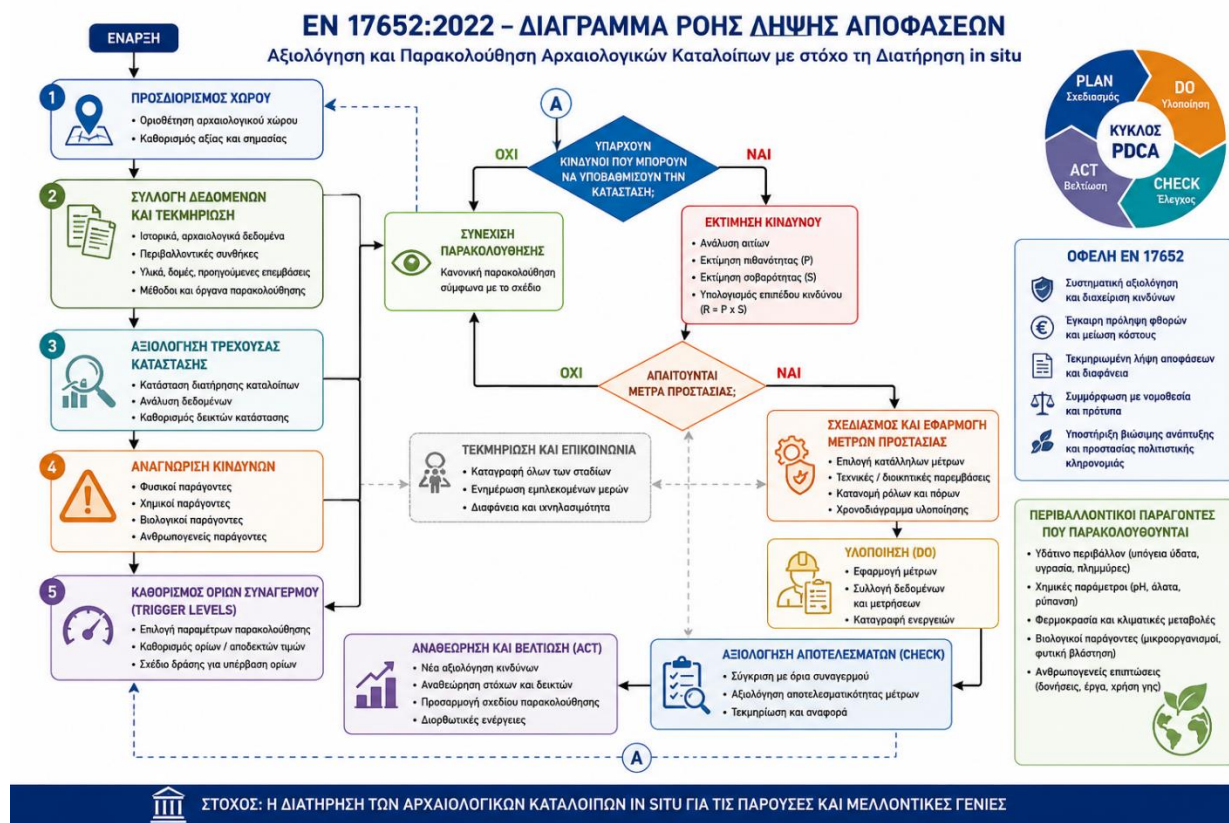
3. Ανατροφοδότηση (Feedback Loop)

Αν κατά την περιβαλλοντική διαχείριση οι δείκτες δείξουν μη αναστρέψιμη υποβάθμιση και τα τεχνικά μέτρα (mitigation) αποτύχουν, το έργο επιστρέφει στο πρώτο διάγραμμα για επανεξέταση της απόφασης και πιθανή επιλογή της σωστικής ανασκαφής.

Η δομή του προτύπου βασίζεται σε μια αυστηρή αλληλουχία φάσεων (Project Management) και σε κριτήρια περιβαλλοντικής διαχείρισης (Environmental Management) με σκοπό την ελαχιστοποίηση της αλλοίωσης των ευρημάτων.

Παρακάτω παρουσιάζεται το

4.Ενιαίο διάγραμμα ροής / λήψης αποφάσεων σύμφωνα με τον ICOMOS που αναφέρονται στο EN 17652



Συνοπτικά Το EN 17652 αξιολογεί τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν τα αρχαιολογικά κατάλοιπα: στάθμη υπόγειων υδάτων, υγρασία εδάφους, οξυγόνωση, χημική σύσταση εδάφους, μικροβιολογική δραστηριότητα, επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής, πλημμυρών και ξηρασίας. Έχει το προσόν ότι συνδέεται άμεσα με το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO 14001, τις Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) και την προστασία πολιτιστικής κληρονομιάς στο πλαίσιο βιώσιμης ανάπτυξης.

Εφαρμογές

Το πρότυπο χρησιμοποιείται σε: Έργα υποδομών (μετρό, αυτοκινητόδρομοι, λιμάνια), αστικές αναπλάσεις, **αρχαιολογικούς χώρους**, υδροτόπους, παράκτιες και υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις και **Έργων προστασίας Πολιτιστικής κληρονομιάς**.

5.11.5 Επικαιροποίηση ψηφιακού φακέλου και αποθετηρίου (Living Repository)

Ο Ψηφιακός Φάκελος Μνημείου και το Αποθετήριο Έργου δεν παραμένουν στατικά, αλλά λειτουργούν ως ζωντανό μητρώο. Καθιερώνεται τυποποιημένη διαδικασία επικαιροποίησης που περιλαμβάνει:

- Εισαγωγή αποτελεσμάτων επιθεωρήσεων/μετρήσεων (με ημερομηνία, υπεύθυνο, μεθοδολογία),
- Καταγραφή μικρο-επεμβάσεων συντήρησης και υλικών που χρησιμοποιήθηκαν,
- Ενημέρωση “as-maintained” δεδομένων (όπου απαιτείται),

-
- Διαχείριση εκδόσεων (versioning) και audit trail,
 - Διαβάθμιση πρόσβασης (δικαιώματα ανά ρόλο), σε συνέπεια με τις απαιτήσεις κυβερνοασφάλειας.

Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η συνέχεια της γνώσης και η δυνατότητα τεκμηριωμένου σχεδιασμού μελλοντικών ενεργειών.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ, ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Οδηγίες και Κανονισμοί

1. Οδηγία (ΕΕ) 2015/1535 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 9ης Σεπτεμβρίου 2015, για την καθιέρωση μίας διαδικασίας πληροφόρησης στον τομέα των τεχνικών προδιαγραφών και των κανόνων σχετικά με τις υπηρεσίες της κοινωνίας των πληροφοριών (κωδικοποίηση),
2. CEN-CENELEC Οδηγός 30:2015, Ευρωπαϊκός Οδηγός για Πρότυπα και Νομοθεσία – Καλή Νομοθέτηση μέσω της αξιοποίησης Προτύπων – Οδηγίες για τη θέσπιση δημοσίων πολιτικών,
3. ν. 4858/2021 Κύρωση Κώδικα νομοθεσίας για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς.
4. Υπουργική Απόφαση ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929 (ΦΕΚ Β΄ 2837/05.07.2019), η οποία εκδόθηκε κατ' εφαρμογή σχετικών Προεδρικών Διαταγμάτων (ιδίως Π.Δ. 24/2019 και Π.Δ. 696/1974).
5. ΕΛΟΤ EN 15898 E2:2020 Conservation of cultural heritage - Main general terms and definitions (Συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς - Κύριοι γενικοί όροι και ορισμοί εννοιών)
6. ΕΛΟΤ EN 17652:2025 Cultural heritage - Assessment and monitoring of archaeological deposits for preservation in situ (Συντήρηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς – Αξιολόγηση και παρακολούθηση αρχαιολογικών αποθέσεων για διατήρηση επί τόπου).
7. ΕΛΟΤ EN 16096:2012 Conservation of cultural property - Condition survey and report of built cultural heritage (Συντήρηση πολιτιστικής κληρονομιάς - Εκτίμηση και έκθεση της κατάστασης των δομημένων χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς.
8. ΕΛΟΤ EN 16853:2026 Conservation of cultural heritage - Conservation process - Decision making, planning, implementation and documentation (Συντήρηση πολιτιστικής κληρονομιάς - Διεργασία συντήρησης - Λήψη αποφάσεων, σχεδιασμός, υλοποίηση και τεκμηρίωση)
9. ΕΛΟΤ EN 1998-1-1:2025 (Ευρωκώδικας 8 - Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών - Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και σεισμικές δράσεις
10. prEN 1998-1-2:2022, Eurocode 8 — Design of structures for earthquake resistance — Part 1-2: Buildings
11. FprEN 1998-3:2024, Eurocode 8 — Design of structures for earthquake resistance — Part 3: Assessment and retrofitting of buildings and bridges
12. ΕΛΟΤ EN 1998-1/NA+A1:2015 : Γενικοί κανόνες σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια
13. ΕΛΟΤ EN 1998-3: 2005/NA: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας κτιρίων
14. EN 1990:2002 Ευρωκώδικας - Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων
15. Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας, ΚΑΔΕΤ, ΦΕΚ 2493/Β/18-4-2023
16. ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Κανονισμός Επεμβάσεων), ΦΕΚ 3197/Β/22-6-2022, 3η Αναθεώρηση
17. EN 1015-1:1998 Methods of test for mortar masonry – Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis).
18. Normal 4/80: Distribution of Pore Volume as a Function of Pore Diameter C.N.R.-I.C.R.; Consiglio Nazionale delle Ricerche and Istituto Centrale del Restauro (CNR-ICR): Rome, Italy, 1980.
19. Normal 13/83: Dosage of Soluble Salts Rome; Consiglio Nazionale delle Ricerche and Istituto Centrale del Restauro (CNR-ICR): Rome, Italy, 1983.

-
20. Normal 27/88: Caratterizzazione di una malta Rome; Consiglio Nazionale delle Ricerche and Istituto Centrale del Restauro (CNR-ICR): Rome, Italy, 1988.
 21. Normal 34/91: Analysis of Clay Materials by XRD Rome; Consiglio Nazionale delle Ricerche and Istituto Centrale del Restauro (CNR-ICR): Rome, Italy, 1991.
 22. ICOMOS Climate Action Working Group. The Future of Our Pasts: Engaging Cultural Heritage in Climate Action; ICOMOS: Paris, France, 2019.
 23. ICOMOS. Heritage and the Climate Emergency; ICOMOS Resolution 20GA 2023/03; ICOMOS: Paris, France, 2022

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Αναλυτικός κατάλογος σχετιζόμενων αναφορών

Ελληνικές αναφορές

1. Υπουργείο Πολιτισμού. *Κανονιστικό πλαίσιο για την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση εργασιών σε ακίνητα μνημεία*. ΦΕΚ Β΄ 2837/2019.
2. Υπουργείο Πολιτισμού. Ν. 4858/2021 – *Κύρωση Κώδικα Νομοθεσίας για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*.
3. Υπουργείο Πολιτισμού. *Γενικές Προδιαγραφές Μελετών Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων*. Διεύθυνση Αναστήλωσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων, 1999.
4. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. *Προδιαγραφές Μελετών στα Έργα των Μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*. Αθήνα, 1992.
5. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. *Κανονισμός Παρακολούθησης και Ελέγχου Ποιότητας των Έργων Συντήρησης και Προστασίας της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*. Αθήνα, 2004.
6. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.). (2001). *Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (ΕΑΚ 2000)*. Αθήνα: Ο.Α.Σ.Π. European Committee for Standardisation (2004): “Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός”
7. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.). (2004). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (Ο.Μ.Ο.Ε.)*: Τεύχος 11 – Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Έρευνες και Μελέτες. Αθήνα: Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων.
8. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2017). *Κανονισμός Προεκτιμώμενων Αμοιβών Μελετών και Παροχής Τεχνικών και λοιπών συναφών Επιστημονικών Υπηρεσιών σύμφωνα με τον Ν. 4412/2016 (ΦΕΚ Β΄ 2519/20-07-2017)*. Αθήνα: Εθνικό Τυπογραφείο.
9. Αγγελικοπούλου, Ε. (2006). *Κριτήρια και Μέθοδοι Αποτίμησης Φυσικοχημικών και Μηχανικών Χαρακτηριστικών κατά την διερεύνηση Αριστοποίησης Συμβατών Κονιαμάτων και Σκυροδεμάτων Αποκατάστασης Ιστορικών Τοιχοποιιών, με έμφαση στις ποζολανικές πρώτες ύλες* (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Χημικών Μηχανικών. Τομέας ΙΙΙ: Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών).
10. Κορρές, Μ. *Μελέτες για την Ακρόπολη*. Αθήνα: Επιτροπή Συντήρησης Μνημείων Ακροπόλεως (ΕΣΜΑ).
11. Μαλλούχου-Tufano, Φ. (2004). *Προστασία και Διαχείριση Μνημείων. Ιστορικές και Θεωρητικές Προσεγγίσεις από την Αρχαιότητα έως τις Μέρες μας*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Αθήνα, 2004.
12. Μοροπούλου Α., Μπακόλας Α., Μούνδουλας Π., Αγγελικοπούλου Ε., (2001). *Κριτήρια και μεθοδολογία παρασκευής, αριστοποίησης και αποτίμησης συμβατών κονιαμάτων για την αποκατάσταση ιστορικών τοιχοποιιών*. 3ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Αθήνα, 31 Μαΐου - 2 Ιουνίου 2001, Τ.1, σ. 417-420.
13. Μοροπούλου, Α., Αγγελικοπούλου, Ε., Αθανασιάδου, Κ., Χατζηαντωνίου, Κ., Καρύδης, Π., Μουζάκης, Χ., Κόλιας, Σ. (2003). *Παρασκευή και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης θραυσμένου κεραμικού για βυζαντινές τοιχοποιίες*. 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003, Εκδόσεις ΤΕΕ.
14. Μούνδουλας, Π. (2004). *Μεθοδολογία σχεδιασμού και αποτίμησης συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης ιστορικών μνημείων με κριτήρια τις*

-
- ορυκτολογικές-φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Χημικών Μηχανικών. Τομέας III: Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών. (επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου).
15. Μούνδουλας, Π., Μπακόλας, Α., Αγγελακοπούλου, Ε., Μοροπούλου, Α., Çakmak, A., (2008). Αντίστροφη Μηχανική Προσέγγιση – Reverse Engineering για τον σχεδιασμό συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης – Η περίπτωση της Αγιά Σοφιάς. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών & Στοιχείων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, 21-23 Μαΐου 2008 Τόμος Γ, σ. 1825-1846.
 16. Μπακόλας, Α. (2002). *Κριτήρια και Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων*. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Χημικών Μηχανικών. Τομέας III: Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών. (επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου)
 17. Μπούρας, Χ. (επιμ.), Τουρνικιώτης, Π. (επιμ.). (2010). *Συντήρηση, Αναστήλωση και Αποκατάσταση Μνημείων στην Ελλάδα 1950–2000*. Αθήνα: Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς.
 18. Μπούρας, Χ. *Σημειώσεις του μαθήματος «Αποκαταστάσεις των Μνημείων Ι»*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1983.
 19. Παπαζάχος, Β. και Κ. Παπαζάχου (2003). *Οι σεισμοί της Ελλάδας*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσσες αναφορές

20. ICOMOS: The Venice Charter. International charter for the conservation and restoration of monuments and sites. In: Second international congress of architects and technicians of historic monuments; Venice, Italy, 1964.
21. ICOMOS: *The Nara Document on Authenticity*. Nara Conference on Authenticity, Nara, Japan, 1994.
22. ICOMOS: *The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance*. Australia ICOMOS, 2013.
23. ICOMOS: *Guidance on Heritage Impact Assessments for Cultural World Heritage Properties*. Paris: ICOMOS, 2011.
24. ICOMOS: *Principles for the Recording of Monuments, Groups of Buildings and Sites* (1996).
25. ICOMOS/CIPA: (2023). Principles for Recording Cultural Heritage (Draft #5), ADCOM 2023/09 3-6. Ver. 21/08/2023. Elaborated by Pieter Jan De Vos, Andreas Georgopoulos, Pierre Grussenmeyer, Pierre Haillot, Pierre Jouan, Fulvio Rinaudo, Mario Santana Quintero, Laurie Smith, Stratos Stylianidis, and Alex Ya-Ning Yen.
26. EN 15898:2019. *Conservation of Cultural Heritage – Main General Terms and Definitions*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2019.
27. EN 16096:2012. *Conservation of Cultural Property – Condition Survey and Report of Built Cultural Heritage*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2012.
28. EN 16853:2017. *Conservation of Cultural Heritage – Conservation Process – Decision Making, Planning and Implementation*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2017.
29. UNESCO. *Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*. Paris: UNESCO, 1972.

-
30. UNESCO. *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. Paris: UNESCO World Heritage Centre Brandi, C. *Theory of Restoration*. Translated by C. Rockwell. Florence: Nardini Editore, 2005 (Original edition: *Teoria del Restauro*, 1963).
 31. UNESCO, (2003). Guidelines for the Preservation of Digital Heritage, CI-2003/WS/3.
 32. "Integrated diagnostic research project and strategic planning for materials, interventions conservation and rehabilitation of the Holy Edicule of the Holy Sepulchre in the Holy Church of the Resurrection in Jerusalem", A. Moropoulou, E. Korres, A. Georgopoulos, C. Spyarakos, (2016) 109 p., ISBN 978-618-82612-0-4.
 33. 10th Annual Conference on "New studies in the archaeology of Jerusalem" [Jerusalem, 26-28/10/16, joint collaboration of the Israel Antiquities Authority, Tel Aviv University and The Hebrew University of Jerusalem]. Invited presentation: "Sustainable rehabilitation of the Holy Sepulchre: Interdisciplinary scientific study and monitoring – Scientific integrated governance of the project", a collective work presented by Prof. A. Moropoulou.
 34. 2nd International Conference on Art and Archaeology [Jerusalem, 11-14/12/2016]. Invited presentation: "Interdisciplinary planning and scientific support in the field of rehabilitation of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre", a collective work presented by Prof. A. Moropoulou.
 35. Presentation on the completion of the Holy Sepulchre's Holy Aedicule Rehabilitation "Conservation, reinforcement and repair interventions for the rehabilitation of the Holy Sepulchre in Jerusalem. Scientific Responsible: A. Moropoulou, National Technical University of Athens" (2017) 141 p., ISBN 978-618-82196-4-9.
 36. University of Oxford School of Archaeology: Fifth Anniversary of the Mica and Ahmet Ertegun Graduate Scholarship Programme in the Humanities [Oxford, 23/10/2017]. Invited presentation: "The Rehabilitation of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre", a collective work presented by Prof. A. Moropoulou.
 37. Institut für Christkatholische Theologie, Universität Bern [Bern, 21/03/2018]: Invited lecture: "The rehabilitation of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre", a collective work presented by Prof. A. Moropoulou
 38. Adamopoulos, E., Volinia, M., Girotto, M., Rinaudo, F. (2020). Three-Dimensional Thermal Mapping from IRT Images for Rapid Architectural Heritage NDT. *Buildings*, 10, 187.
 39. Aggelakopoulou, E., Bakolas, A., Moropoulou, A. (2011). Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries, *Appl. Clay Sci.*, 53, 15-19.
 40. Aggelakopoulou, E., Moropoulou, A., Bakolas, A. (2006). Optimization assessment of compatible repair byzantine concrete for the historic structures' restoration intervention. 16th ECF: Measuring, Monitoring and Modelling Concrete Properties, ed M. Konsta-Gdoutos, Springer, Alexandroupolis, Greece, pp. 675-584.
 41. Agrafiotis, P., Lampropoulos, K., Georgopoulos, A., Moropoulou, A. (2017). 3D Modelling the Invisible using Ground Penetrating Radar", in, *TC II & CIPA 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, 1-3 March 2017, Nafplio, Greece. Eds. D. Aguilera, A. Georgopoulos, T. Kersten, F. Remondino, and E.

-
- Stathopoulou, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2017; XLII-2-W3: 33-37.
42. Alexakis, E., Delegou E.T., Lampropoulos K.C., Apostolopoulou M., Ntoutsis I., Moropoulou, A. (2018). NDT as a monitoring tool of the works progress and the assessment of materials and rehabilitation interventions at the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre", *Construction and Building Materials* 189, 512-526.
 43. Alexakis, E., Delegou E.T., Mavrepis P., Rifios A., Kyriazis D., Moropoulou A. (2024). A novel application of deep learning approach over IRT images for the automated detection of rising damp on historical masonries. *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 20, e02889.
 44. Alexakis, E., Kapassa E., Touloupou M., Kyriazis D., Georgopoulos A., Moropoulou A. (2018). Computer-Aided Innovative Methodology for Management and Personalized Representation of Big Data in Cultural Heritage. The 9th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics: IMCIC 2018, March 13 - 16, 2018, Orlando, Florida.
 45. Alexakis, E., Kapassa E., Touloupou M., Kyriazis D., Georgopoulos A., Moropoulou A. (2019). Innovative Methodology for Personalized 3D Representation and Big Data Management in Cultural Heritage. *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, eds. A. Moropoulou, M. Korres, A. Georgopoulos, C. Spyarakos, Ch. Mouzakis, Springer, CCIS, vol 961, 69-77.
 46. Alexakis, E., Raikos, A., Mavrepis, P., Rifios, A., Kyriazis, D. & Moropoulou, A. (2025). Data Strategies in the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre: A Holistic Approach to Management, Visualization, and Analytics. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 18(4), Article 55.
 47. Alexakis, E., Lampropoulos K., Doulamis N., Doulamis A., Moropoulou A. (2022). Deep learning approach for the identification of structural layers in historic monuments from Ground Penetrating Radar Images. *Scientific Culture*, 8 (2), 95-107.
 48. Aly, M., Pavia, S. (2015). Mechanical and hygric properties of natural hydraulic lime (NHL) mortars with pozzolans. In *Third Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures*. SMAR, P-101.
 49. Amenta, M., Karatasios, I., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Kilikoglou, V. (2017). The role of aggregate characteristics on the performance optimization of high hydraulicity restoration mortars. *Construction and Building Materials*, 153, 527-534.
 50. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Draft, version 12, 11 July 2013.
 51. Anovitz, L. M., Cole, D. R. (2015). Characterization and analysis of porosity and pore structures. *Reviews in Mineralogy and geochemistry*, 80 (1), 61-164.
 52. Anzani, A., Binda, L., Lualdi, M., Tedeschi, C., Zanzi L. (2006). Use of sonic and GPR tests to control the effectiveness of grout injections of stone masonry, ECNDT 3, 1-7.
 53. Apostolopoulos, K., Potsiou, C. (2022). How to Improve Quality of Crowdsourced Cadastral Surveys. *Land*, 11, 1642.
 54. Apostolopoulou, M., Aggelakopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A., (2018). Compatible mortars for the sustainable conservation of stone in masonries. In: *Advanced Materials for the Conservation of Stone*, eds. M. Hosseini, I. Karapanagiotis, Springer, vol 1, 97-123.

-
55. Apostolopoulou, M., Aggelakopoulou, E., Siouta, L., Bakolas, A., Douvika, M., Asteris, P. G., Moropoulou, A. (2017). A methodological approach for the selection of compatible and performable restoration mortars in seismic hazard areas. *Construction and Building Materials*, 155, 1-14.
 56. Apostolopoulou, M., Delegou, E.T., Alexakis, Emm., Kalofonou, M., Lampropoulos K.C., Aggelakopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A. (2018). Study of the historical mortars of the Holy Aedicule as a basis for the design, application and assessment of repair mortars: A multispectral approach applied on the Holy Aedicule", *Construction and Building Materials* 181, 618–637.
 57. Apostolopoulou, M., Delegou, E.T., Lampropoulos, K.C., Alexakis, E., Moropoulou, A. (2017). NDT assessment of the rehabilitation of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre concerning the implementation of compatible and performing restoration mortars", *Proceedings of the Second International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures (EAC2) conference, Brussels, Belgium, 12-14/9/2017*, ed. Stéphanie Staquet and Dimitrios Aggelis, RILEM Publications S.A.R.L., Paris, France, Volume 1, 131-136.
 58. Asteris, P. G., Moropoulou, A., Skentou, A. D., Apostolopoulou, M., Mohebkah, A., Cavaleri, L., Rodrigues, H., Varum, H. (2019). Stochastic vulnerability assessment of masonry structures: concepts, modeling and restoration aspects. *Applied Sciences*, 9 (2), 243.
 59. Avdelidis, N.P., Moropoulou, A. (2004). Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures: a review study", *J. Cultural Heritage*, 5 (1), 119-127.
 60. Bakolas, A., Aggekakopoulou E., Moropoulou A. (2008). Evaluation of pozzolanic activity and physico-mechanical characteristics in ceramic powder-lime pastes", *J. Thermal Analysis & Calorimetry*, 92, 345–351.
 61. Bakolas, A., Aggekakopoulou E., Moropoulou A., Anagnostopoulou S. (2006). Evaluation of pozzolanic activity and physico-mechanical characteristics in metakaolin-lime pastes. *J. Thermal Analysis & Calorimetry*, 84, 157-163.
 62. Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A., Zendri, E. (1995). Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry", *Thermochimica Acta*, 269/270, 809-816.
 63. Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A., Zendri, E. (1998). Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis. *Thermochimica Acta*, 321 (1-2), 151-160.
 64. Balodimos, D. D., G. Lavvas, Georgopoulos, A. (2003). Wholly documenting holy monuments. In *Proceedings of the XIX international CIPA symposium on new perspectives to save cultural heritage*, ed. M. O. Altan, 502–05. Antalya, Turkey: CIPA.
 65. Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C. (2000). Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries. *Constr. Build. Mat.* 14, 199–233.
 66. Blaeuer, C., Kueng, A. (2007). Examples of microscopic analysis of historic mortars by means of polarising light microscopy of dispersions and thin sections. *Materials characterization*, 58 (11-12), 1199-1207.
 67. Bosiljkov, V., Uranjek, M., Žarnić, R., Bokan-Bosiljkov, V. (2010). An integrated diagnostic approach for the assessment of historic masonry structures. *J. Cult. Heritage*, 11, 239-249.
 68. Bosiljkov, V.B., Padovnik, A., Turk, T. (Eds). (2023). *Conservation and Restoration of Historic Mortars and Masonry Structures - HMC 2022*. RILEM Book series Volume 42, Springer (2023).

-
69. Bracci, S., Sacchi, B. (2022). *In situ* Assessment of Conservation Treatments and Monitoring of Their Effectiveness. In: Gherardi, F., Maravelaki, P.N. (eds) *Conserving Stone Heritage*. Cultural Heritage Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82942-1_8
 70. Brook, J.J., Johari, M.M.A. (2001). Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete, *Cem. Concr. Compos.* 23, 495-502.
 71. Bruno, S., M. De Fino, and F. Fatiguso. (2018). Historic building information modelling: Performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. *Automation in Construction* 86, 256–276.
 72. Çakmak, A.S., Moropoulou, A., Mullen, C.L. (1995). Interdisciplinary Study of Dynamic Behaviour and Earthquake Response of Hagia Sophia. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 14 (9), 125-133.
 73. Cho, J. S., Moon, K. Y., Choi, M. K., Cho, K. H., Ahn, J. W., Yeon, K. S. (2017). Performance improvement of local Korean natural hydraulic lime-based mortar using inorganic by-products. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34 (5), 1385-1392.
 74. Choay, F. (2001). *The Invention of the Historic Monument*. Cambridge: Cambridge University Press.
 75. Da Silveira Paulo, M., do Rosário Veiga, M., de Brito, J. (2007). Gypsum coatings in ancient buildings. *Construction and Building Materials*, 21 (1), 126-131.
 76. Daniels, L., and Georgopoulos, A. (2023). Doric Temple HBIM Library for Cultural Heritage Management. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., X-M-1-2023, 55–62, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-M-1-2023-55-2023>, 2023.
 77. Deere, D.U. & Miller, R.P. (1966). *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock*. Technical Report AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Laboratory, Kirtland Air Force Base, New Mexico.
 78. Delegou, E. T., Apostolopoulou, M., Ntoutsis, I., Thoma, M., Keramidas, V., Papatrechas, C., Economou, G., Moropoulou, A. (2019). The effect of fire on building materials: The case-study of the Varnakova Monastery Cells in central Greece. *Heritage*, 2 (2), 1233-1259.
 79. Delegou, E.T., Karapiperis C., Hilioti Z., Chasapi A. Valasiadis D., Alexandridou A., Rihani V., Kroustalaki M., Bris T., Ouzounis C.A., Salakidis A., Moropoulou A. (2022). Metagenomics of the Built Cultural Heritage: Microbiota Characterization of the Building Materials of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre in Jerusalem. *Scientific Culture*, 8 (2), 59-83.
 80. Delgado Rodrigues, J., Grossi, A. (2007). Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions. *J. Cult. Heritage*, 8, 32-43.
 81. Elsen, J. (2006). Microscopy of historic mortars—a review. *Cement and concrete research*, 36 (8), 1416-1424.
 82. Eslami, A., Ronagh, H. R., Mahini, S. S., Morshed, R. (2012). Experimental investigation and nonlinear FE analysis of historical masonry buildings—A case study. *Construction and Building Materials*, 35, 251-260.
 83. Faella, G., Frunzio, G., Guadagnuolo, M., Donadio, A., Ferri, L. (2012). The Church of the Nativity in Bethlehem: non-destructive tests for the structural knowledge, *J. Cult. Heritage*, 13, 27–41.
 84. Fang, S. Q., Zhang, H., Zhang, B. J., Zheng, Y. (2014). The identification of organic additives in traditional lime mortar. *J. Cult. Heritage*, 15 (2), 144-150.
 85. Feathers, James K (2003). Use of luminescence dating in archaeology, *Meas. Sci. Technol.* 14, 1493.

86. Feilden, B.M. (2003). *Conservation of Historic Buildings*. 3rd ed. Oxford: Architectural Press.
87. Freire, T., Santos Silva, A., Veiga, M. R., Brito, J. D. (2008). Characterization of Portuguese historical gypsum mortars. In *HMC08–1st Historical Mortars Conference*, pp.24-26.
88. Gameiro, A., Silva, A.S., Faria, P., Grilo, J., Branco, T., Veiga, R., et al.. (2014). Physical and chemical assessment of lime–metakaolin mortars: Influence of binder: aggregate ratio. *Cem. Concr. Compos.* 45, 264-271.
89. Genestar, C., Pons, C. (2003). Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterisation. *Journal of Cultural Heritage*, 4 (4), 291-298.
90. Georgopoulos, A., Ioannidis, Ch., Soile, S., Tapinaki, S., Chliverou, R., Tsilimantou, E., Lampropoulos, K., Moropoulou, A. (2018). The Role of Digital Geometric Documentation for the Rehabilitation of the Tomb of Christ. In: A. C. Addison & H. Thwaites (Editors), *Proceedings of the 2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with the 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018)*, 26-30 October 2018, San Francisco, USA, IEEE Catalog Number: CFP1808W-ART ISBN 978-1-7281-2002-7.
91. Georgopoulos, A., Lambrou, E., Pantazis, G., Agrafiotis, P., Papadaki, A., Kotoula, L., Lampropoulos, K., Delegou, E., Apostolopoulou, M., Alexakis, M., Moropoulou, A. (2017). Merging geometric documentation with materials characterization and analysis of the history of the Holy Aedicule in the Church of the Holy Sepulchre in Jerusalem”, in *Geomatics and Restoration: Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era*, Eds. G. Tucci and V. Bonora, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5-W1, 487-494.
92. Georgopoulos, A., Tapinaki, S. (2025). Photogrammetric Computer Vision—Good Practices and Pitfalls. In: Liarokapis, F., Shehade, M., Aristidou, A., Chrysanthou, Y. (eds.) *Interactive Media for Cultural Heritage*. Springer Series on Cultural Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61018-9_9
93. Grist, E. R., Paine, K. A., Heath, A., Norman, J., Pinder, H. (2013). Compressive strength development of binary and ternary lime–pozzolan mortars. *Materials & Design* (1980-2015), 52, 514-523.
94. Groot, C., Bartos, P., Hughes, J. (2000). Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair. In: *12th International Brick/Block Masonry Conference*, Madrid, 815-827.
95. Gulec, A., Ersen, A. (1998). Characterization of ancient mortars: Evaluation of simple and sophisticated methods. *Journal of Architectural Conservation*, 4 (1), 56-67.
96. Hanley, R., Pavía, S. (2008). A study of the workability of natural hydraulic lime mortars and its influence on strength. *Materials and Structures*, 41 (2), 373-381.
97. Iliodromitis A, Pantazis G, Georgopoulos A, Patouras V. (2025). Documentation of the Holy Monastery of Daphni Within a Time Span of 20 Years—A Comparative Approach. *Buildings*. 2025; 15 (17), 3010.
98. Isebaert, A., De Boever, W., Descamps, F., Dils, J., Dumon, M., De Schutter, G., Van Ranst, E., Cnudde, V., Van Parys, L. (2016). Pore-related properties of natural hydraulic lime mortars: an experimental study. *Materials and Structures*, 49 (7), 2767-2780.
99. Jokilehto, J. (1999). *A History of Architectural Conservation*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
100. Jouan, P., Hallot, P. (2019). Digital Twin: A HBIM-Based Methodology to Support Preventive Conservation of Historic Assets Through Heritage Significance Awareness.

-
- The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 609–615.
101. Kalagri, A., Karatasios, I., Kilikoglou, V. (2014). The effect of aggregate size and type of binder on microstructure and mechanical properties of NHL mortars. *Construction and Building Materials*, 53, 467-474.
 102. Karoglou, M., Moropoulou, A., Mouzakis, C., Asimakopoulos, S. (2022) Monitoring and modeling the thermal impact of the outdoor environment at a passive monumental structure inside another structure. *J. Cultural Heritage*, 55, 171-178.
 103. Karoglou, M., Moropoulou, A., Mouzakis, Ch., Asimakopoulos, S. (2025). Monitoring of a historic building's masonry moisture content. *J. Building Engineering* 104, 112313.
 104. Katsaragakis, E.S. (1987). A new tensile test for concrete. *Materials and Structures* 20, 463–466.
 105. Keramidas V., Delegou E.T., Apostolopoulou M., Ntoutsis I., Thoma M., Michalaros C., Papatrechas C., Mouzakis C., Moropoulou, (2020). Integrated scientific approach for the diagnosis and restoration of the catholicon and cell quarters of the Varnakova Monastery in Fokida. 6th ARCH_RNT Symposium “Archaeological Research & New Technologies”, Ed. N. Zacharias, Kalamata, Greece, 15.
 106. Keramidas, V., Lampropoulos, K., Bletsas-Yfantis, G., Tsilimantou, E., Mouzakis, Ch., Moropoulou, A. (2022). Non-destructive evaluation of the pathology of the Katholikon of the Monastery of Panagia Varnakova with ground penetrating radar. in: *Advanced Non Destructive and Structural Techniques for Diagnosis, Redesign and Health Monitoring for the Preservation of Cultural Heritage*, Eds. A. Osman, A. Moropoulou. Springer Proceedings in Materials, 16, 83-95.
 107. Kioussi A., Karoglou M., Doulamis A., Fragkoudakis Ch., Potikas P., Protopapadakis E., Delegou E., Alexakis E., Moropoulou A., (2019). A Knowledge Json-Based Database for Integrating Multiple Disciplines in Cultural Heritage. *Nondestructive Evaluation and Monitoring Technologies, Documentation, Diagnosis and Preservation of Cultural Heritage*, eds. A. Osman and A. Moropoulou, Springer, 1, 121-132.
 108. Kioussi, A., Karoglou, M., Labropoulos, K., Bakolas, A., Moropoulou, A. (2013). Integrated documentation protocols enabling decision making in cultural heritage protection. *Journal of Cultural Heritage*, 14S, e141-e146.
 109. Kontoudaki, A., Delegou, E.T., Tapinaki, S., Lampropoulos, K.C., Georgopoulos, A., Moropoulou, A. (2025). Mapping and Analysis of Building Materials and Decay Patterns Using GIS: The Case of Structures Adjacent to the Pantainos Library in the Ancient Agora of Athens. In: Osman, A., Moropoulou, A., Lampropoulos, K. (eds) *Advances in Non-destructive Evaluation Technologies for the Preservation of Cultural Heritage*. TMM-CH 2025. Springer Proceedings in Materials, Springer, Cham. vol 101, pp.3-24.
 110. Kontoudaki, A., Tapinaki, S., Delegou, Ek., Labropoulos, K., Moropoulou, A., Georgopoulos, A. (2025). Combining 3D Geometric Documentation with Infra-Red Thermography for Enhancing Cultural Heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLVIII-M-9-2025. 757-763. 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-9-2025-757-2025.
 111. Kroustallaki, M., Lampropoulos, K.C., Delegou, E., Alexakis, Emm., Tsagarakis, A., Mouzakis, H., Korres, M., Moropoulou, A. (2019). Diagnostic research of the Dome of the superstructure of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre in Jerusalem- Suggestions for maintenance and rehabilitation. In: *Nondestructive Evaluation and Monitoring Technologies, Documentation, Diagnosis and Preservation of Cultural Heritage*, Eds. A. Osman and A. Moropoulou. Springer, SPM, 1-16.

-
112. Lampropoulos, K., Moropoulos, N., Roumeliotis, S., Menychtas, A., Doulamis, A., Kampitsis, A., Vovos, D., Sapountzakis, E., Georgopoulos, A., & Moropoulou, A. (2025). An Intelligent digital platform for the holistic prediction of the behavior of structures, infrastructures and cultural heritage assets and their sustainable preservation and life-cycle management, utilizing BIM, Digital Twins and Expandable AI Toolkits. *Technical Annals*, 1 (9). <https://doi.org/10.12681/ta.44549>
 113. Lampropoulos, K.C., Apostolopoulou, M., Tsilimantou, E., Moropoulou, A. (2022). The grouting process as an innovative tool for the assessment of the state of preservation and internal features of the holy aedicule of the Holy Sepulchre. *Heritage*, 5 (1), 61-87.
 114. Lampropoulos, K.C., Korres, M., Moropoulou, A. (2019). A transdisciplinary approach to reveal the structural evolution of the Holy Aedicule in the Church of the Holy Sepulchre. In: *Nondestructive Evaluation and Monitoring Technologies, Documentation, Diagnosis and Preservation of Cultural Heritage*, Eds. A. Osman and A. Moropoulou. Springer, SPM, 107-120.
 115. Lampropoulos, K.C., Moropoulou, A., Korres, M. (2017). Ground penetrating radar prospection of the construction phases of the Holy Aedicula of the Church of the Holy Sepulchre, in correlation with architectural analysis. *Construction and Building Materials*, 155 307–322.
 116. Lanas, J., Álvarez-Galindo, J.I.. (2003). Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior. *Cem. Concr. Res.*, 33 (11), 1867-1876.
 117. Maravelaki, P.N. (2022). Chapter 2 Surface Cleaning: Implications from Choices & Future Perspectives. in F. Gherardi, P. N. Maravelaki (eds.), *Conserving Stone Heritage, Cultural Heritage Science*.
 118. Maria, S. (2010). Methods for porosity measurement in lime-based mortars. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2572-2578.
 119. Markiewicz, J., Kot, P., Georgopoulos, A., Bocheńska, A., Muradov, M., Hess, M., Czajkowski, K., Zawieska, D., Antoniou, A., (2025). Transforming architectural heritage documentation: developing integrated European recommendations for safeguarding and preservation. *npj Herit. Sci.* 13, 622.
 120. Martini R., Carvalho, J., Barraca, N., Arêde, A., Varum H. (2017) Advances on the use of non-destructive techniques for mechanical characterization of stone masonry: GPR and sonic tests, *Proc. Struct. Integrity* 5, 1108–1115.
 121. Masciotta, M.G., Ramos, L.F., Lourenço, P.B. (2007). The importance of structural monitoring as a diagnosis and control tool in the restoration process of heritage structures: a case study in Portugal, *J. Cult. Heritage*. 27, 36–47.
 122. Middendorf, B., Hughes, J. J., Callebaut, K., Baronio, G., Papayianni, I. (2005). Investigative methods for the characterisation of historic mortars—part 1: mineralogical characterisation. *Materials and Structures*, 38 (8), 761.
 123. Middendorf, B., Hughes, J. J., Callebaut, K., Baronio, G., Papayianni, I. (2005). Investigative methods for the characterisation of historic mortars—part 2: chemical characterisation. *Materials and Structures*, 38 (8), 771-780.
 124. Miriello, D., Crisci, G. M. (2006). Image analysis and flatbed scanners. A visual procedure in order to study the macro-porosity of the archaeological and historical mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 7 (3), 186-192.
 125. Moropoulou, A. (2000). Reverse engineering to discover traditional technologies: a proper approach for compatible restoration mortars, in PACT 58 (2000) 81-107.

-
126. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E. (2003). The role of compatible repair mortars and strengthening interventions for the earthquake protection of monuments. *Protection of Historical Structures and Monuments against Earthquakes*, Crete.
 127. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E. (2004). The role of materials in the earthquake protection of monuments”, 6th International Symposium on the Conservation of Monuments in Mediterranean Basin, Lisbon, Portugal.
 128. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., Athanasiadou, K., Xatziantoniou, K., Kollias, S. (2003). Repair mortars for the Byzantine masonries restoration interventions providing earthquake protection. In: *Advances in Earthquake Engineering IV, Earthquake Resistant Engineering Structures*, ed. G. Latini, C.A. Brebbia, Publ. Wessex Institute of Technology, pp.253-262.
 129. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A. (2004). Concrete design for restoration interventions on thick joints brickwork masonries of Byzantine Era-Evaluation of mechanical characteristics. In: *Proc. 7th Int. Conf. on Concrete Technology in Developing Countries*, eds H. Al-Mattarneh, A. Ibrahim, H. Mohd Saman, Kuala Lumpur, pp. 115-124.
 130. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A. (2006). Earthquakes and monuments – The role of materials in the earthquake protection of monuments. In: *V Int. Conf. on Structural Analysis of Historical Constructions*, eds Lourenço P.B., Roca P., Modena C. and Agrawal S., New Delhi, India, 3, 1625-1631.
 131. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A., Tzanetos, F., Psymogerakou, P. (2004). Design of concrete for restoration interventions on buildings of Byzantine Era-evaluation of their chemical and mechanical characteristics. *Advances in Concrete through Science and Engineering, International RILEM Spring D-032*, Evanston, Illinois, Proceeding in CD-ROM.
 132. Moropoulou, A., Alexakis, E., Delegou, E.T., Lampropoulos, K.C., Apostolopoulou, M. (2017). Monitoring tool of the works progress and assessment of materials and rehabilitation interventions at the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre”, *Proceedings of the Second International RILEM/COST Conference On Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures (EAC2) conference, Brussels, Belgium, 12-14/9/2017*, ed. Stéphanie Staquet and Dimitrios Aggelis, RILEM Publications S.A.R.L., Paris, France, Volume 1, 29-38.
 133. Moropoulou, A., Apostolopoulou, M., Moundoulas, P., Karoglou, M., Delegou, E., Lampropoulos, K., Gritsopoulou, M. Bakolas, A. (2015). The combination of NDTs for the diagnostic study of historical buildings: the case of Kaisariani Monastery. *Proceedings of the COMPDYN*.
 134. Moropoulou, A., Avdelidis, N.P., Aggelakopoulou, E., Griniezakis, S., Kou, M., Aggelopoulos, A., Karmis, P., Uzunoglou, N.K. (2001). Examination of plastered mosaic surfaces using NDT techniques. *INSIGHT J. of the British Institute of non-destructive testing*, 43 (4), 241-243,
 135. Moropoulou, A., Avdelidis, N.P., Delegou, E.T., Gill, C.H., Smith, J. (2002). Study of deterioration mechanisms of vitreous tesserae mosaics. *Scienza e Beni Culturali XVIII*, ed. G. Biscontin, G. Driussi, Publ. Arcadia Ricerche, pp. 843-851.
 136. Moropoulou, A., Avdelidis, N.P., Karoglou, M., Delegou, E.T., Alexakis, E., Keramidas, V., “Multispectral Applications of Infrared Thermography in the Diagnosis and Protection of Built Cultural Heritage”, *Applied Sciences* 8 [2] (2018) 284.
 137. Moropoulou, A., Bakolas A., Aggelakopoulou, E., Odatzidou, A., Teas Ch., Papageorgiou D. (2005). Estimation of elastic constants of restoration mortars, used on

-
- historic masonries restoration interventions, via ultrasonic technique and correlation to their mechanical and microstructure parameters. *Materials Issues in Art and Archaeology VII*, Vol. 852, eds P. Vandiver, J.L. Mass and A. Murray, Materials Research Society, Pittsburgh, pp. 115-120.
138. Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E. (2001). The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of the quicklime. *Cement and Concrete Research*, 31, 633-639.
 139. Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E. (2004). Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolana by thermal analysis. *Thermochimica Acta*, 420, 135-140.
 140. Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S. (2005). Composite materials in ancient structures. *Cement and concrete composites*, 27(2), 295-300.
 141. Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K. (1995a). Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies. *Thermochimica Acta*, 2570, 743-753.
 142. Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K. (1995b). Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal analysis and X-ray diffraction techniques. *Thermochimica Acta*, 269/270, pp. 779-795
 143. Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K. (2000a). Investigation of the technology of historic mortars, *J. Cultural Heritage*, 1, 45-58.
 144. Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K. (2000b). Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structures. *Construction and Building Materials*, 14, 35-46.
 145. Moropoulou, A., Bakolas, A., Karoglou, M., Delegou, E.T., Labropoulos, K.C., Katsiotis, N.S. (2013). Diagnostics and protection of Hagia Sophia mosaics. *Journal of Cultural Heritage*, 14, (3), 133-139.
 146. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou E., Anagnostopoulou, S. (2013). Optimization of compatible restoration mortars for the earthquake protection of Hagia Sophia", *Journal of Cultural Heritage*, 14 (3), 147-152.
 147. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E. (2009). Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars. International RILEM Workshop on Repairs Mortars for Historic Masonry, RILEM Publications SARL, pp. 278-291.
 148. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E. (2005). Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars. *Repair Mortars in Historic Masonries, Workshop RILEM, TC RMH*, Delft, 2005.
 149. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Anagnostopoulou, S. (2005). Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries. *Cement and concrete composites*, 27(2), 289-294.
 150. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Anagnostopoulou, S. (2002). Design and evaluation of restoration mortars for historic masonry using traditional materials and production techniques. In: *Materials Issues in Art and Archaeology VI*, Vol. 712, eds P. Vandiver, M. Goodway, J.R. Druzik, J.L. Mass, Materials Research Society, Pittsburgh, pp. 77-82.
 151. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Anagnostopoulou, S., Aggelakopoulou, E. (2000). Compatible restoration mortars for the earthquake protection of Hagia Sophia. *PACT, Revue du groupe européen, d'études pour les techniques physiques, chimiques, biologiques et mathématiques appliquées à l'archéologie—Conseil de l'Europe*, Athens, Vol. 59, pp. 29-51.

152. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Çakmak A.S. (1998). Compatible restoration mortars, preparation and evaluation for Hagia Sophia earthquake protection. In: *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 56, 79-118.
153. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Michailidis, P. (2002). Evaluation of the compatibility between repair mortars and building materials in historic structures by the control of the microstructure of cement-based systems. *Conc. Sci. Engineer.*, 2, 191-195.
154. Moropoulou, A., Biscontin, G., Bakolas, A., Bisbikou, K. (1997). Technology and behavior of rubble masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 11 (2), 119-129.
155. Moropoulou, A., Çakmak, A., Biscontin, G. (2002). Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick lime mortars of Justinian's Hagia Sophia. *Construction and Building Materials*, 16, 543–552.
156. Moropoulou, A., Çakmak, A., Labropoulos, K.C., Van Grieken, R., Torfs, K. (2004). Accelerated microstructural evolution of a calcium-silicate-hydrate (C-S-H) phase in pozzolanic pastes using fine siliceous sources: comparison with historic pozzolanic mortars. *Cement and Concrete Research*, 34, 1-6.
157. Moropoulou, A., Çakmak, A.S., Bakolas, A., Labropoulos, K., Bisbikou K. (1995). Properties and technology of the crushed brick mortars of Hagia Sophia. In: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering VII*, ed. A.S. Çakmak and C.A. Brebbia, Computational Mechanics Publications, Southampton, pp. 651-661.
158. Moropoulou, A., Çakmak, A.S., Biscontin, G., Bakolas, A., Zendri, E. (2002). Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: The crushed brick/lime of Justinian's Hagia Sophia. *Construction and Building Materials*, 16 (2002) 543-552.
159. Moropoulou, A., Çakmak, A.S., Polykreti, K. (2002). Provenance and technology investigations of the Hagia Sophia bricks. *J. American Ceramic Society*, 85 (2), 366-372.
160. Moropoulou, A., Christaras, B., Lavas, G., Penelis, G., Zias, N., Biscontin, G., Kollias, E., Paisios, A., Theoulakis, P., Bisbikou, A., Bakolas, A., Theodoraki, A. (1993). Weathering phenomena on the Hagia Sophia Basilica Constantinople. In: *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings III*, ed. C.A. Brebbia, R.J.B. Frewer, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston, pp. 47-66.
161. Moropoulou, A., Delegou, E.T., Apostolopoulou, M., Kolaiti, A., Papatrechas, C., Economou, G., Mavrogonatos, C. (2019). The White Marbles of the Tomb of Christ in Jerusalem: Characterization and Provenance. *Sustainability* 11 (9), 2495.
162. Moropoulou, A., Delegou, E.T., Ntoutsis, I., Apostolopoulou, M. (2017). Analytical and Technological Investigation of the Paintings and other Decorative Elements of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre in Jerusalem. *TECHNART – Non-destructive and microanalytical techniques in Art and Cultural Heritage* [Bilbao, Portugal, 2-6/5/2017]
163. Moropoulou, A., Farmakidi, C.M., Lampropoulos, K., Apostolopoulou, M. (2018). Interdisciplinary Planning and Scientific Support to Rehabilitate and Preserve the Values of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre in Interrelation with Social Accessibility. *Sociology and Anthropology*, 6, 534-546.
164. Moropoulou, A., Georgopoulos, A., Korres, M., Bakolas, A., Labropoulos, K., Agrafiotis, P., Delegou, E.T., Moundoulas, P., Apostolopoulou, M., Lambrou, E., Pantazis, G., Kotoula, L., Papadaki, A., Alexakis, Em. (2017). Five-Dimensional (5D) Modelling of the Holy Aedicule of the Church of the Holy Sepulchre Through an Innovative and

-
- Interdisciplinary Approach», in: *Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage*, Eds. M. Ioannides, N. Magnenat-Thalmann and G. Papagiannakis, Springer International Publishing, pp. 247-270.
165. Moropoulou, A., Karoglou, M., Agapakis, I., Mouzakis, C., Asimakopoulos, S., Pantazis, G., Lambrou E. (2019). Structural health monitoring of the Holy Aedicule in Jerusalem” *Structural Control and Health Monitoring* 26 (6), 2387.
 166. Moropoulou, A., Koroneos, C., Karoglou, M., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A., Dompros, A., (2006). Life cycle analysis of mortars and its environmental impact. In: *Life Cycle Analysis Tools for “Green” Materials and Process Solution*, Vol. 895, eds S. Papasavva and V. Fthnakis, Materials Research Society, Pittsburgh, pp. 235-241.
 167. Moropoulou, A., Korres, E., Georgopoulos, A., Spyrakos, C., Mouzakis, Ch., Lampropoulos, K.C., Apostolopoulou, M., Delegou, E.T., Alexakis, Emm., Kioussi, A., Papandreu, A., Sesana, I., Lampropoulou, A. (2017). Il restauro della Tomba di Cristo: Interventi di Conservazione, Rinforzo e Riparazione per il Restauro dell’ Edicola del Santo Sepolcro a Gerusalemme”. *Salvaguardare la Memoria per Immaginare il Future. Lectio Magistralis, Atte della III edizione delle Giornate di Archeologia e Storia del vicino e medio Oriente. Milano, Biblioteca Ambrosiana, Fondazione Terra Santa – Milano, 5-6 maggio 2017*, 101-118.
 168. Moropoulou, A., Korres, E., Georgopoulos, A., Spyrakos, C., Mouzakis, Ch., Lambrou, E., Pantazis, G., Kavvadas, M., Marinos, P., Moropoulos, N., Zafeiris, V., Lampropoulos, K., Apostolopoulou, M., Maniatakis, Ch., Agapakis, M., Agapakis, J., Fragkiadoulakis, A. (2017). Faithful Rehabilitation. *Civil Engineering – The American Society of Civil Engineers*, 87 (10), 54-61,78.
 169. Moropoulou, A., Korres, E., Georgopoulos, A., Spyrakos, C., Mouzakis, Ch., Lampropoulos, K.C., Apostolopoulou, M., Delegou, E.T., Alexakis, Emm. (2017). The rehabilitation of the Holy Aedicule. *Scienza e Beni Culturali XXXIII Le Nuove Frontiere del Restauro: Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni*, eds G. Biscontin, G. Driussi, Publ. Arcadia Ricerche, 1-16.
 170. Moropoulou, A., Korres, M., Georgopoulos, A., Spyrakos, C., Mouzakis, C., Lampropoulos, K. C., Apostolopoulou, M. (2019). The Project of the Rehabilitation of Holy Sepulchre’s Holy Aedicule as a Pilot Multispectral, Multidimensional, Novel Approach Through Trans disciplinarity and Cooperation in the Protection of Monuments. In: *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, eds. A. Moropoulou, M. Korres, A. Georgopoulos, C. Spyrakos, Ch. Mouzakis, Springer, Communications in Computer and Information Science, vol 961, 3-25.
 171. Moropoulou, A., Kouï, M., Avdelidis, N.P. (2000). Infrared thermography as a NDT tool in the evaluation of materials & techniques for the protection of historic monuments. *INSIGHT, J. of the British Institute of non-destructive testing*, 42 (6), 379-383.
 172. Moropoulou, A., Kouï, M., Avdelidis, N.P., Delegou, E.T., Aggelakopoulou, E., Karoglou, M., Karmis, P., Aggelopoulos, A., Griniezakis, S., Karagianni, E.A., Uzunoglou, N.K. (2000). Investigation for the compatibility of conservation interventions on Hagia Sophia mosaics using NDT techniques. *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 59, 103-120.
 173. Moropoulou, A., Kouï, M., Kourteli, Ch., Zezza, F., et al. (1997). Techniques and methodology for the preservation and environmental management of historic complexes – the case of the Medieval City of Rhodes. In: *Proceedings of the 4th international*

-
- symposium on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin*, A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias, I. Papachristodoulou (Eds.), vol. 4, Technical Chamber of Greece, Rhodes, 603-634.
174. Moropoulou, A., Labropoulos, K., Alexakis, E., Delegou, E.T., Moundoulas, P., Apostolopoulou, M., Bakolas, A. (2016). Evaluation of the preservation state of the Holy Aedicule in the Holy Sepulchre Complex in Jerusalem. In: *Proc. 13th Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, eds. J.J. Hughes and T. Howind, Univ. of Scotland, Paisley, 2, 1219-1226.
 175. Moropoulou, A., Labropoulos, K., Alexakis, E., Delegou, E.T., Moundoulas, P., Apostolopoulou, M., Bakolas, A. (2016). Evaluation of the Preservation State of the Holy Aedicule in the Holy Sepulchre Complex in Jerusalem. 13th International Congress on Deterioration & Conservation of Stone, Paisley, United Kingdom.
 176. Moropoulou, A., Labropoulos, K.C., Delegou, E. T., Karoglou, M., Bakolas, A. (2013). Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. *Construction and Building Materials*, 48, 1222-1239.
 177. Moropoulou, A., Lampropoulos, K., Apostolopoulou, M., & Tsilimantou, E. (2021). Novel, Sustainable Preservation of Modern and Historic Buildings and Infrastructure. The Paradigm of the Holy Aedicule's Rehabilitation. *International Journal of Architectural Heritage*, 15(6), 864–884.
 178. Moropoulou, A., Lampropoulos, K., Rallis, I., Doulamis, A. (2022). Scientific Architecture of the educational toolkit of the project EDICULA", in: *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, Eds. A. Moropoulou, A. Georgopoulos, A. Doulamis, M. Ioannides, A. Ronchi. Communications in Computer and Information Science (CCIS), Vol. 1574, Springer, p. 3-16.
 179. Moropoulou, A., Moropoulos, N. (2019). Governance and Management of the Holy Edicule Rehabilitation Project. In: *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, eds. A. Moropoulou, M. Korres, A. Georgopoulos, C. Spyarakos, Ch. Mouzakis, Springer, CCIS, vol 961, 78-102.
 180. Moropoulou, A., Polikreti, (2009). Principal component analysis in monument conservation: Three application examples. *Journal of Cultural Heritage*, 10, 73-81.
 181. Moropoulou, A., Polikreti, K., Bakolas, A., Michailidis, P. (2003). Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics. *Cement and concrete research*, 33 (6), 891-898.
 182. Moropoulou, A., Tsiourva, T., Bisbikou, K., Biscontin, G., Bakolas, A., Zendri, E. (1996). Hot lime technology imparting high strength to historic mortars. *Construction and Building Materials*, 10 (2), 151-159.
 183. Moropoulou, A., Zacharias, N., Delegou, E. T., Apostolopoulou, M., Palamara, E., Kolaiti, A. (2018). OSL mortar dating to elucidate the construction history of the Tomb Chamber of the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre in Jerusalem. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 19, 80-91.
 184. Moropoulou, A., Zacharias, N., Delegou, E.T., Maróti, B., Kasztovszky, Zs. (2016). Analytical and technological examination of glass tesserae from Hagia Sophia. *Microchemical Journal* 125, 170-184.
 185. Moropoulou, A., Zendri, E., Ortiz, P., Delegou, E. T., Ntoutsis, I., Balliana, E., Becerra, J., Ortiz, R. (2019). Scanning Microscopy Techniques as an Assessment Tool of Materials and Interventions for the Protection of Built Cultural Heritage. *Scanning*, 5376214.
 186. Moropoulou, A.I., Labropoulos, K.C. (2015). Non-Destructive Testing for Assessing Structural Damage and Interventions Effectiveness for Built Cultural Heritage Protection.

-
- In: *Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures*, Eds P.G. Asteris, V. Plevris, IGI-Global, Hershey, PA, USA, 448-499.
187. Moropoulou, A.I., Labropoulos, K.C., Katsiotis, N.S. (2012). Application of ground penetrating radar for the assessment of the decay state of Hagia Sophia's mosaics. In: *Emerging Technologies in Non-Destructive Testing V*, ed. A.S. Paipetis, T.E. Matikas, D.G. Aggelis, D. Van Hemelrijck, Publ. Balkema, Taylor & Francis Group, pp. 25-30.
 188. Moropoulou, A.I., Labropoulos, K.C., Katsiotis, N.S. (2012). Assessing the preservation state and revealing plastered mosaics in Hagia Sophia using Ground Penetrating Radar. *Journal of Materials Science and Engineering A* [2] 183-189.
 189. Mosquera, M.J., Benitez, D., Perry, S.H. (2002). Pore structure in mortars applied on restoration – Effect on properties relevant to decay of granite buildings. *Cem. Concr. Res.*, 32, 1883-1888.
 190. Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S. (2013). Historic Building Information Modelling (HBIM): Adding Intelligence to Laser and Image-Based Surveys of European Classical Architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102.
 191. Orbaşlı, A. (2008). *Architectural Conservation: Principles and Practice*. Oxford: Blackwell Science.
 192. Pérez-Gracia, V., Caselles, J. O., Clapés, J., Martinez, G., Osorio, R. (2013). Non-destructive analysis in cultural heritage buildings: Evaluating the Mallorca cathedral supporting structures. *NDT & E International*, 59, 40-47.
 193. Potsiou, C., Ioannidis, C., Soile, S, Boutsis, A-M., Chliverou, R, Apostolopoulos, K., Gkeli, M., (2023). Geospatial Tool Development for the Management of Historical Hiking Trails - The Case of the Holy Site of Meteora. *Land*, 12(8), 1530.
 194. Psalti, A., Tsakoumaki, M., Andriotakis, G., Vobiri, J., Mouzakis, C., Moropoulos, N., Keramidas, V., Apostolopoulou, M., Delegou, E., Moropoulou A. (2022). Interdisciplinary Project for the Catholicon Rehabilitation of the Varnakova Monastery. *Scientific Culture*, 8 (2), 109-134.
 195. Rakanta, E., Daflou, E., Zacharopoulou, A., Batis, G., Moropoulou, A. (2019). Corrosion protection study of metallic structural elements for the Holy Aedicule in Jerusalem. In: *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, eds. A. Moropoulou, M. Korres, A. Georgopoulos, C. Spyarakos, Ch. Mouzakis, Springer, CCIS, vol 961, 58-68.
 196. Reddy, K.R., Pancharathi, R. K., Reddy, N.G., Arukala, S.R. (Eds). (2022). *Advances in Sustainable Materials and Resilient Infrastructure*. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering, Springer.
 197. Roumeliotis, S., Lampropoulos, K., Delegou, E., Tsilimantou, E., Keramidas, V., Bakolas, A., Moropoulou, A. (2024). Enhanced documentation and evaluation of grouting process, through the fusion of non-destructive testing and evaluation information - the case study of the katholikon of the monastery of Panagia Varnakova. *Buildings*, 14 (3), 814.
 198. Sağın, E. U., Böke, H., Aras, N., Yalçın, Ş. (2012). Determination of CaCO₃ and SiO₂ content in the binders of historic lime mortars. *Materials and Structures*, 45 (6), 841-849.
 199. Sakellaris, E., Siountri, K., Anagnostopoulos, C.N. (2021). Conservation of Greek Neoclassical Facade Elements through Their Integration in a HBIM Library. In: *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*. Springer, pp. 98–109.
 200. Sasse, H.S., Snethlage, R. Methods for the evaluation of stone conservation treatments, in: N.S. Baer, R. Snethlage (Eds.). (1996). *Report of Dahlem Workshop, Saving our*

-
- Architectural Heritage: the conservation of historic of stone structures*, Berlin, pp. 223–243.
201. Schueremans, L., Ö. Cizer, E. Janssens, G. Serré, K.V. Balen. (2011). Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: research and practice. *Constr. Build. Mater.*, 25 (12), 4338-4350.
 202. Siddique, R., Klaus, J. (2009). Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: a review, *Appl. Clay Sci.*, 43, 392–400.
 203. Spyrakos, C., Maniatakis, Ch. (2006). Retrofitting of a Historic Masonry Building. In: *Proceedings of the 10th Nat. and 4th Int. scientific meeting on Planning, Design, Construction and Renewal in the construction industry* iNDiS 2006, 535-544.
 204. Spyrakos, C., Maniatakis, Ch. (2016) Assessment of current condition under static and seismic loading for the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre. In: Moropoulou, A., Korres, Emm., Georgopoulos, A., Spyrakos, C. (eds) *Materials and Conservation, Reinforcement and Rehabilitation Interventions in the Holy Edicule of the Holy Sepulchre*, NTUA, ISBN: 978-618-82612-0-4.
 205. Spyrakos C., Maniatakis Ch., Moropoulou A., (2019). Preliminary assessment of the structural response of the Holy Tomb of Christ under static and seismic loading. In: *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, eds. A. Moropoulou, M. Korres, A. Georgopoulos, C. Spyrakos, Ch. Mouzakis, Springer, CCIS, vol 961, pp. 44-57.
 206. Stefanidou, M., Papayianni, I., Pacht, V. (2012). Evaluation of inclusions in mortars of different historical periods from Greek monuments. *Archaeometry*, 54 (4), 737-751.
 207. Stefanidou, M., Pavlidou, E. (2018). Scanning Mortars to Understand the Past and Plan the Future for the Maintenance of Monuments. *Scanning*, 2018:7838502
 208. Stubbs, J.H. *Time Honored: A Global View of Architectural Conservation*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2009.
 209. Tapinaki, S., Pateraki, M., Skamantzari, M., and Georgopoulos, A. (2023). Conventional or Automated Photogrammetry for Cultural Heritage Documentation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-2-2023, 1535–1542.
 210. Tapinaki, S., Skamantzari, M., Anastasiou, A., Koutros, S., Syrokou, E., and Georgopoulos, A. (2021). 3D Holistic Documentation of Heritage Monuments in Rhodes. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVI-M-1-2021, 739–744.
 211. TC 203-RHM (Main author: John J. Hughes) (2012). RILEM TC 203-RHM: Repair mortars for historic masonry: The role of mortar in masonry: an introduction to requirements for the design of repair mortars. *Materials and structures*, 45, 1287-1294.
 212. Thomson, M. L., Lindqvist, J. E., Elsen, J., Groot, C. J. W. P. (2004). Porosity of historic mortars. In: *13th International Brick and Block Masonry Conference Amsterdam*.
 213. Thomson, M., Lindqvist, J. E., Elsen, J., Groot, C. J. W. P. (2004). 2.5 Porosity of mortars. *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair-Final Report of RILEM TC 167-COM*, 77-106.
 214. Togkalidou, T., Moropoulou, A., Karoglou, M., Padouvas, E., & Chandakas, B. (2003). System for Conservation Management of Historic Buildings incorporating quality control principles. In: *ITECOM Conference on „Innovative Technologies and Materials for the Protection of Cultural Heritage, Industry, Research, Education: European Acts and Perspectives”, Technical Chamber of Greece, Athens*, pp. 365-376,
 215. Tsilimantou, E., Delegou, E.T., Nikitakos, I.A., Ioannidis, C., Moropoulou, A. (2020). GIS and BIM as Integrated Digital Environments for Modeling and Monitoring of Historic Buildings. *Appl. Sci.*, 10, 1078.

-
216. Válek, J., Veiga, R. (2005). Characterisation of mechanical properties of historic mortars—testing of irregular samples. *WIT Transactions on The Built Environment*, 83, 365-374
 217. Van Balen, K., Papayianni, I., Van Hees, R., Binda, L., Waldum, A. (2005). Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars. *Mater. Struct.*, 38, 781-785.
 218. Veiga, M. R., Aguiar, J., Silva, A. S., Carvalho, F. (2001). Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. In: *Proceedings of the 3rd International Seminar Historical Constructions*, Guimarães, Portugal: University of Minho, pp. 353-362.
 219. Veiga, M. R., Velosa, A., Magalhães, A. (2009). Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: characterization and performance evaluation. *Construction and building materials*, 23 (1), 318-327.
 220. Velosa, A. L., Cachim, P. B. (2009). Hydraulic-lime based concrete: Strength development using a pozzolanic addition and different curing conditions. *Construction and Building materials*, 23 (5), 2107-2111.
 221. Ventola, L., Vendrell, M., Giraldez, P., Merino, L. (2011). Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabric, *Constr. Build. Mater.*, 25, 3313-3318.
 222. Vidovszky, I. (2016). Impact-based diagnostic approach for maintenance monitoring of historic buildings, *Proc. Eng.* 164, 575–582.
 223. Vuoto, A., Funari, M.F., Lourenço, P.B. (2024), Shaping Digital Twin Concept for Built Cultural Heritage Conservation: A Systematic Literature Review. *International Journal of Architectural Heritage*, 18(11), 1762–1795.
 224. Zacharias N., Moska, P., Triantafyllopoulos K., Delegou E.T., Apostolopoulou M., Karydas A.G., Moropoulou A., (2020). Technological and chronological study of mortar samples from Varnakova Monastery in Fokida. In: *6th ARCH_RNT Symposium "Archaeological Research & New Technologies"*, Ed. N. Zacharias, Kalamata, Greece, 45.
 225. Zhang, D., Zhao, J., Wang, D., Xu, C., Zhai, M., Ma, X. (2018). Comparative study on the properties of three hydraulic lime mortar systems: Natural hydraulic lime mortar, cement-aerial lime-based mortar and slag-aerial lime-based mortar. *Construction and Building Materials*, 186, 42-52.
 226. Zsolnai, L., Tencati, An. (eds.). (2009). The future international manager: a vision of the roles and duties of management. London: Palgrave.

Παράρτημα Β-Ι Μεθοδολογία χρήσης, θέματα εξοπλισμού, ρύθμισης παραμέτρων και επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων ΜΚΕ

I.1 ΜΚΕ με υπερήχους (UT)

A) Μεθοδολογία

Στις εφαρμογές πεδίου σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μέθοδοι υπερήχων, α) η μέθοδος ταχύτητας διάδοσης υπερηχητικού παλμού (Ultrasonic Pulse Velocity - UPV) και β) η μέθοδος παλμοηχούς (Ultrasonic Pulse Echo - UPE).

A.1 Μέθοδος ταχύτητας διάδοσης υπερηχητικού παλμού (Ultrasonic Pulse Velocity - UPV)

Βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου διαδρομής του υπερηχητικού κύματος μεταξύ ενός αισθητήρα εκπομπής (πομπού) και ενός αισθητήρα λήψης (δέκτη). Πραγματοποιείται με τρεις διατάξεις διάδοσης:

1. **Άμεση διάταξη:** Οι αισθητήρες τοποθετούνται ακριβώς απέναντι, σε παράλληλες επιφάνειες. Αποτελεί την πλέον αξιόπιστη διάταξη, καθώς ο παλμός διασχίζει όλο το πάχος του στοιχείου και επιτρέπει την ακριβή μέτρηση της ταχύτητας διάδοσης. Η διάταξη αυτή είναι δύσχρηστη σε εφαρμογές σε μνημεία, λόγω του σημαντικού πάχους των τοιχοποιιών και της σημαντικής απόσβεσης του υπερηχητικού παλμού λόγω των δομικών υλικών, και εφαρμόζεται με αξιοπιστία μόνο σε μικρού πάχους αρχιτεκτονικά μέλη ή σε δοκίμια υλικών σε εργαστηριακή κλίμακα.
2. **Ημι-άμεση διάταξη:** Οι αισθητήρες τοποθετούνται σε κάθετες επιφάνειες (π.χ. σε γωνίες τοιχοποιίας). Εφαρμόζεται όταν η άμεση μετάδοση είναι αδύνατη λόγω κατασκευαστικών και γεωμετρικών περιορισμών.
3. **Έμμεση διάταξη:** Πομπός και δέκτης τοποθετούνται στην ίδια επιφάνεια. Η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη διάταξη για επιτόπου μετρήσεις σε μνημεία, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των δυναμικών μηχανικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών στρώσεων, την αποκάλυψη των στρώσεων σε μικρά βάθη, και την εκτίμηση του βάθους ρωγμών.

A.2 Μέθοδος παλμοηχούς (Ultrasonic Pulse Echo - UPE)

Χρησιμοποιούνται προηγμένα συστήματα με ενσωματωμένες συστοιχίες (arrays) μορφοτροπέων (transducers) ξηράς επαφής. Η εκπομπή και η λήψη του σήματος πραγματοποιούνται από την ίδια επιφάνεια μέτρησης, και στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των ανακλάσεων (ηχώ) που προκαλούνται από εσωτερικές διεπιφάνειες ή από την απέναντι πλευρά του εξεταζόμενου αρχιτεκτονικού στοιχείου.

B) Σχεδιασμός και Υλοποίηση Επιτόπου Μετρήσεων

1. **Προετοιμασία επιφάνειας:** Πραγματοποιείται προκαταρκτικός μακροσκοπικός έλεγχος της τραχύτητας, της παρουσίας κρουστών ή βιολογικής επικάλυψης. Η συνήθης μέθοδος UPV απαιτεί επαφή (σύζευξη) των μορφοτροπέων με την επιφάνεια μέτρησης, ως εκ τούτου είτε χρησιμοποιείται υδατοδιαλύτο πήκτωμα (gel), είτε ειδικών ελαστικών μεμβρανών ξηράς σύζευξης. Σε προηγμένα συστήματα UPE γίνεται χρήση αισθητήρων ξηράς επαφής.
2. **Σχεδιασμός καννάβου μετρήσεων:** Για την παραγωγή τομογραφικών απεικονίσεων (2D ή 3D), σχεδιάζεται ένα πυκνό πλέγμα σημείων, το οποίο γεωαναφέρεται στα σχέδια του μνημείου ή στο 3D μοντέλο του εφόσον είναι διαθέσιμο. Οι αποστάσεις ανάμεσα στα

σημεία μέτρησης καθορίζονται βάσει των διαστάσεων του εξεταζόμενου αρχιτεκτονικού μέλους ή δοκιμίου, την επιδιωκόμενη διακριτική ικανότητα και τις διαστάσεις των μορφοτροπέων. Τυπικές αποστάσεις (βήμα καννάβου) είναι 5 – 20cm. Το βήμα καννάβου μειώνεται:

- Αν απαιτεί υψηλή διακριτική ικανότητα και 2D ή 3D ανάλυση
- Αν παρατηρείται σημαντική ανομοιογένεια υλικών ή προϊόντων φθοράς τους στην επιφάνεια
- Αν χρησιμοποιούνται μορφοτροπείς υψηλών συχνοτήτων, και επομένως μικρότερων διαστάσεων που επιτρέπουν την πύκνωση των μετρούμενων σημείων

Γ) Δισδιάστατη (2D) και τρισδιάστατη (3D) υπερηχητική τομογραφία

1. **2D Τομογραφία:** Πραγματοποιείται συλλογή πολλαπλών διασταυρούμενων μετρήσεων σε μια συγκεκριμένη οριζόντια ή κατακόρυφη «τομή» του εξεταζόμενου αρχιτεκτονικού μέλους. Στη συνέχεια μέσω εξειδικευμένων λογισμικών γίνεται επεξεργασία των χρόνων πρώτης άφιξης για την δημιουργία δισδιάστατης κατανομής των ταχυτήτων διάδοσης.
2. **3D Τομογραφία:** Προκύπτει είτε από τη συνένωση διαδοχικών παράλληλων 2D επιπέδων είτε από την πλήρη τρισδιάστατη χωρική διασταύρωση των μετρήσεων (3D ray-tracing) σε όλο τον όγκο. Το αποτέλεσμα είναι ένα 3D ψηφιακό μοντέλο ταχυτήτων. Στη συνέχεια το μοντέλο ταχυτήτων ερμηνεύεται για την αποκάλυψη στρώσεων, ύπαρξη κενών, ασυνεχειών, ρωγμών ή άλλων βλαβών.

Δ) Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Η ερμηνεία των μετρήσεων με τη μέθοδο των υπερήχων και ιδιαίτερα των υπερηχητικών τομογραφιών πρέπει να λαμβάνει υπόψη της διάφορους παράγοντες: ,

1. **Ανισοτροπία και ανομοιογένεια ιστορικών υλικών:** Τα φυσικά δομικά υλικά παρουσιάζουν συχνά σημαντική ανισοτροπία ως προς τις ιδιότητες τους (π.χ. προσανατολισμός στρώσεων σε φυσικούς λίθους), όσο και ως προς την χρήση τους σε τοιχοποιίες (προσανατολισμός δομολίθων, αργολιθοδομή, κλπ), με αποτέλεσμα η ταχύτητα των υπερήχων να διαφέρει ανάλογα με την κατεύθυνση της μέτρησης. Επιπρόσθετα, τα ιστορικά έχουν υποστεί ανομοιογενή φθορά, η οποία δεν είναι πάντοτε διακριτή, και η οποία δύναται να ερμηνευθεί ως συνύπαρξη διαφορετικών υλικών (διαφορετικών ταχυτήτων διάδοσης) ή εσωτερικών ασυνεχειών.
2. **Αντιστοίχιση με φυσικές οντότητες:** Καθώς η διάδοση, διάχυση και απόσβεση των υπερηχητικών κυμάτων εξαρτάται πρωτίστως από το πόσο συμπαγές είναι το υλικό μέσω του οποίου διαχέεται ο παλμός, σε υλικά που έχουν διαφορετική δομή και σύσταση αλλά παρόμοια ταχύτητα διάδοσης παλμού είναι δύσκολο να ανιχνευθούν τα πραγματικά όρια της διεπιφάνειας τους. Κατ' ουσία, με την μέθοδο υπερήχων καταγράφεται η επίδραση μιας κατανομής πυκνοτήτων ενός μετρούμενου όγκου υλικού. Όσο πιο διακριτή είναι αυτή η κατανομή πυκνοτήτων τόσο πιο ευδιάκριτα και τα όρια (διεπιφάνεια) μεταξύ των υλικών ή τα όρια μεταξύ του υγιούς μητρικού υλικού και της παρατηρούμενης ασυνέχειας ή βλάβης.
3. **Κίνδυνοι κατά την οπτικοποίηση μετρήσεων σε περιβάλλοντα επαυξημένης (AR) ή εικονικής (VR) πραγματικότητας ή σε αποτελέσματά 3D τομογραφίας υπερήχων:** Τα εργαλεία AR/VR προβάλλουν 3D ογκομετρικά δεδομένα (volume rendering) με λείες χρωματικές διαβαθμίσεις εντός του εξεταζόμενου όγκου. Αυτή η οπτικοποίηση μπορεί να δημιουργήσει την εσφαλμένη εντύπωση ότι τα όρια μιας εσωτερικής βλάβης είναι απόλυτα

γεωμετρικά ορισμένα, ενώ στην πραγματικότητα αποτελούν προϊόν μαθηματικής προσέγγισης και παρεμβολής (interpolation).

I.2 Υπέρυθρη θερμογραφία (IRT)

A) Αρχή λειτουργίας και κρίσιμες παράμετροι ανάλυσης θερμογραφημάτων στα μνημεία

Η λειτουργία της υπέρυθρης θερμογραφίας (Infrared Thermography - IRT) βασίζεται στην καταγραφή της εκπνεπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της εξεταζόμενης περιοχής του μνημείου και τη μετατροπή της σε ψηφιακό θερμικό χάρτη (θερμογράφημα). Η θεμελιώδης φυσική παράμετρος λειτουργίας είναι ο συντελεστής εκπομπής (ϵ) του υλικού, που ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπει η επιφάνεια προς την ενέργεια που θα εξέπεμπε ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία. Για τα περισσότερα υλικά μνημείων ο συντελεστής εκπομπής λαμβάνει τιμές από 0,85 έως 0,95, με σχετικούς πίνακες να είναι διαθέσιμοι στα εγχειρίδια χρήσης των θερμοκαμερών. Εντούτοις, ο ακριβής προσδιορισμός του συντελεστή εκπομπής στα υλικά και τις επιφάνειες μνημείων είναι δύσκολος:

1. Ανομοιογένεια υλικών και προϊόντων φθοράς τους: Οι επιφάνειες των μνημείων αποτελούνται συνήθως από διαφορετικά υλικά, με διαφορετικό συντελεστή εκπομπής, επομένως δεν είναι αποτελεσματική η χρήση ενός ενιαίου συντελεστή για όλη την επιφάνεια, ενώ παράλληλα η φθορά των υλικών (επικαθήσεις, κρούστες, ρηγματώσεις κλπ.) μεταβάλλει τον συντελεστή εκπομπής ανομοιογενώς. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ακριβής και υψηλής ανάλυσης θερμογραφικός έλεγχος, ο ακριβής προσδιορισμός του συντελεστή εκπομπής για κάθε υλικό είναι αναγκαίος.
2. Διακυμάνσεις υγρασίας: Η παρουσία επιφανειακής υγρασίας και η ανομοιογενής κατανομή της μεταβάλλει δραματικά τον συντελεστή εκπομπής και ταυτόχρονα προκαλεί ψύξη λόγω εξάτμισης, παραμορφώνοντας την πραγματική θερμική εικόνα.
3. Τραχύτητα και γεωμετρία φθοράς: Η έντονη ανάγλυφη υφή (π.χ. λαξευτοί λίθοι, διαβρωμένοι αρμοί) προκαλεί τοπικές μεταβολές στην εκπομπή λόγω του φαινομένου της "κοιλότητας" (cavity effect), όπου οι μικροκοιλότητες συμπεριφέρονται ως τεχνητά μέλανα σώματα αυξάνοντας πλασματικά την τιμή του συντελεστή εκπομπής.

Για την εφαρμογή της μεθόδου στα μνημεία προτείνονται οι ακόλουθες πρακτικές βαθμονόμησης:

- Μέθοδος της ταινίας αναφοράς (Reference Tape Method): Επικολλάται στην υπό εξέταση επιφάνεια ειδική ματ ταινία γνωστού και υψηλού συντελεστή εκπομπής ($\epsilon=0.95$). Αφού το σύστημα έρθει σε θερμική ισορροπία, μετράται η θερμοκρασία στην ταινία. Στη συνέχεια, στο λογισμικό της κάμερας, μεταβάλλεται η τιμή του ϵ για τη γειτνιάζουσα επιφάνεια μέχρι η αναγραφόμενη θερμοκρασία να ταυτιστεί με αυτή της ταινίας.
- Βαθμονόμηση με θερμόμετρο επαφής: Χρησιμοποιείται ένα βαθμονομημένο θερμόμετρο επαφής για τη μέτρηση της πραγματικής θερμοκρασίας ενός σημείου της τοιχοποιίας. Ακολουθώντας, ρυθμίζεται ο συντελεστής εκπομπής στην θερμοκάμερα ώστε να δείχνει την ίδια ακριβώς τιμή θερμοκρασίας στο συγκεκριμένο σημείο.

B) Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων (Raw Data)

Η επεξεργασία των πρωτογενών θερμικών δεδομένων πρέπει να εκτελείται από πιστοποιημένους χειριστές με εξειδικευμένα λογισμικά θερμικής ανάλυσης. Η διαδικασία αναφέρεται στα ακόλουθα στάδια:

1. Διόρθωση παραμέτρων εισαγωγής: Στο λογισμικό επεξεργασίας, ο χειριστής πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αλλάξει εκ των υστέρων τις τιμές του συντελεστή εκπομπής, ε και της ανακλώμενης θερμοκρασίας για συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος. Αυτό είναι κρίσιμο σε εφαρμογές IRT σε μνημεία, καθώς επιτρέπει την εφαρμογή διαφορετικών τιμών συντελεστή για τα εκάστοτε παρατηρούμενα υλικά και προϊόντα φθοράς τους.
2. Ρύθμιση Θερμικού Εύρους και Επιπέδου: Η αυτόματη ρύθμιση της κάμερας στο πεδίο πρέπει να αποφεύγεται, καθώς το εύρος θερμοκρασιών συχνά επηρεάζεται από ένα πολύ θερμό ή ψυχρό σημείο (π.χ. τον ουρανό, ένα φωτιστικό σώμα, μια σημειακή πηγή θέρμανσης). Η χειροκίνητη μείωση του θερμικού εύρους κρίνεται απαραίτητη για την αποκάλυψη υπό-επιφανειακών ασυνεχειών (όπως οι αποκολλήσεις).
3. Επιλογή κατάλληλης χρωματικής παλέτας:
 - ο Η πολυχρωματική παλέτα προτείνεται για τον εντοπισμό υγρασιών και δομικών στοιχείων, καθώς προσφέρει έντονη χρωματική αντίθεση που διευκολύνει την αποκάλυψη θερμοκρασιακών διακυμάνσεων.
 - ο Η παλέτα κλίμακας του γκρι προτείνεται για την ανάλυση λεπτών ρωγμών και την αξιολόγηση τοιχογραφιών, καθώς αναγνωρίζονται ευκολότερα οι λεπτές τονικές διαβαθμίσεις χωρίς τις απότομες αλλαγές χρωμάτων.

Γ) Διατάξεις υπέρυθρης θερμογραφίας που χρησιμοποιούνται για τον ΜΚΕ μνημείων

Ένα τυπικό σύστημα υπέρυθρης αποτελείται από τη θερμογραφική κάμερα, τους φακούς (ευρυγώνιους ή τηλεφακούς αναλόγως της απόστασης από το μνημείο), το σύστημα βαθμονόμησης (blackbody / πλάκες αναφοράς), διατάξεις τεχνητής διέγερσης για την ενεργητική θερμογραφία (λαμπτήρες flash, προβολείς αλογόνου, θερμαντικά σώματα) και το λογισμικό επεξεργασίας.

Χρησιμοποιούνται ευρέως οι ακόλουθες δύο διατάξεις:

1. Παθητική Θερμογραφία (Passive IRT): Η καταγραφή γίνεται υπό φυσικές συνθήκες θερμικής ισορροπίας ή μεταβολής, εκμεταλλευόμενη αποκλειστικά το φυσικό περιβάλλον (π.χ. την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας ή τη φυσική ψύξη κατά τη διάρκεια της νύχτας). Εφαρμόζεται κυρίως για τον εντοπισμό υγρασίας, μεγάλων δομικών ασυνεχειών και τον έλεγχο εξωτερικών όψεων.
2. Ενεργητική Θερμογραφία (Active IRT): Απαιτεί την εφαρμογή εξωτερικής πηγής τεχνητής θερμικής διέγερσης (thermal stimulation), όπως προβολείς αλογόνου, θερμαντικά σώματα υπέρυθρης ακτινοβολίας, για τη δημιουργία τεχνητής θερμικής ροής στο εσωτερικό του στοιχείου. Η διάδοση του θερμικού κύματος παρεμποδίζεται από υπο-επιφανειακά κενά ή αποκολλήσεις (λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του εγκλωβισμένου αέρα), δημιουργώντας επιφανειακές θερμικές διαφορές που ανιχνεύονται από την θερμοκάμερα. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τον εντοπισμό αποκολλήσεων σε τοιχογραφίες και λεπτά επιχρίσματα ρηχού βάθους.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου IRT στα μνημεία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο περιβάλλον χώρος τους, η γεωμετρική τους μορφή, και ο τρόπος κατασκευής τους, καθώς μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων:

1. Σκίαση: Σε περιοχές έντονης σκίασης, τα σκιασμένα τμήματα του κτιρίου βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία σε σχέση με τα εκτεθειμένα στον ήλιο, δυσχεραίνοντας την μελέτη της θερμουγκρικής συμπεριφοράς στις περιοχές αυτές σε σχέση με τις γειτονικές

- τους. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται εγγύτερα θερμογραφήματα χωρίς σημαντικές διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας της εκάστοτε εξεταζόμενης περιοχής.
2. Θερμική αδράνεια μεγάλων μαζών: Οι ιστορικές τοιχοποιίες έχουν συχνά μεγάλο πάχος. Η μέθοδος IRT είναι κατ' ουσίαν επιφανειακή / ελαφρά υπό-επιφανειακή (ανιχνεύει βλάβες σε βάθη λίγων εκατοστών, ανάλογα με τη θερμική διάχυση). Για τη διερεύνηση βαθύτερων στοιχείων απαιτούνται πολύ μεγάλα χρονικά παράθυρα παρακολούθησης (transit thermography) για να γίνει διακριτή η όποια ροή θερμότητας στο εσωτερικό της εξεταζόμενης μάζας του κτιρίου (π.χ. μετάβαση από την ημέρα στη νύχτα).
 3. Ανακλώμενη φαινόμενη θερμοκρασία (Reflected Apparent Temperature): Τα ιστορικά υλικά περιβάλλονται συχνά από άλλα στοιχεία. Σε εσωτερικούς χώρους (π.χ. ναούς), θερμά σώματα (τεχνητός φωτισμός, κεριά, ανθρώπινη παρουσία) ανακλώνται στις επιφάνειες, δημιουργώντας ψευδείς θερμικές ανωμαλίες

Δ) Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτόπου μετρήσεων IRT

Η αποτελεσματικότητα της θερμογραφικής αποτύπωσης εξαρτάται από πρακτικούς περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό των μετρήσεων:

1. Υγρασία και βροχόπτωση: Να αποφεύγεται η εκτέλεση μετρήσεων κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά από βροχόπτωση, καθώς η επιφανειακή υγρασία λειτουργεί ως θερμική ασπίδα, ενώ η αναμενόμενη ψύξη λόγω εξάτμισης δεν επιτρέπει την αποτελεσματική ανίχνευση κάθε άλλης θερμικής ανωμαλίας που οφείλεται σε δομικές βλάβες ή φθορές.
2. Προσβασιμότητα και γωνία λήψης: Η λήψη πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο κάθετα στην εξεταζόμενη επιφάνεια. Γωνίες λήψης που διαφέρουν σημαντικά από την κάθετο πιθανά να εισάγουν σοβαρά σφάλματα, καθώς αυξάνεται η ανακλαστικότητα της επιφάνειας και μειώνεται ο φαινόμενος συντελεστής εκπομπής.
3. Βλάστηση και βιολογική κρούστα: Η ύπαρξη αναρριχώμενων φυτών, βιολογικής κρούστας ή η γειτνίαση με δέντρα που παρεμποδίζουν την άμεση οπτική επαφή της θερμοκάμερας με την εξεταζόμενη περιοχή πρέπει να αποφεύγονται, και αν είναι εφικτό και επιτρεπτό να απομακρύνεται καθώς δημιουργούν ιδιαίτερες συνθήκες μικροκλίματος μεταβάλλοντας την θερμοϋγκρική συμπεριφορά της εξεταζόμενης περιοχής.
4. Ηλιακή ακτινοβολία (Σκίαση έναντι απευθείας έκθεσης): Για την παθητική θερμογραφία, η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να λειτουργήσει ως πηγή θέρμανσης. Αντίστροφα, οι έντονες σκιάσεις (π.χ. από γειτονικές κατασκευές ή προεξοχές του μνημείου) δημιουργούν πλασματικές θερμικές μεταβολές.

Ε) Γεωαναφορά, παράλλαξη και 3D αντιστοίχιση ευρημάτων

Η γεωαναφορά των θερμογραφημάτων παρουσιάζει ιδιαίτερες προκλήσεις:

E.1 Συνδεδεμένο σύστημα γεωαναφοράς

Όταν η θερμοκάμερα δεν διαθέτει ενσωματωμένο GNSS/RTK ή όταν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους μνημείων, η αντιστοίχιση των θερμικών ανωμαλιών στην πραγματική θέση της εξεταζόμενης περιοχής του μνημείου δύναται να πραγματοποιείται ως εξής:

1. Χρήση θερμικών στόχων αναφοράς: Τοποθετούνται προσωρινά στην τοιχοποιίας μικροί στόχοι με πολύ χαμηλό συντελεστή εκπομπής (π.χ. τυποποιημένα αλουμινένια κυκλικά αυτοκόλλητα) ή τεχνητά θερμαινόμενοι στόχοι, οι θέσεις των οποίων αποτυπώνονται με Γεωδαιτικό Σταθμό (Total Station). Οι στόχοι αυτοί εμφανίζονται ευκρινώς στο θερμογράφημα ως σημεία έντονης αντίθεσης.

2. Σύγχρονη λήψη οπτικού/θερμικού ειδώλου: Εκμετάλλευση της ενσωματωμένης ψηφιακής οπτικής κάμερας της IRT ώστε να αναγνωρίζονται χαρακτηριστικά σημεία της εξεταζόμενης περιοχής (π.χ. αρχιτεκτονικά στοιχεία, αρμοί), βάσει των οποίων να μπορεί να καθοριστεί η ακριβής θέση και έκταση του θερμογραφήματος πάνω στην εξεταζόμενη περιοχή.

E.2 Παράλλαξη και της 3D αντιστοίχισης

Τα θερμογραφήματα είναι δισδιάστατες (2D) προβολές. Όταν επιχειρείται η προβολή (texture mapping) μιας 2D θερμικής εικόνας επάνω σε 3D ψηφιακό μοντέλο του μνημείου (προερχόμενο π.χ. από επίγεια σάρωση laser ή μέσω φωτογραμμετρικών τεχνικών), πιθανά να παρουσιαστούν τα ακόλουθα σφάλματα:

1. Σφάλμα παράλλαξης: Λόγω της φυσικής απόστασης μεταξύ του οπτικού άξονα του υπέρυθρου αισθητήρα και του οπτικού αισθητήρα της κάμερας, οι δύο εικόνες δεν ταυτίζονται απόλυτα σε μικρές αποστάσεις λήψης. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις λήψης, το σφάλμα παράλλαξης μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο.
2. Γεωμετρική παραμόρφωση λόγω αναγλύφου: Οι επιφάνειες μνημείων με πολύπλοκη γεωμετρία (π.χ. ανάγλυφα, κολώνες, θολωτά συστήματα) εμπεριέχουν σημαντικές παραμορφώσεις όταν απεικονίζονται σε ένα δισδιάστατο θερμογράφημα, καθώς η θερμοκρασία που καταγράφεται στις πλάγιες επιφάνειες εμφανίζεται αλλοιωμένη λόγω της γωνιακής εξάρτησης του συντελεστή εκπομπής.

Για την ορθή 3D αντιστοίχιση, απαιτείται η χρήση εξειδικευμένων λογισμικών φωτογραμμετρίας όπου το θερμογράφημα αντιμετωπίζεται ως απλή φωτογραφία, εισάγονται οι εσωτερικές παραμέτροι βαθμονόμησης του φακού της θερμοκάμερας και πραγματοποιείται χωρική ορθοπανόρθωση (orthorectification) με βάση κοινά σημεία ελέγχου

ΣΤ) Κατηγοριοποίηση παρατηρούμενων θερμικών ανωμαλιών, ασυνεχειών και βλαβών

Κάθε εντοπισμένη θερμική αναλύεται και προτείνεται να ταξινομείται βάσει του ακόλουθου πίνακα:

Πίνακας 5.2.6.2.5-1 Κατηγοριοποίηση θερμικών διαφοροποιήσεων σε μνημεία

Μορφολογία θερμικής διαφοροποίησης	Πιθανή δομική ερμηνεία (Ιστορικά Υλικά)	Προτεινόμενη μέθοδος συμπληρωματικής επαλήθευσης
Τοπική ζώνη υψηλής θερμοκρασίας (θερμή κηλίδα) κατά τη φάση θέρμανσης (ενεργητική) ή κατά την διάρκεια της λήψης.	Αποκόλληση επιχρίσματος / τοιχογραφίας ή ύπαρξη εσωτερικού κενού/κοιλότητας. Ο εγκλωβισμένος αέρας λειτουργεί ως θερμικός μονωτής, με αποτέλεσμα το λεπτό εξωτερικό στρώμα να θερμαίνεται ταχύτερα.	Κρουσιμετρία (ακουστικός έλεγχος), υπερηχοσκοπήση, ηχητική τομογραφία.

Μορφολογία θερμικής διαφοροποίησης	Πιθανή δομική ερμηνεία (Ιστορικά Υλικά)	Προτεινόμενη μέθοδος συμπληρωματικής επαλήθευσης
Τοπική ζώνη χαμηλής θερμοκρασίας (ψυχρή κηλίδα) με ασαφή, διευρυμένα όρια.	Συγκέντρωση υγρασίας. Το νερό αυξάνει τη θερμική χωρητικότητα και προκαλεί επιφανειακή ψύξη λόγω της συνεχιζόμενης εξάτμισης.	Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας/αντίστασης, ηλεκτρική τομογραφία
Γραμμική θερμική ανωμαλία (θερμή ή ψυχρή ανάλογα με τη ροή θερμότητας).	Δομική ρωγμή, κατασκευαστικός αρμός, ή διεπιφάνεια διαφορετικών δομικών φάσεων.	Ενδοσκόπιο, γεωραντάρ, φορητή μικροσκοπία
Επαναλαμβανόμενες, εναλλασσόμενες θερμές και ψυχρές ζώνες.	Ενδείξεις εσωτερικής διαστρωμάτωσης (π.χ. πλινθοδομή πίσω από εξωτερικό επίχρισμα, διάταξη λιθοδομής και αρμολογημάτων).	Γεωραντάρ με υψίσυχνη κεραία, ενδοσκόπιο
Σημειακές ή γραμμικές ανωμαλίες με πολύ υψηλή θερμική αγωγιμότητα (γρήγορη απόκριση) σε διάταξη ενεργητικής IRT	Ύπαρξη μεταλλικών στοιχείων (βλήτρα, ελκυστήρες, σύγχρονες ενισχύσεις) σε μικρό βάθος από την εξεταζόμενη επιφάνεια.	Γεωραντάρ, ηχητική τομογραφία

I.3 Γεωραντάρ

A) Αρχή λειτουργίας της μεθόδου

Η λειτουργία του γεωραντάρ βασίζεται στην διάδοση και διάχυση υψίσυχνων (25 MHz έως 2,6 GHz) ηλεκτρομαγνητικών (ΗΜ) παλμών για την ανίχνευση, απεικόνιση, και ποσοτικό προσδιορισμό μεταβολών στις ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες της εξεταζόμενης δομής ή υπεδάφους. Οι Η/Μ παλμοί παράγονται από έναν πομπό και διοχετεύονται στο υπέδαφος ή την υπό εξέταση δομή με ταχύτητα που εξαρτάται κυρίως από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού. Κατά την καθοδική διάχυση και όταν ο Η/Μ παλμός συναντήσει διεπιφάνεια υλικών με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται ή διαχέεται πίσω στην επιφάνεια ενώ το υπόλοιπο διαθλάται και συνεχίζει να διαδίδεται σε βαθύτερα επίπεδα, μέχρι πλήρους απόσβεσης.

Το ανακλώμενο κύμα καταγράφεται από την κεραία λήψης. Η βασική καταγραφόμενη παράμετρος είναι ο χρόνος διπλής διαδρομής (two-way travel time – TWT), ο οποίος συνήθως μετράται σε νανοδευτερόλεπτα (ns). Εάν η ταχύτητα διάδοσης (v) του ΗΜ κύματος στο

συγκεκριμένο υλικό είναι γνωστή, το βάθος (d) του ανακλαστήρα υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$d = \frac{v \cdot TWT}{2} \quad (5.2.7.2.-I.2.1)$$

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν σε ένα υλικό με καθορισμένη ταχύτητα που εξαρτάται από την ηλεκτρική διαπερατότητα (ο όρος αναφέρεται και ως διηλεκτρική σταθερά) του υλικού. Τα χρονομεταβλητά πεδία των ηλεκτρομαγνητικών αυτών κυμάτων αλληλεπιδρούν με τα φυσικά ή τεχνητά υλικά, επηρεάζοντας τον τρόπο με τον οποίο αυτά διαχέονται εντός των εξεταζόμενων δομών και τον βαθμό απόσβεσής τους. Έτσι ένας παλμός που διαδίδεται μέσα από δύο διαφορετικά υλικά θα αφιχθεί στην κεραία λήψης σε διαφορετικούς χρόνους, αλλά και η ενέργειά του θα έχει αποσβεσθεί σε διαφορετικά ποσοστά. Στα περισσότερα γεωλογικά και δομικά υλικά η αγωγιμότητα και η διηλεκτρική σταθερά (σχετική διαπερατότητα) είναι οι ιδιότητες που κυρίως επηρεάζουν τον παλμό και τη διάδοσή του. Οι μεταβολές της μαγνητικής διαπερατότητας είναι συνήθως απειροελάχιστες και ως εκ τούτου αμελητέες. Η ταχύτητα διάδοσης (v) εξαρτάται άμεσα από τη σχετική διηλεκτρική σταθερά (ϵ_r) του μέσου (για μη μαγνητικά υλικά):

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.2.7.2.-I.2.2)$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Η διηλεκτρική σταθερά (ϵ_r) είναι αδιάστατο μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα του υλικού να αποθηκεύει ηλεκτρικό φορτίο. Το νερό, λόγω της διπολικότητάς του έχει εξαιρετικά υψηλή διηλεκτρική σταθερά ($\epsilon_r \approx 81$), με αποτέλεσμα η παρουσία υγρασίας να αυξάνει δραματικά τη συνολική διηλεκτρική του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου, μειώνοντας δραματικά την ταχύτητα διάδοσης του παλμού και αυξάνοντας την εξασθένηση του σήματος και αντίστοιχα μειώνοντας αισθητά το βάθος διασκόπησης και την διακριτική ικανότητα της μεθόδου. Παράλληλα, λόγω της διαλυτότητας ιόντων στο νερό, μεταβάλλεται η αγωγιμότητά του υλικού στο οποίο περιέχεται. Επομένως, σε συστήματα (κατασκευές ή έδαφος) όπου είναι σημαντική η ύπαρξη υγρασίας ή νερού, η μελέτη της διάδοσης και διάχυσης ΗΜ κυμάτων, και αντίστοιχα η ανάλυση των αποτελεσμάτων διασκόπησης με γεωραντάρ, καθίσταται δύσκολη αν δεν ληφθεί υπόψη η χωρική κατανομή και η σχετική συγκέντρωση της περιεχόμενης υγρασίας.

Πίνακας 5.2.7.2-I-1. Σχετικές διηλεκτρικές σταθερές και τυπικές ταχύτητες διάδοσης για διάφορα υλικά (ASTM D6432-19)

Υλικό	Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά [ϵ_r]	Τυπική Ταχύτητα Διάδοσης [v] m/ns]	Αγωγιμότητα [mS/m]
Αέρας	1	0,30	0
Φρέσκο νερό (f, t)	81	0,033	0,10 - 30
Θαλασσινό νερό (f, t, s)	70	0,033	400
Άμμος (ξηρή) (d)	4 – 6	0,15 – 0,12	0,0001 - 1
Άμμος (κορεσμένη) (d, w, f)	25	0,055	0,1 – 1
Πηλός (κορεσμένος) (d, w, f)	8 – 12	0,106 – 0,087	100 – 1000
Άμμος παραθαλάσσια (ξηρή) (d)	10	0,095	2
Γρανίτης (ξηρός)	5	0,134	0,00001

Υλικό	Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά [ϵ_r]	Τυπική Ταχύτητα Διάδοσης [v] m/ns]	Αγωγιμότητα [mS/m]
Ασβεστόλιθος (ξηρός)	7 – 9	0,0133 – 01,	0,000001
Πλίνθος (ξηρή συμπαγής)	4 – 6	0,12 – 0,15	
Πληρωτικό υλικό / Επίχωση (ξηρή)	5 – 15	0,08 – 0,13	
Υγρή τοιχοποιία / Αργιλικά υλικά	8 – 20	0,07 – 0,11	
Σκυρόδεμα (w, f, ηλικία)	5 – 10	0,134 – 0,095	

Σημ.: d = συνάρτηση πυκνότητας, w = συνάρτηση πορώδους και περιεχόμενου νερού), f = συνάρτηση συχνότητας, t = συνάρτηση θερμοκρασίας, s = συνάρτηση αλατότητας

Β) Εξοπλισμός και κριτήρια επιλογής κεραίας

Το τυπικό σύστημα γεωραντάρ αποτελείται από την κεντρική μονάδα ελέγχου (control unit), τη διάταξη των κεραιών (εκπομπής και λήψης), το σύστημα καταγραφής/απεικόνισης και τη διάταξη καταγραφής θέσης και μήκους της σάρωσης. Η επιλογή της κεντρικής συχνότητας της κεραίας εκπομπής είναι σημαντική για την βέλτιστη αξιοποίηση της μεθόδους, καθώς διέπεται από μια αντίστροφη σχέση μεταξύ του μέγιστου βάθους διείσδυσης και της διακριτικής (αναλυτικής) ικανότητας. Ειδικότερα, οι υψηλές συχνότητες προσφέρουν εξαιρετική ανάλυση (διακριτική ικανότητα) αλλά μικρό βάθος διείσδυσης ΗΜ παλμών (και επομένως διασκόπησης), ενώ αντίστροφα, οι χαμηλές συχνότητες διεισδύουν βαθύτερα με αντιστάθμισα όμως τη μικρότερη διακριτική ικανότητα (ανίχνευση δομικών λεπτομερειών). Για εφαρμογές σε μνημεία και ιστορικά κτίρια, η επιλογή της ονομαστικής (κεντρικής) συχνότητας της κεραίας εκπομπής συστήματος γεωραντάρ προτείνεται να βασίζεται στις ακόλουθες γενικές παραμέτρους:

Πίνακας 5.2.7.2-I-2 Τυπικά βάθη διείσδυσης και διακριτική ικανότητα για διάφορες ονομαστικές συχνότητες

Ονομαστική Συχνότητα	Τυπικό Βάθος Διείσδυση s	Διακριτική Ικανότητα	Κύριες Εφαρμογές σε Ιστορικά Κτίρια
1,5 GHz έως 2,6 GHz	0,1 – 0,5 m	< 1 cm	Διερεύνηση επιφανειακών στρωμάτων, λεπτών πλακών, ψηφιδωτών, αποκολλήσεων νωπογραφιών (frescoes).
900 MHz έως 1,5 GHz	0,5 – 2,0 m	~ 2 – 4 cm	Έλεγχος επιχρισμάτων, εντοπισμός εσωτερικών ρωγμών ρηχού βάθους, εντοπισμός στοιχείων οπλισμού.
400 MHz έως 900 MHz	2,0 – 5,0 m	~ 5 – 10 cm	Φέρουσες τοιχοποιίες μεγάλου πάχους, θόλοι, λιθοδομές, δάπεδα ναών, εντοπισμός κρυπτών.

Σε περιπτώσεις σύνθετων στοιχείων ιστορικών κατασκευών (όπως βυζαντινές τοιχοποιίες με εναλλαγή ζωνών πλινθοδομής και λιθοδομής ή οθωμανικά τείχη μεγάλου πάχους), κρίνεται απαραίτητη η προσέγγιση χρήση κεραιών πολλαπλών συχνοτήτων (multi-frequency

approach). Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση πομπών διαφορετικών συχνοτήτων στο ίδιο κέλυφος κεραιών εκπομπής (πολυκάναλα γεωραντάρ) είτε με την επανάληψη των γραμμών σάρωσης με κεραιές διαφορετικών ονομαστικών συχνοτήτων, ώστε να διασφαλίζεται ταυτόχρονα η διασκόπηση του συνολικού πάχους της εξεταζόμενης δομής και η υψηλή ευκρίνεια στα ρηχά στρώματα. Εφόσον είναι εφικτό, πρέπει να πραγματοποιούνται διασκοπήσεις γεωραντάρ και από τις δύο όψεις της εξεταζόμενης τοιχοποιίας ή από πολλαπλές όψεις ενός δομικού στοιχείου.

Γ) Εκτίμηση ή υπολογισμός ταχύτητας διάδοσης

Ο υπολογισμός της απόστασης (βάθος) μιας ανακλαστικής διεπιφάνειας βασίζεται στην ακριβή εκτίμηση της ταχύτητας διάδοσης των κυμάτων του ραντάρ διαμέσου των υλικών που συναντά ο Η/Μ παλμός. Σε πολυστρωματικές κατασκευές συνιστάται η χρήση μιας χωρικής κατανομής ταχυτήτων (προφίλ ταχυτήτων) που τυπικά εφαρμόζεται και είναι διαφορετικό για κάθε μια σάρωση γεωραντάρ. Η εκτίμηση του προφίλ ταχυτήτων είναι μια δύσκολη διαδικασία, ειδικά σε κατασκευές άγνωστης διαστρωμάτωσης και πολλών υλικών. Αρχικά πραγματοποιείται μια προκαταρκτική αξιολόγηση των σαρώσεων για την αναγνώριση πιθανών εσωτερικών διεπιφανειών διαφορετικών υλικών ή στρώσεων. Για κάθε σάρωση ή σειρά σαρώσεων (εφόσον η κατανομή ταχυτήτων είναι παρόμοια), καθορίζονται στο λογισμικό επεξεργασίας οι ζώνες με διαφορετικές τιμές ταχύτητας διάδοσης. Οι τιμές ταχύτητας που αποδίδονται λαμβάνονται είτε από σχετική βιβλιογραφία για κάθε είδους υλικού, είτε με βαθμονόμηση από απευθείας μετρήσεις σε δείγματα του υλικού (π.χ. μέτρηση ταχύτητας διάδοσης σε μπλοκ ασβεστόλιθου, ίδιου με αυτού που χρησιμοποιείται στην τοιχοποιία). Στη συνέχεια, και εφόσον υπάρχουν γνωστά σημεία αναφοράς εντός της εξεταζόμενης περιοχής (π.χ. πάχη διαστρωματώσεων μετά από τοπική διάνοιξη, ή συνολικό πάχος τοιχοποιίας), αξιολογείται αν το προτεινόμενο προφίλ αποδίδει τα ορθά βάθη ή πάχη ζωνών, διαφορετικά τροποποιείται το προφίλ ταχυτήτων ανάλογα.

Σε περιπτώσεις όπου η διαστρωμάτωση είναι άγνωστη, ή μη εφικτή η επαλήθευσή της, ή σε περιπτώσεις όπου τα υλικά της εξεταζόμενης δομής έχουν παρόμοια διηλεκτρική σταθερά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μέση ταχύτητα διάδοσης για ολόκληρη την εξεταζόμενη περιοχή. Η ακριβής βαθμονόμηση της ταχύτητας διάδοσης επιτυγχάνεται είτε μέσω της προσαρμογής χαρακτηριστικών απεικονίσεων σημάτων (π.χ. σημειακές υπερβολές) από σημειακούς ανακλαστήρες γνωστής θέσης (π.χ. εσωτερικοί μεταλλικοί αγωγοί ή μεταλλικά στοιχεία), είτε μέσω σαρώσεων με γεωραντάρ σε τμήματα όπου το συνολικό πάχος της δομής (π.χ. τοιχοποιίας) είναι εκ των προτέρων γνωστό με ακρίβεια και είναι εφικτή η αναγνώριση της επιφάνειας ανάκλασης που αντιστοιχεί στο συνολικό πάχος της δομής στο σχετικό γράφημα γεωραντάρ (radargram). Ενδεικτικά, για την ευκολότερη αναγνώριση της επιφάνειας ανάκλασης στην άλλη πλευρά εξεταζόμενης τοιχοποιίας, προτείνεται η ανάρτηση μεταλλικής πλάκας στην πλευρά αυτή η οποία προκαλεί σαφώς έντονη ανάκλαση του παλμού σε σχέση με τον αέρα, και διευκολύνεται η αναγνώρισή της στην σάρωση (B-scan).

Δ) Ρύθμιση παραμέτρων λήψης σήματος

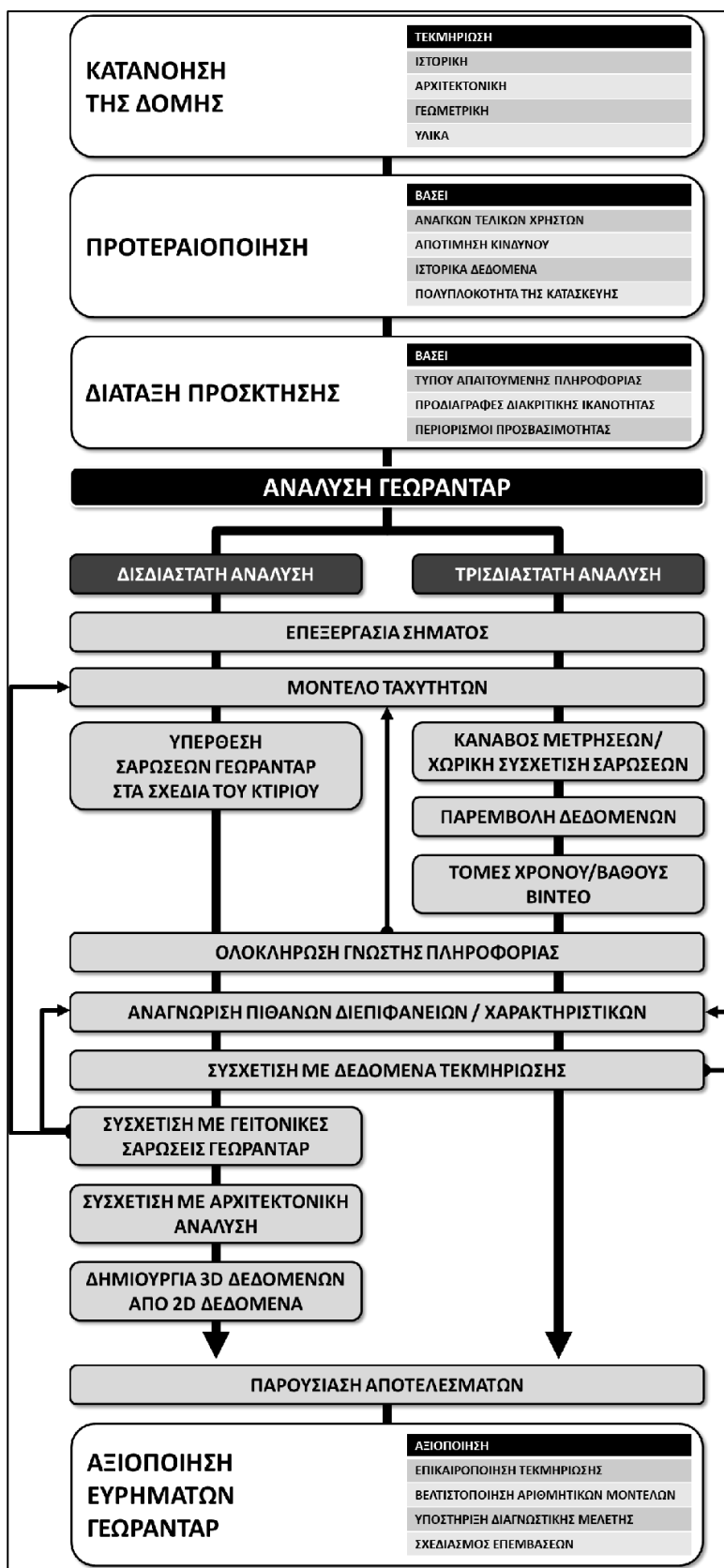
Πριν από την έναρξη των συστηματικών μετρήσεων επί του μνημείου, ο χειριστής πρέπει να πραγματοποιεί δοκιμαστικές σαρώσεις (test scans) επί αντιπροσωπευτικών δομικών στοιχείων του μνημείου για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων λήψης του σήματος. Οι ακόλουθες αποτελούν τυπικές προτεινόμενες ρυθμίσεις για χρήση γεωραντάρ σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές:

- Χρονικό Παράθυρο (Time Window): Ρυθμίζεται σε τιμή 1,5 έως 2 φορές μεγαλύτερη από τον αναμενόμενο χρόνο λήψης της βαθύτερης ανάκλασης, τυπικά μεταξύ 30 ns και 100ns για ιστορικές τοιχοποιίες.
- Πυκνότητα Ιχνών / Βήμα Σάρωσης (Trace Interval): Ορίζεται σε 0,01 m έως 0,02 m για κεραίες υψηλής συχνότητας και σε 0,05 m έως 0,10 m για υπεδαφικές ή σαρώσεις σε δομικά στοιχεία μεγάλου πάχους.
- Ρυθμός Δειγματοληψίας (Sampling Rate / Number of Samples): Επιλέγεται ≥ 512 δείγματα ανά ίχνος (samples/trace) για κεραίες συχνότητας ≥ 900 MHz και ≥ 256 δείγματα ανά ίχνος για χαμηλότερες συχνότητες, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο παραμόρφωσης (aliasing).
- Συσσώρευση Ιχνών (Stacking): Ορίζεται σε εύρος 32 έως 64 επαναλήψεις ανά θέση μέτρησης. Η διαδικασία αυτή είναι κρίσιμη για τη βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR), ιδιαίτερα σε υλικά με υψηλό scattering όπως οι ανομοιογενείς λιθοδομές.

Σε περιπτώσεις επιφανειών ιστορικών κατασκευών με ευαίσθητα διακοσμητικά στοιχεία (τοιχογραφίες, νωπογραφίες, ιστορικά επιχρίσματα με παρουσία μεταλλικών χρωστικών), δεν επιτρέπεται η άμεση τριβή της κεραίας επί του αυθεντικού υλικού ή της συσκευής οδομέτρησης (cart ή wheel). Η σάρωση εκτελείται είτε με την παρεμβολή λεπτού φύλλου καθαρού πολυαιθυλενίου (πάχους < 0.5 mm), είτε με τη χρήση ειδικών κεραιών χωρίς επαφή (air-coupled mode), κατόπιν γραπτής έγκρισης, υπό την επίβλεψη του υπεύθυνου του έργου.

Ε) Σχεδιασμός και υλοποίηση επιτόπου μετρήσεων με γεωραντάρ

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία ανάλυσης μνημείων και ιστορικών κατασκευών με γεωραντάρ.



Εικόνα 5.2.6.2.6-1 Συνοπτική παρουσίαση μεθοδολογίας ανάλυσης μνημείων και ιστορικών κατασκευών με γεωραντάρ

E.1 Προκαταρκτική φάση και σχέδιο έρευνας πεδίου

Σύνταξη λεπτομερούς «Σχεδίου Έρευνας Πεδίου με Γεωραντάρ» το οποίο περιλαμβάνει:

1. Επιτόπου Αναγνώριση: Μακροσκοπικός έλεγχος των επιφανειών, εντοπισμός κατασκευαστικών περιορισμών (διαμόρφωση εξωτερικών επιφανειών, ύπαρξη ικριωμάτων ή άλλων εμποδίων), καταγραφή μεταλλικών στοιχείων (σκαλωσιές, καλωδιώσεις, σωληνώσεις) που ενδέχεται να προκαλέσουν έντονες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
2. Κάνναβος Σαρώσεων: Σχεδιασμός του πλέγματος των γραμμών σάρωσης. Οι άξονες του καννάβου εξαρτώνται από τη γεωμετρία των τμημάτων του μνημείου ή ιστορικού κτιρίου στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η διασκόπηση γεωραντάρ και πρέπει να γεωαναφέρονται σε σταθερά και αναγνωρίσιμα δομικά στοιχεία (π.χ. γωνίες τοιχοποιίας, μνημειακά θυρώματα), ή σε κοινά σημεία αναφοράς με τις άλλες τεχνικές ΜΚΕ και τις αποτυπώσεις της γεωμετρικής τεκμηρίωσης
3. Υπόβαθρο Τεκμηρίωσης: Χρήση ψηφιακού υπόβαθρου στο οποίο αποτυπώνονται οι ακριβείς θέσεις και διαδρομές σάρωσης γεωραντάρ.

E.2 Γεωμετρικές διατάξεις σάρωσης

Η συλλογή των δεδομένων εκτελείται βάσει τυπικών καννάβων σαρώσεων:

- Παράλληλες γραμμές σάρωσης (2D Profiles): Εκτέλεση σαρώσεων κατά μήκος προκαθορισμένων γραμμών. Για τον έλεγχο ιστορικών τοιχοποιιών, η απόσταση μεταξύ των παράλληλων γραμμών σάρωσης προτείνεται να είναι από 5cm έως 25cm, ενώ για εκτεταμένες οριζόντιες επιφάνειες (π.χ. περιμετρικό έδαφος μνημείου, δάπεδα), η απόσταση μπορεί να αυξηθεί έως 50cm.
- Εγκάρσιες γραμμές (Cross-lines / Orthogonal Grid): Εκτέλεση γραμμών σάρωσης κάθετων στις αρχικές παράλληλες γραμμές, δημιουργώντας ένα πυκνό ορθογώνιο πλέγμα. Η διάταξη αυτή σκοπό έχει να εξαλείψει την κατευθυντική αμφισημία των ανακλάσεων (directional ambiguity) και είναι απαραίτητη για την τρισδιάστατη ανακατασκευή του διασκοπούμενου όγκου (3D-GPR).
- Σημειακές μετρήσεις μεταβλητής Απόστασης (CMP / WARR): Μετρήσεις κοινού μέσου σημείου (Common Mid-Point) ή μετρήσεις ανάκλασης και διάθλασης ευρείας γωνίας (Wide-Angle Reflection and Refraction) με τη χρήση διαχωριζόμενων κεραίων εκπομπής και λήψης. Οι σημειακές μετρήσεις πραγματοποιούνται σε επιλεγμένες θέσεις ελέγχου κυρίως για τον ακριβή προσδιορισμό της μέσης ταχύτητας διάδοσης και της στρωματογραφίας του μέσου.

Z) Σύστημα γεωαναφοράς και ακρίβεια θέσης

Η γεωαναφορά των σαρώσεων και των επεξεργασμένων αποτελεσμάτων των διασκοπήσεων είναι σημαντική τόσο για την αξιοπιστία των ευρημάτων αλλά και για την δυνατότητα συσχέτισης των ευρημάτων με άλλες τεχνικές ΜΚΕ και αναλυτικές μεθόδους. Η χωρική τεκμηρίωση των σαρώσεων γεωραντάρ στην εξεταζόμενη περιοχή και τμήμα του μνημείου ή κτιρίου πραγματοποιείται:

1. Για εξωτερικούς χώρους με διασύνδεση της μονάδας ελέγχου GPR με δέκτη GNSS RTK για την απευθείας εγγραφή των συντεταγμένων (ΕΓΣΑ '87 ή WGS84) στα μεταδεδομένα (metadata) του κάθε ίχνους.

2. Για εσωτερικούς χώρους και κατακόρυφες επιφάνειες με χρήση Γεωδαιτικού Σταθμού (Total Station) όπου σημαίνονται με ακρίβεια τα σημεία έναρξης, λήξης και οι ενδιάμεσοι σταθμοί αλλαγής κατεύθυνσης.
3. Με φωτογραμμετρική σήμανση και τοποθέτηση επίγειων φωτοσταθερών επί των τοίχων, οι θέσεις των οποίων αποτυπώνονται τοπογραφικά, επιτρέποντας τη μεταφορά του καννάβου του GPR στο τρισδιάστατο μοντέλο του μνημείου.

Εφόσον ο ανωτέρω εξοπλισμός γεωαναφοράς είναι διαθέσιμος, κάθε συλλεγόμενο ίχνος γεωραντάρ γεωαναφέρεται με χωρική ακρίβεια τουλάχιστον 2 cm. Σε περιπτώσεις όπου α) δεν είναι εφικτή η χρήση συστημάτων γεωαναφοράς (π.χ. λόγω εμποδίων ή περιορισμένου χώρου), ή β) η έκταση των σαρώσεων γεωραντάρ δεν απαιτεί υψηλή χωρική ακρίβεια, δύναται να πραγματοποιείται χειρόγραφη καταγραφή των θέσεων και προσανατολισμού των σαρώσεων γεωραντάρ, ώστε αυτές να ενσωματωθούν χειρωνακτικά στα λογισμικά τρισδιάστατης επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ.

H) Ανάλυση και επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων (raw data) εκτελείται σε εξειδικευμένα λογισμικά (ενδεικτικά: RADAN, GPR-Slice) από πιστοποιημένο προσωπικό. Η ροή εργασιών χωρίζεται σε τρία στάδια, και κάθε βήμα πρέπει να καταγράφεται ψηφιακά για λόγους ιχνηλασιμότητας.

H.1 Προεπεξεργασία (Pre-processing)

Η προεπεξεργασία εφαρμόζεται αποκλειστικά σε αντίγραφα των αρχείων πεδίου. Τα αυθεντικά πρωτογενή δεδομένα φυλάσσονται αναλλοίωτα. Τα ακόλουθα φίλτρα προτείνονται ως τυπικά στάδια προεπεξεργασίας:

4. Αφαίρεση συνεχούς συνιστώσας (DC Offset Removal / Zero-offset): Εξαλείφει τυχόν σταθερή μετατόπιση της τάσης του σήματος στον άξονα του πλάτους, επαναφέροντας τη γραμμή βάσης (baseline) στο μηδέν.
5. Διόρθωση χρόνου μηδέν (Time-Zero Correction): Ευθυγραμμίζει την αφετηρία του χρονικού άξονα ($t = 0$ ns) με την πρώτη κύρια ανάκλαση που αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια μεταξύ του περιβλήματος της κεραίας και της εξωτερικής επιφάνειας του δομικού στοιχείου. Εξασφαλίζει ότι οι υπολογισμοί βάθους ξεκινούν ακριβώς από το εξωτερικό πρόσωπο του τοίχου.
6. Φιλτράρισμα Dewow (Dewow Filtering): Αφαιρεί τον θόρυβο χαμηλής συχνότητας (wow) που προκαλείται από κορεσμό των ηλεκτρονικών της κεραίας λόγω της εγγύτητας εκπομπής-λήψης. Το φίλτρο αυτό αποκαθιστά το μέσο επίπεδο του σήματος και αποκαλύπτει ανακλάσεις σε πολύ μικρά βάθη.
7. Διόρθωση και Απαλοιφή Ιχνών (Trace Editing): Εντοπισμός και απόρριψη ελαττωματικών ιχνών (dropped traces) που οφείλονται σε στιγμιαία απώλεια πρόσφυσης του τροχού μέτρησης, και αντικατάστασή τους μέσω γραμμικής παρεμβολής (interpolation) γειτονικών ιχνών.

H.2 Ενίσχυση σήματος και φιλτράρισμα (Signal processing)

1. Συναρτήσεις Κέρδους (Gain Functions): Καθώς η ενέργεια του H/M κύματος εξασθενεί εκθετικά με το βάθος λόγω της γεωμετρικής διασποράς και της θερμικής απορρόφησης, προτείνεται να εφαρμόζεται συνάρτηση κέρδους μεταβαλλόμενη με τον χρόνο (Time-varying Gain). Ο αυτόματος έλεγχος κέρδους (Automatic Gain Control – AGC) συνήθως εφαρμόζεται για ποιοτική ερμηνεία και ανάδειξη βαθιών ασυνεχειών, ενώ για ποσοτικές

αναλύσεις (εκτίμηση ανακλαστικότητας), συνήθως χρησιμοποιείται συνάρτηση εκθετικής αντιστάθμισης.

2. Φιλτράρισμα Διέλευσης Ζωνών (Band-pass Filtering): Εφαρμογή φίλτρων στον άξονα των συχνοτήτων. Οι συχνότητες αποκοπής (cut-off frequencies) ορίζονται συνήθως στο εύρος από $0,5 \cdot f_c$ έως $2 \cdot f_c$, όπου f_c είναι η κεντρική συχνότητα της κεραίας, έτσι ώστε να αφαιρεθεί ο υψίσυχνος θόρυβος και οι παρεμβολές του περιβάλλοντος.
3. Αφαίρεση Υποβάθρου (Background Subtraction): Οριζόντιο φίλτρο που υπολογίζει και αφαιρεί τον μέσο όρο των ιχνών σε ένα καθορισμένο παράθυρο σάρωσης. Είναι αποτελεσματικό για την εξάλειψη των συνεχών οριζόντιων γραμμών (ringing) που προκαλούνται από εσωτερικές ανακλάσεις της κεραίας ή από την παρουσία επίπεδων, συνεχών επιφανειών. Η χρήση του φίλτρου αυτού πρέπει να είναι προσεκτική σε περιπτώσεις πολύστρωτων τοιχοποιιών, καθώς δύναται να αφαιρέσει πολύτιμες πληροφορίες διαστρωμάτωσης.
4. Αποκατάσταση Μετατόπισης / Μετανάστευση (FK Migration): Εφαρμογή αλγορίθμων Kirchhoff ή Stolt. Η διεργασία αυτή επαναφέρει τις ανακλαστικές υπερβολές (που δημιουργούνται όταν η δέσμη της κεραίας «βλέπει» έναν σημειακό στόχο πριν βρεθεί ακριβώς από πάνω του) στα πραγματικά τους γεωμετρικά όρια, εστιάζοντας το σήμα. Είναι κρίσιμη για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης και της διαμέτρου εσωτερικών στοιχείων, όπως ράβδοι οπλισμού ή ξύλινων ελκυστήρων. Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας αυτής είναι, όμως, περιορισμένη σε περιπτώσεις τοιχοποιιών ή δομικών στοιχείων όπου οι ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών είναι παρεμφερείς, άρα δεν είναι ευδιάκριτες οι χαρακτηριστικές ανακλαστικές υπερβολές ώστε να διορθωθεί η όποια θέση τους.

H.3 Παραγωγή 2D και 3D απεικονίσεων

Μετά την εφαρμογή των φίλτρων, εισάγεται η βαθμονομημένη ταχύτητα διάδοσης για τη μετατροπή του κατακόρυφου άξονα από χρόνο (ns) σε βάθος (m ή cm). Παράγονται τα ακόλουθα ψηφιακά προϊόντα:

- B-scans (2D γραφήματα γεωραντάρ): Κατακόρυφες τομές του δομικού στοιχείου κατά μήκος της γραμμής σάρωσης.
- C-scans / Depth Slices (Οριζόντιες Τομές Βάθους): Παράγονται από τη συνένωση των δεδομένων του ορθογώνιου καννάβου. Αντιπροσωπεύουν την οριζόντια κατανομή του πλάτους της ανάκλασης σε συγκεκριμένα στρώματα βάθους (π.χ. ανά 2 cm ή 5 cm για υψίσυχνες κεραίες ή ανά 10cm για χαμηλότερες συχνότητες), επιτρέποντας τη χαρτογράφηση της πλευρικής έκτασης των ανωμαλιών.
- 3D Volume Rendering: Τρισδιάστατη ανακατασκευή/αναπαράσταση του εσωτερικού όγκου.

Θ) Κατηγοριοποίηση ανωμαλιών

Κάθε εντοπισμένος στόχος σε γραφήματα γεωραντάρ αναλύεται και προτείνεται να ταξινομηθεί βάσει του ακόλουθου πίνακα:

Πίνακας 5.2.6.2.4-1 Κατηγοριοποίηση στόχων σε γραφήματα γεωραντάρ, πιθανή δομική ερμηνεία και προτεινόμενες μέθοδοι συμπληρωματικής επαλήθευσης

Μορφολογία σήματος στα γραφήματα γεωραντάρ	Πιθανή δομική Ερμηνεία	Προτεινόμενη μέθοδος συμπληρωματικής επαλήθευσης
Έντονη ανάκλαση φάσης με υψηλό πλάτος σε μικρό TWT Καθαρή, οξεία υπερβολή (hyperbolic reflector).	Αποκόλληση επιχρίσματος, επιφανειακό κενό, αποκόλληση τοιχογραφίας. Μεταλλικοί σύνδεσμοι, ξύλινοι ελκυστήρες, αγωγοί δικτύων.	Υπερηχοσκοπήση, ηχητική τομογραφία, κρουσιμετρία, υπέρυθρη θερμογραφία. Μαγνητικός εντοπισμός, ηλεκτρομαγνητικός ανιχνευτής, επιτόπου μικροδιάτρηση οπής διερεύνησης και οπτική παρατήρηση. Ενδοσκοπήση.
Τοπική διακοπή ή κατακόρυφη μετατόπιση των συνεχών οριζόντιων ανακλάσεων.	Εσωτερική ρωγμή, κατασκευαστικός αρμός, αλλαγή δομικής φάσης.	
Τοπική ζώνη έντονης εξασθένησης του σήματος	Συγκέντρωση υγρασίας, παρουσία αλάτων, αγωγίμο υλικό ενεμάτωσης.	Τομογραφία ηλεκτρικής αντίστασης.
Διάσπαρτες, ακανόνιστες υπερβολές και έντονη σκέδαση σε μεγάλο βάθος.	Αρχαιολογικά κατάλοιπα, θεμελίωση λιθοδομής, εγκλείσματα.	Αρχαιολογική ανασκαφική τομή, γεωτεχνικές δειγματοληψίες.

1.4 Φορητή ψηφιακή μικροσκοπία

Α) Χαρακτηριστικά εξοπλισμού

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φορητών ψηφιακών μικροσκοπίων καθορίζουν την ποιότητα και την επιστημονική αξιοπιστία των λαμβανόμενων εικόνων. Η επιλογή του εξοπλισμού βασίζεται στις ακόλουθες προδιαγραφές:

1. Ανάλυση αισθητήρα εικόνας: Απαιτείται ψηφιακός αισθητήρας (τύπου CMOS ή CCD) με ανάλυση >5 Megapixels (MP), ώστε να διασφαλίζεται η απαραίτητη ευκρίνεια κατά τη μεγέθυνση και η δυνατότητα περαιτέρω ψηφιακής επεξεργασίας της λαμβανόμενης εικόνας.
2. Μεγέθυνση: Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα προτείνεται να έχουν την δυνατότητα εναλλαγής φακών ή να διαθέτουν φακούς με μεταβλητή μεγέθυνση. Για τη γενική χρήση χρησιμοποιείται εύρος από 10x έως 200x, ενώ για ειδικές εφαρμογές (π.χ. ανάλυση χρωστικών) απαιτούνται φακοί μεγέθυνσης έως 500x.
3. Εναλλακτικά συστήματα φωτισμού: Η ύπαρξη ενσωματωμένου φωτισμού LED είναι αναγκαία για να αποφεύγονται σημαντικά φαινόμενα σκίασης:
 - *Γραμμικά πολωμένος φωτισμός (Polarized Light)*: Απαραίτητος για την εξάλειψη των αντανακλάσεων σε ανακλαστικές ή υγρές επιφάνειες (π.χ. κρυστάλλους αλάτων, στρώματα βερνικιών), επιτρέποντας την πιο ευδιάκριτη παρατήρηση της εξεταζόμενης μικροπεριοχής.
 - *Υπεριώδης φωτισμός (UV)*: Χρησιμοποιείται για την πρόκληση υπεριώδους φθορισμού, ο οποίος διευκολύνει τον εντοπισμό οργανικών συνδετικών μέσων, προηγούμενων επεμβάσεων με συνθετικές ρητίνες ή ενεργών βιολογικών αποικιών.

-
4. Λογισμικό και βαθμονόμηση: Το συνοδευτικό λογισμικό πρέπει να επιτρέπει τη βαθμονόμηση της συσκευής μέσω πρότυπης βαθμονομημένης κλίμακας για κάθε επίπεδο μεγέθυνσης, καθιστώντας δυνατή τη διεξαγωγή ακριβών γεωμετρικών μετρήσεων επί της οθόνης. Κάθε μικροφωτογραφία πρέπει να περιλαμβάνει την βαθμονομημένη κλίμακα.

Β) Μεθοδολογία και σχεδιασμός επιτόπου μετρήσεων

Η εκτέλεση της μικροσκοπικής έρευνας στο πεδίο περιλαμβάνει:

1. Μακροσκοπική επιλογή και σήμανση θέσεων: Προηγείται η γενική φωτογραφική και σχεδιαστική τεκμηρίωση του εξεταζόμενου αρχιτεκτονικού μέλους. Καθορίζονται οι περιοχές ενδιαφέροντος, ως σύνολα επιμέρους μικροσκοπικών μετρήσεων, οι οποίες γεωαναφέρονται στα γενικά σχέδια του μνημείου. Για κάθε επιμέρους περιοχή ενδιαφέροντος, παρατίθεται φωτογραφία μεγαλύτερης μεγέθυνσης όπου και επισημαίνονται οι ακριβείς θέσεις λήψης μικρογραφιών της περιοχής αυτής.
2. Σταθεροποίηση του εξοπλισμού: Σε περιπτώσεις λήψης μικρογραφιών υψηλής μεγέθυνσης είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών διατάξεων στήριξης με μικρομετρική ρύθμιση.
3. Πρωτόκολλο δεδομένων: Οι εικόνες λαμβάνονται σε ασυμπίεστη μορφή αρχείων (TIFF ή RAW) για τη διατήρηση της μέγιστης πληροφορίας. Σε κάθε λήψη ενσωματώνεται αυτόματα ψηφιακή κλίμακα αναφοράς (scale bar) βάσει της προηγούμενης βαθμονόμησης. Σε δελτίο τεκμηρίωσης καταγράφονται όποιες άλλες παρατηρήσεις ή πληροφορίες κρίνονται απαραίτητες για την ερμηνεία εκάστοτε μικρογραφίας (π.χ. γεινίαση με παρατηρούμενη βλάβη ή αστοχία, διεπιφάνεια υλικών, κ.α.)

Γ) Ερμηνεία και περιορισμοί της μεθόδου

Η αξιολόγηση των μικρογραφιών και η εξαγωγή συμπερασμάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους ακόλουθους περιορισμούς:

1. Περιορισμένο βάθος πεδίου (Depth of Field): Σε υψηλές μεγεθύνσεις, το βάθος πεδίου μειώνεται δραματικά. Εάν η επιφάνεια παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο, μόνο ένα μικρό μέρος της εικόνας παραμένει εστιασμένο. Εφόσον δεν μπορεί να αποφευχθεί αυτή η κατάσταση μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές εστιακής συνένωσης (focus stacking), όπου λαμβάνονται πολλαπλές εικόνες σε διαφορετικά επίπεδα εστίασης και συντίθενται μέσω λογισμικού.
2. Τοπικός χαρακτήρας της πληροφορίας (Αντιπροσωπευτικότητα): Η μικροσκοπία εξετάζει περιοχές της τάξης μερικών τετραγωνικών χιλιοστών. Τα συμπεράσματα δεν επιτρέπεται να γενικεύονται για το σύνολο της κατασκευής, εκτός εάν διεξαχθεί στατιστικά επαρκής αριθμός μετρήσεων και τα αποτελέσματα συσχετιστούν με μακροσκοπικές μεθόδους (π.χ. υπέρυθη θερμογραφία).

1.5 Μη-καταστρεπτικός έλεγχος υλικών σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες

Μεθοδολογία επιτόπου εφαρμογών

1. Κρουσιμετρία

Σε εφαρμογές κρουσιμετρίας σε μνημεία πρέπει να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά κρουσίμετρα (κρουστική σφύρα) χαμηλής ενέργειας κρούσης, ειδικά σχεδιασμένα για κονιάματα και ευαίσθητους λίθους (π.χ. Schmidt Pendulum Hammer ή Schmidt Hammer Type L). Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση κρουσίμετρου σκυροδέματος (τύπου N), λόγω κινδύνου θραύσης του ιστορικού υλικού. Η δοκιμή πρέπει να χρησιμοποιεί ως βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12504-2 Ε3:2021, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των ιστορικών υλικών ως προς την ενέργεια κρούσης και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Για την προετοιμασία των μετρήσεων, η επιφάνεια καθαρίζεται από χαλαρά σωματίδια. Σε περίπτωση έντονης τραχύτητας, προηγείται ελαφρά λείανση με λειαντική πέτρα, εφόσον επιτρέπεται. Σχεδιάζεται κάναβος μετρήσεων (ενδεικτικά υποπεριοχές 10×10 cm), όπου πραγματοποιούνται τουλάχιστον 10 έως 12 έγκυρες κρούσεις ανά υποπεριοχή. Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων κρούσης πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη διάμετρο του εμβόλου, ώστε να αποφεύγεται τοπική θραύση του υλικού. Το κρουσίμετρο συγκρατείται κάθετα προς την επιφάνεια δοκιμής καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, οι τιμές αναπήδησης (rebound number) μετατρέπονται σε εκτιμώμενη θλιπτική αντοχή βάσει του πίνακα βαθμονόμησης του οργάνου. Επισημαίνεται ότι οι πίνακες βαθμονόμησης που συνοδεύουν τα όργανα αναφέρονται συνήθως σε σύγχρονα υλικά, και η εφαρμογή τους σε ιστορικά υλικά απαιτεί συγκριτική αξιολόγηση με άλλες μεθόδους ή εργαστηριακά δεδομένα.

Σημειώνεται ότι οι καμπύλες συσχέτισης του βαθμού αναπήδησης, R, με τιμές θλιπτικής αντοχής, αναφέρονται στο σκυρόδεμα, συνεπώς οποιοσδήποτε υπολογισμός για παραδοσιακά/φυσικά υλικά θα πρέπει να λαμβάνεται ως προσέγγιση και όχι ως απόλυτη τιμή. Επίσης, να πούμε ότι στην περίπτωση των μνημείων και των διατηρητέων δομημάτων, θα πρέπει να προτιμάται η χρήση κρουσίμετρου τύπου L (Light Schmidt Hammer), ώστε να μειωθεί η πιθανότητα επιφανειακής φθοράς ιστορικού υλικού κατά τη διάρκεια της μέτρησης, λόγω πρόσκρουσης της κρουστικής μάζας). Πρώτερα των μετρήσεων θα πρέπει να γίνεται δοκιμαστικός έλεγχος, ώστε να διασφαλίζεται η αντοχή της επιφάνειας του υλικού στην πρόσκρουση.

Οι βασικοί περιορισμοί της μεθόδου στα μνημεία είναι α) ο κίνδυνος θραύσης των ιστορικών υλικών εάν η ενέργεια κρούσης υπερβεί την αντοχή του εξεταζόμενου υλικού, β) η πιθανότητα δημιουργίας μικροαποτυπώματος σε μαλακά υλικά ή επιστρώσεις στα σημεία κρούσης, και γ) η αβεβαιότητα στη μετατροπή των τιμών αναπήδησης σε θλιπτική αντοχή, λόγω απουσίας βαθμονόμησης ειδικά για ιστορικά υλικά.

2. Δοκιμή Αντίστασης Διάτρησης (DRMS)

Για τη δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται φορητή, αυτοματοποιημένη συσκευή DRMS (Drilling Resistance Measurement System), η οποία πραγματοποιεί συνεχή καταγραφή της ασκούμενης δύναμης διεύδυσης συναρτήσει του βάθους. Χρησιμοποιούνται διαμαντοτρύπανα κατάλληλης διαμέτρου και μήκους ανάλογα με το εξεταζόμενο υλικό και τις

συνθήκες μέτρησης. Η μέθοδος εφαρμόζεται σύμφωνα με τις κατευθύνσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 16581:2015 «*Συντήρηση πολιτιστικής κληρονομιάς - Επιφανειακή προστασία για πορώδη ανόργανα υλικά - Εργαστηριακές μέθοδοι δοκιμής για την αξιολόγηση της επίδοσης προϊόντων υδατοστεγάνωσης*», το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για υλικά πολιτιστικής κληρονομιάς.

Επιλέγονται αντιπροσωπευτικές θέσεις μέτρησης, αποφεύγοντας ζώνες με ορατές ρηγματώσεις ή αποκολλήσεις, εκτός εάν αυτές αποτελούν αντικείμενο μελέτης. Η συσκευή στερεώνεται μηχανικά ή συγκρατείται σταθερά με ειδικό οδηγό, ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε πλευρική μετατόπιση κατά τη διάρκεια της διάτρησης. Η ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού (ενδεικτικά 600 rpm) και ο ρυθμός διείσδυσης (ενδεικτικά 20 mm/min) διατηρούνται σε σταθερές και χαμηλές τιμές για την αποφυγή θραύσης του υλικού. Η διάτρηση πραγματοποιείται συνήθως έως βάθος 40 mm και τα δεδομένα καταγράφονται αυτόματα μέσω ειδικού λογισμικού για περαιτέρω ανάλυση.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, το προφίλ δύναμης διάτρησης συναρτήσει βάθους επιτρέπει την ανίχνευση ζωνών διαφορετικής σκληρότητας, την εκτίμηση του βαθμού φθοράς ή αποσάθρωσης, καθώς και τη σύγκριση πριν και μετά από επεμβάσεις στερέωσης.

Οι βασικοί περιορισμοί της μεθόδου στα μνημεία είναι α) η διενέργεια οπής στην εξεταζόμενη επιφάνεια, η οποία πρέπει να πληρωθεί με συμβατό υλικό αποκατάστασης, β) η ανάγκη προσεκτικής επιλογής θέσης μέτρησης ώστε να ελαχιστοποιείται η αισθητική και δομική επίπτωση στο μνημείο, και γ) η απαίτηση για εξειδικευμένο προσωπικό τόσο κατά την εκτέλεση όσο και κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

3. Χρωματομετρία (Colorimetry)

Σε εφαρμογές μνημείων χρησιμοποιείται φορητό χρωματόμετρο, βαθμονομημένο βάσει λευκού προτύπου αναφοράς. Το χρωματικό σύστημα που προτείνεται να χρησιμοποιείται είναι το CIE $L^*a^*b^*$. Πρέπει να καταγράφεται η γεωμετρία μέτρησης του οργάνου (π.χ. $d/8^\circ$ ή $45^\circ/0^\circ$), ώστε να διασφαλίζεται η συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών φάσεων μέτρησης. Για τραχείς ή πορώδεις επιφάνειες (λίθοι, κονιάματα, frescoes, τοιχογραφίες) μνημείων προτείνεται γεωμετρία $d/8^\circ$, όπου η χρήση σφαίρας ολοκλήρωσης διαχέει ομοιόμορφα το φως και παρέχει πιο σταθερά αποτελέσματα ανεξάρτητα από την υφή της επιφάνειας. Στη γεωμετρία $45^\circ/0^\circ$ όπου το φως προσπίπτει υπό 45° και η ανίχνευση γίνεται κάθετα (εγγύτερα στην ανθρώπινη οπτική αντίληψη), η τραχύτητα της επιφάνειας έχει μεγαλύτερη επίδραση και δεν ενδείκνυται στις τραχείς ή πορώδεις επιφάνειες. Αντίστοιχα, σε λείες επιφάνειες (π.χ. μάρμαρο) μνημείων και οι δύο γεωμετρίες δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Για την προετοιμασία των μετρήσεων, η επιφάνεια απαλλάσσεται από χαλαρά σωματίδια σκόνης και ρύπους χωρίς τη χρήση υγρών ή διαλυτών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη χρωματική απόκριση. Καθορίζεται κένναβος μετρήσεων με αντιπροσωπευτικά σημεία ανά υποπεριοχή, αποφεύγοντας ζώνες με εμφανείς τοπικές αλλοιώσεις (ρηγματώσεις, αποκολλήσεις, βιολογική ανάπτυξη), εκτός εάν αυτές αποτελούν αντικείμενο μελέτης. Σε κάθε σημείο πραγματοποιούνται τουλάχιστον 3 διαδοχικές μετρήσεις και λαμβάνεται η μέση τιμή. Ο αισθητήρας του οργάνου εφαρμόζεται σταθερά και κάθετα στην επιφάνεια, ώστε να αποφεύγεται η είσοδος εξωτερικού φωτός.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, υπολογίζεται η συνολική χρωματική διαφορά ΔE^*ab μεταξύ των μετρήσεων αναφοράς και των μεταγενέστερων μετρήσεων. Τιμές $\Delta E^*ab < 1$ θεωρούνται μη ορατές με γυμνό μάτι, τιμές 1–3 αντιστοιχούν σε οριακά αντιληπτή αλλοίωση, ενώ τιμές > 3 υποδηλώνουν εμφανή χρωματική μεταβολή που χρήζει αξιολόγησης.

Οι βασικοί περιορισμοί της μεθόδου στα μνημεία είναι α) η επίδραση της τραχύτητας της επιφάνειας στην επαναληψιμότητα των μετρήσεων, β) η ευαισθησία του οργάνου στις συνθήκες περιβαλλοντικού φωτισμού κατά την επιτόπου εφαρμογή, και γ) η περιορισμένη διάμετρος της κεφαλής μέτρησης, που καθιστά δύσκολη την αντιπροσωπευτική δειγματοληψία σε ετερογενείς ή έντονα ανάγλυφες επιφάνειες.

4. Ενδοσκοπηση

Σε εφαρμογές σε μνημεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο κατηγορίες ενδοσκοπίων:

- α) Εύκαμπτα ενδοσκόπια: Επιτρέπουν την πρόσβαση σε εσωτερικούς χώρους και κοιλότητες μέσω μη ευθύγραμμων διαδρομών. Είναι προτιμητέα η χρήση τους, καθώς δεν απαιτείται η διάνοιξη ευθύγραμμης οπής μέσω της οποίας θα εισαχθεί το ενδοσκόπιο
- β) Άκαμπτα ενδοσκόπια: Πλεονεκτούν, γενικά, ως προς την ευκολία προσανατολισμού στον εσωτερικό χώρο. Μειονέκτημά τους είναι ότι συνήθως απαιτούν την διάνοιξη οπής, καθώς σπάνια υπάρχουν ευθύγραμμες διαδρομές προς χρήση.

Για την προετοιμασία της ενδοσκοπησης, επιλέγονται κατά προτίμηση υπάρχοντα ανοίγματα σε ρηγματώσεις και αρμούς τοιχοποιίας, ή υφιστάμενες οπές και διάκενα προς αποφυγή νέας διάνοιξης. Όταν αυτό δεν είναι εφικτό, διανοίγεται οπή με διάμετρο ελάχιστα μεγαλύτερη από την διάμετρο του διαθέσιμου ενδοσκοπίου αλλά και όσο τον δυνατόν μικρότερης τιμής ώστε να ελαχιστοποιείται η αισθητική και δομική επίδραση. Συνιστάται η οπή να καθαρίζεται από την σκόνη διάτρησης με χρήση πνευματικών μέσων, εφόσον αυτό δεν επηρεάζει τα ευρήματα. Συνιστάται το ενδοσκόπιο να συνδέεται με φορητό Η/Υ ή συσκευής καταγραφής εικόνας ή βίντεο και σημείωση του βάθους εισχώρησης σε κάθε σημαντική παρατήρηση, για αξιολόγηση των ευρημάτων σε μεταγενέστερα στάδια. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται εύκαμπτο ενδοσκόπιο με δυνατότητα περιστροφής της κεφαλής παρατήρησης, πρέπει να δίνεται προσοχή στον προσανατολισμό της εικόνας παρατήρησης, ιδιαίτερα σε εσωτερικές κοιλότητες πολύπλοκης μορφολογίας και γεωμετρίας.

Οι βασικοί περιορισμοί της ενδοσκοπησης στα μνημεία είναι α) η ανάγκη διάνοιξης οπής όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο φυσικό άνοιγμα, με τις συνακόλουθες απαιτήσεις αδειοδότησης και αποκατάστασης, β) ο σημειακός χαρακτήρας της παρατήρησης, που περιορίζει την οπτική κάλυψη στο διαθέσιμο μήκος της οπής και του καλωδίου ή σωλήνα ενδοσκοπίου, γ) οι περιορισμοί πρόσβασης σε στενές, υγρές κοιλότητες ή κοιλότητες με συσσωρευμένα θραύσματα.

5. Σωλήνες Karsten

Η μέθοδος αφορά στην χρήση σωλήνων Karsten (Karsten tube / pipe test) κατάλληλης χωρητικότητας (συνήθως 4 ml), οι οποίοι στερεώνονται στην επιφάνεια με αναστρέψιμο στεγανωτικό υλικό (π.χ. ειδικό κερί ή σιλικόνη) που δεν αφήνει κατάλοιπα και δεν αλλοιώνει το υλικό του μνημείου. Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16302:2013 και μετρά την ποσότητα νερού που απορροφάται από την επιφάνεια συναρτήσεως του χρόνου υπό σταθερή υδροστατική πίεση.

Ειδικότερα, για την προετοιμασία των μετρήσεων, απομακρύνονται τα όποια χαλαρά σωματίδια και οι ρύποι. Επιλέγονται αντιπροσωπευτικές θέσεις μέτρησης αποφεύγοντας ζώνες με ορατές ρηγματώσεις, αποκολλήσεις ή έντονη βιολογική ανάπτυξη, εκτός εάν αυτές αποτελούν αντικείμενο αξιολόγησης. Καταγράφονται οι επικρατούσες συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος). Ο σωλήνας πληρώνεται με απεσταγμένο νερό και καταγράφεται η στάθμη ανά τακτά χρονικά διαστήματα έως ότου η απορρόφηση σταματήσει ή παρέλθει η προκαθορισμένη διάρκεια δοκιμής. Για κάθε θέση πραγματοποιούνται τουλάχιστον 3 επαναλήψεις και λαμβάνεται η μέση τιμή. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, καταγράφεται ο ρυθμός απορρόφησης (ml/min) και η συνολική απορροφηθείσα ποσότητα νερού. Πολύ χαμηλοί ρυθμοί απορρόφησης ή μηδενική απορρόφηση υποδηλώνουν είτε πυκνό και αδιαπέραστο υλικό είτε παρουσία υδροφοβικής επίστρωσης, ενώ υψηλοί ρυθμοί απορρόφησης υποδεικνύουν αυξημένη πορώδη δομή ή απουσία προστατευτικής επίστρωσης.

Οι βασικοί περιορισμοί εφαρμογής της μεθόδου στα μνημεία είναι α) η επίδραση των συνθηκών περιβάλλοντος στα αποτελέσματα, β) η δυσκολία σταθερής στερέωσης του σωλήνα σε έντονα ανάγλυφες επιφάνειες (καθώς μπορεί να οδηγήσει σε διαρροή και αναξιόπιστα αποτελέσματα), και γ) η σημειακή φύση της μέτρησης, που απαιτεί επαρκή αριθμό δοκιμών και σε άλλα σημεία για εξαγωγή πιο γενικευμένων συμπερασμάτων.

Παράρτημα Β-II. Χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων

II-1 Οι τεχνικές χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων

A.1 Ψηφιακή μικροσκοπία (Digital Microscopy - DM)

Η τεχνική παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Όσον αφορά στην αξιοποίηση της τεχνικής για τον χαρακτηρισμό ιστορικών κονιαμάτων, μέσω της λήψης εικόνων των κονιαμάτων σε μεγέθυνση, μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για την υφή και τη μορφολογία του κονιάματος, για την παρουσία αδρανών και τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά αυτών, τη συνάφεια αδρανών-κονίας, τη συνάφεια κονιάματος δομικού λίθου/πλίνθου (ανά περίπτωση), τη συνεκτικότητα του κονιάματος, την παρουσία αλάτων ή άλλων προϊόντων φθοράς, την παρουσία συσσωματωμάτων κονίας, την παρουσία ινών ή άλλων προσθέτων, την παρουσία κάρβουνου, κ.α.. Σε κάποιες περιπτώσεις πραγματοποιείται ψηφιακή επεξεργασία εικόνας σε εικόνες ψηφιακής μικροσκοπίας για την καλύτερη οπτικοποίηση των παρατηρήσεων και την ημι-ποσοτικοποίηση αυτών. Ωστόσο οι παρατηρήσεις διαμέσου ψηφιακής μικροσκοπίας είναι ουσιαστικά μακροσκοπικής φύσεως, ενώ δεν επιτυγχάνει μεγάλες μεγεθύνσεις.

A.2) Οπτική μικροσκοπία (Optical Microscopy)

Η οπτική μικροσκοπία (OM) συνίσταται στην παρατήρηση λεπτών τομών του κονιάματος διαμέσου οπτικού μικροσκοπίου, καθιστώντας δυνατή τη μικροσκοπική και την πετρογραφική του μελέτη, δηλαδή την αναγνώριση των ορυκτών που το αποτελεί, τη μελέτη της κονίας, τη μελέτη της διεπιφάνειας κονίας-αδρανών, την μελέτη των αδρανών και την ταυτοποίηση των ορυκτολογικών τους φάσεων, τη μελέτη της κοκκομετρίας των αδρανών διαμέσου μέτρησης των διαστάσεών τους, την μελέτη της φθοράς διαμέσου παρατήρησης ρηγματώσεων, παρατήρησης ρηγματώσεων στις οποίες έχει εισχωρήσει και κρυσταλλωθεί δευτερογενές υλικό, τη μελέτη τυχόν πρόσθετων, κ.α..

A.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (Scanning Electron Microscopy – SEM)

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) αποτελεί μέθοδο παρατήρησης που επιτρέπει πολύ μεγάλες μεγεθύνσεις, που μπορεί να φτάσουν και τα 1.000.000. Συνήθως η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης συνδυάζεται με μικροανάλυση με διασπορά ενέργειας ακτίνων Χ (SEM-EDX), ώστε παράλληλα να λαμβάνονται και φάσματα των στοιχείων υπό παρατήρηση (δηλαδή να πραγματοποιείται και στοιχειακή ανάλυση), επιλέγοντας είτε σημείο του δείγματος, είτε περιοχή, ώστε να μελετηθεί η παρουσία στοιχείων (και η μεταβολή αυτών) στο δείγμα. Λόγω των μεγάλων μεγεθύνσεων που καθίστανται δυνατές, η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη μελέτη των κονιαμάτων. Λαμβάνονται πληροφορίες για: τη μικροδομή, τη φύση των αδρανών και της μήτρας της κονίας στην οποία είναι ενσωματωμένα τα αδρανή, τα φαινόμενα που έχουν λάβει χώρα στη διεπιφάνεια αδρανών-κονίας ή κονιάματος δομικού λίθου/πλίνθου (ανά περίπτωση δείγματος), την παρουσία φθοράς και σε κάποιες περιπτώσεις το μέτωπο αυτής, την ύπαρξη στρώσεων του κονιάματος, την ύπαρξη προσθέτων κ.α.. Ωστόσο αξίζει να τονιστεί ότι η μικροανάλυση αποτελεί στοιχειακή ανάλυση, συνεπώς γίνεται εκτίμηση σχετικά με τις ενώσεις στις οποίες είναι δεσμευμένα τα στοιχεία που ανιχνεύονται, η αξιοπιστία της οποίας εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του κονιάματος και την εμπειρία του χειριστή-ερευνητή.

Στις εικόνες που λαμβάνονται διαμέσου των δυο τελευταίων μεθόδων, πραγματοποιείται σε κάποιες περιπτώσεις ψηφιακή επεξεργασία εικόνας για την εξεύρεση της αναλογίας κονίας-αδρανών και την εκτίμηση της κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών, καθώς και για τη μελέτη του πορώδους του κονιάματος. Ωστόσο, τονίζεται ότι τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι

μια εκτίμηση και μπορεί να απέχουν από τις πραγματικές τιμές, καθώς γίνονται διάφορες παραδοχές ως προς τη φαινόμενη πυκνότητα των επί μέρους συστατικών και τη γεωμετρία των αδρανών, ενώ, παράλληλα, η λεπτή/στιλπνή τομή (αναλόγως της μεθόδου) αποτελεί μικρό τμήμα του κονιάματος, το οποίο δύναται να μην είναι αντιπροσωπευτικό ως προς κάποια χαρακτηριστικά, ενώ παράλληλα, η μετάβαση της πληροφορίας από τον δισδιάστατο χώρο της εικόνας στον τρισδιάστατο χώρο των συστατικών του κονιάματος, αλλά και του πορώδους, που αφορά σε όγκο, ενέχει παραδοχές που συνήθως δεν ισχύουν, μειώνοντας την αξιοπιστία και την ακρίβεια των λαμβανόμενων αποτελεσμάτων. Παράλληλα, η μελέτη του πορώδους ειδικότερα, δυσχεραίνεται και από το γεγονός ότι δεν μπορεί να αποσαφηνιστεί το ανοιχτό πορώδες, διαμέσου του οποίου λαμβάνουν χώρα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, από το κλειστό, το οποίο δεν μετέχει σε αυτές τις διαδικασίες.

A.4) Φασματομετρία περίθλασης ακτίνων Χ (X-ray Diffraction Spectroscopy – XRD)

Η ορυκτολογική ανάλυση ενός κονιάματος συνήθως πραγματοποιείται διαμέσου περίθλασης ακτίνων Χ (XRD), όπου επιτυγχάνεται η ανίχνευση κρυσταλλικών ενώσεων. Η μέθοδος ανιχνεύει κρυσταλλικές ενώσεις που βρίσκονται στο δείγμα σε ικανό ποσοστό (τουλάχιστον 3-5% αναλόγως). Οι διάφορες κρυσταλλικές ενώσεις αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κορυφές στο διάγραμμα που προκύπτει διαμέσου της ανάλυσης. Οι άμορφες ενώσεις, όπως οι υαλώδης φάσεις των ποζολανών ή οι άμορφες αργιλοπυριτικές ενώσεις των υδραυλικής φύσεως κονιαμάτων, σπανίως ανιχνεύονται, τουναντίον, δύναται να προκαλέσουν «θόρυβο» δυσχεραίνοντας την αναγνώριση των κορυφών των κρυσταλλικών ενώσεων. Η ανάλυση διαμέσου περίθλασης ακτίνων Χ αποτελεί ποιοτική ανάλυση, ωστόσο η σχετική ένταση των κορυφών συνδέεται με την σχετική ποσότητα της κάθε κρυσταλλικής ένωσης στο δείγμα, επιτρέποντας την ταυτοποίηση της κύριας ορυκτολογικής φάσης (ή των κύριων ορυκτολογικών φάσεων), καθώς και τη σχετική περιεκτικότητα των δευτερευουσών ορυκτολογικών ενώσεων (ημι-ποσοτικά αποτελέσματα), ενώ εφαρμόζοντας τη μέθοδο Rietveld η περίθλαση ακτίνων Χ μπορεί να δώσει ποσοτικά αποτελέσματα, ωστόσο επί των κρυσταλλικών ενώσεων.

A.5) Θερμική ανάλυση (Thermal Analysis – TA)

Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός της σύστασης ενός ιστορικού κονιάματος, είναι μια εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη ότι το ιστορικό κονίαμα πρόκειται για ένα σύνθετο υλικό, το οποίο έχει υποστεί τη φθορά του χρόνου και τυχόν αρνητικών περιβαλλοντικών παραγόντων. Η θερμική ανάλυση και συγκεκριμένα η θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG) σε συνδυασμό με τη διαφορική θερμική ανάλυση ή τη διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DTA, DSC, αντίστοιχα) αποτελεί, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, την πιο διαδεδομένη μέθοδο για τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό της σύστασης ενός κονιάματος. Βάσει της απώλειας μάζας (αποτέλεσμα θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης) που καταγράφεται σε διάφορα θερμοκρασιακά διαστήματα, και που συνδέεται με ποικίλες χημικές αντιδράσεις αφυδάτωσης, αφυδροξυλίωσης, διάσπασης, κ.α., αναλόγως της θερμοκρασίας στην οποία λαμβάνει χώρα, μπορεί να υπολογιστεί η σύσταση του αρχικού κονιάματος σε διάφορες ενώσεις. Παράλληλα, διαμέσου της διαφορικής θερμικής ανάλυσης (ή της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης αναλόγως) καταγράφονται οι ενεργειακές μεταβολές που υφίσταται το κονίαμα και που σχετίζονται με συγκεκριμένες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα αναλόγως της σύστασης. Η ταυτόχρονη χρήση και των δυο μεθόδων συντελεί σε μια ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της σύστασης του κονιάματος, ενώ, ο λόγος του ποσοστού απώλειας μάζας λόγω διάσπασης ανθρακικών ενώσεων προς την απώλεια μάζας λόγω διάσπασης και εξάτμισης των νερών των υδραυλικών ενώσεων ενός κονιάματος

(ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας) δίνει πληροφορίες σχετικά με την υδραυλικότητα ενός κονιάματος, δηλαδή αν είναι υδραυλικής φύσεως και σε τι βαθμό. Τονίζεται στο σημείο αυτό ότι όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη, τόσο πιο υδραυλικό είναι το κονίαμα. Συνοπτικά, σε θερμοκρασίες μέχρι 120°C η απώλεια μάζας οφείλεται στην παρουσία υγροσκοπικών ή φυσικά δεσμευμένων νερών, στο θερμοκρασιακό διάστημα 120-200 °C αποβάλλεται το νερό των ένυδρων αλάτων (π.χ. τα κρυσταλλικά νερά του γύψου), στο διάστημα 200-600 °C αποβάλλεται το χημικά δεσμευμένο νερό των ένυδρων αργιλοπυριτικών φάσεων ή τυχόν υδροξειδίου του ασβεστίου ή του μαγνησίου και πραγματοποιείται αφυδάτωση ή και καύση τυχόν οργανικών προσμίξεων, ενώ σε θερμοκρασίες άνω των 600°C αποβάλλεται το CO₂ που είναι προϊόν διάσπασης ανθρακικών ενώσεων στο δείγμα. Φυσικά, αναλόγως της σύστασης, μπορεί να λαμβάνει χώρα πληθώρα αντιδράσεων με μεταβολή μάζας. Προφανώς, οι ενώσεις που δεν αφυδατώνονται ή διασπώνται με τη δημιουργία ενός πτητικού προϊόντος, ταυτοποιούνται μόνο μέσω της διαφορικής θερμικής ανάλυσης. Για παράδειγμα η μετατροπή του χαλαζία από χαλαζία-α □ χαλαζία-β, στους 573°C, αποτελεί ενδόθερμο φαινόμενο χωρίς μεταβολή μάζας.

A.6) Λοιπές αναλυτικές τεχνικές για την αποκάλυψη της σύστασης ιστορικών κονιαμάτων

Η ανάλυση της σύστασης ενός κονιάματος, μπορεί να επιτευχθεί και με άλλες μεθόδους, οι οποίες ωστόσο συνήθως δρουν υποστηρικτικά στην θερμική ανάλυση. Τις πιο διαδεδομένες αποτελούν η ασβεστομετρία, διαμέσου της οποίας προσδιορίζεται το περιεχόμενο ανθρακικών ενώσεων, η φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FT-IR), διαμέσου της οποίας πραγματοποιείται ανίχνευση χαρακτηριστικών ενώσεων, ή προϊόντων φθοράς σε ποιοτικό και ημι-ποσοτικό επίπεδο, η στοιχειακή ανάλυση μέσω φασματοσκοπίας με φθορισμό ακτίνων X (XRF), όπου προσδιορίζονται ποσοτικά τα στοιχεία και όχι οι ενώσεις τις οποίες αποτελούν, και η κλασσική χημική ανάλυση, η οποία γίνεται για τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό των χημικών ενώσεων του κονιάματος, η οποία αν και πολύ χρήσιμη, εντούτοις παρουσιάζει αρκετούς περιορισμούς όσον αφορά τα ιστορικά κονιάματα ως σύνθετα υλικά. Συγκεκριμένα για την ανίχνευση οργανικών ενώσεων στα ιστορικά κονιάματα, επιπλέον του FT-IR, το οποίο έχει καλή διακριτική ευχέρεια στην αναγνώρισή τους, υπάρχει και πληθώρα χημικών μεθόδων που μπορούν να βοηθήσουν στην ανίχνευσή τους διαμέσου συγκεκριμένων αντιδραστηρίων. Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης διαμέσου ακτίνων X, καθώς και ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός της σύστασης ενός κονιάματος, μπορούν να λάβουν χώρα είτε επί του συνόλου του δείγματος, είτε στο τμήμα της κονίας και των αδρανών, χωριστά, μετά από φυσικό διαχωρισμό. Η δεύτερη προσέγγιση προσδίδει το πλεονέκτημα της διαφοροποίησης της σύστασης (ορυκτολογικής ή/και χημικής αντίστοιχα) της κονίας από τη σύσταση των αδρανών. Ο πιο συνήθης τρόπος διαχωρισμού είναι διαμέσου κοκκοδιαβάθμισης του κονιάματος χρησιμοποιώντας πρότυπα κόσκινα, όπου, διαμέσου του φυσικού διαχωρισμού, καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της αναλογίας κονίας/αδρανών, καθώς και η ανάλυση της κοκκομετρικής διαβάθμισης και κατανομής των αδρανών του κονιάματος. Σημειώνεται ότι ως κλάσμα της κονίας του κονιάματος θεωρείται το τμήμα που διέρχεται το κόσκινο των 63μm.

A.7) Μελέτη μικροδομής ιστορικών κονιαμάτων

Ο πιο αξιόπιστος τρόπος για τη μελέτη της μικροδομής ενός ιστορικού κονιάματος είναι η ποροσιμετρία υδραργύρου (MIP). Η τεχνική βασίζεται στη βαθμιαία διείσδυση υδραργύρου (μη διαβρέχον υγρό) σε ένα πορώδες υλικό εκκενωμένο από αέρα, με αύξηση της εξωτερικής

πίεσης. Η ποροσιμετρία υδραργύρου επιτρέπει την μελέτη της κατανομής των πόρων και διαμέσου αυτής προσδιορίζονται και χαρακτηριστικές παράμετροι μικροδομής των κονιαμάτων (ολικός ειδικός όγκος, ειδική επιφάνεια, φαινόμενη και διορθωμένη φαινόμενη πυκνότητα, ολικό πορώδες, μέση ακτίνα πόρων). Η μικροδομή ενός ιστορικού κονιάματος είναι ιδιαιτέρως σημαντική, καθώς τα χαρακτηριστικά της καθορίζουν μια σειρά άλλων ιδιοτήτων του κονιάματος (π.χ. φαινόμενα μεταφοράς μάζας), ενώ, ιδιαίτερα για τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που συνδέονται και με μηχανισμούς διάβρωσής και την ανθεκτικότητα των κονιαμάτων, το μέγεθος των πόρων και η κατανομή του πορώδους σε σχέση με την ακτίνα των πόρων, παίζουν σημαντικό ρόλο. Η ποροσιμετρία υδραργύρου πλεονεκτεί έναντι άλλων μεθόδων και ως προς το εύρος των πόρων που υπολογίζει και λόγω του ότι η μέτρηση γίνεται στον τρισδιάστατο χώρο, με ελάχιστες παραδοχές σε σχέση με άλλες μεθόδους. Παράλληλα δίνει τις περισσότερες πληροφορίες, επιτρέποντας την πλήρη κατανόηση του δικτύου πόρων του κονιάματος.

Η μελέτη της μικροδομής γίνεται επίσης έμμεσα μέσω (i) μετρήσεων υδαταπορρόφησης διαμέσου ολικής εμβάπτισης σε νερό, όπου είναι δυνατή η εκτίμηση του ολικού ανοιχτού πορώδους ενός δείγματος προσβάσιμου στο νερό, το ποσοστό απορρόφησης νερού, καθώς και η φαινόμενη πυκνότητα του κονιάματος, (ii) μετρήσεων υδαταπορρόφησης διαμέσου τριχοειδούς αναρρίχησης, όπου εξαгонται αποτελέσματα σε σχέση με το ολικό ανοιχτό πορώδες του υλικού προσβάσιμο διαμέσου τριχοειδών πόρων. Η τελευταία τεχνική, παρόλο που είναι ιδιαιτέρως σημαντική (η τριχοειδής αναρρίχηση υγρασίας και διαλυμάτων αλάτων είναι σύνηθες να προσβάλει μια τοιχοποιία και άρα τα δομικά της υλικά), ωστόσο σπανίως μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ιστορικά κονιάματα, λόγω περιορισμών στη δειγματοληψία και στην γεωμετρία των εξαγόμενων δειγμάτων. Τουναντίον, το ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό διαμέσου ολικής εμβάπτισης, είναι μια μέτρηση που μπορεί πιο εύκολα να εφαρμοστεί, καθώς δεν έχει αυστηρές απαιτήσεις γεωμετρίας και κανονικότητας σχήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν και οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να προσφέρουν πληροφορίες για το κρίσιμο μέγεθος του πορώδους, καθώς και πληροφορίες για τα υδρομετρικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση ιστορικών κονιαμάτων, εντούτοις δεν προσφέρουν πληροφορίες σε σχέση με την κατανομή και τα μεγέθη των πόρων, ενώ επηρεάζονται και από την υδροσκοπικότητα του κάθε υλικού. Η παρουσία αλάτων στο κονίαμα και όταν κάποια από τα συστατικά του κονιάματος είναι διαλυτά στο νερό, αποτελούν περιορισμούς στην εφαρμογή της.

Ως επί τω πλείστων, το ολικό πορώδες που υπολογίζεται διαμέσου ποροσιμετρίας υδραργύρου παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή από το ολικό ανοιχτό πορώδες που υπολογίζεται διαμέσου ολικής εμβάπτισης, όπου δεν συμμετέχουν κάποια εύρη πόρων, ενώ τη χαμηλότερη τιμή υπολογίζεται διαμέσου των πειραμάτων υδαταπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, όπου συμμετέχει στο φαινόμενο ακόμα μικρότερο τμήμα των πόρων του κονιάματος.

A.8) Μελέτη των περιεχόμενων διαλυτών αλάτων

Κατά τη μελέτη ενός ιστορικού κονιάματος είναι απαραίτητη και η μελέτη των διαλυτών αλάτων που εμπεριέχουν, καθώς είναι ενδεικτικά των παραγόντων φθοράς που βάλλουν το μνημείο, καθώς και της φθοράς που έχουν υποστεί τα δομικά του υλικά και συγκεκριμένα τα κονιάματα. Μια απλή μέθοδος, και η πιο συνήθης, είναι η μέτρηση ολικών διαλυτών αλάτων διαμέσου αγωγιμομετρίας σύμφωνα με το Normal 13/83, η οποία συνήθως συμπληρώνεται με μετρήσεις ποιοτικής ανίχνευσης των πιο συνηθισμένων ανιόντων και συγκεκριμένα χλωριόντων, θειικών ιόντων και νιτρικών ιόντων. Θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη η φύση του κονιάματος

κατά την αποτίμηση των αποτελεσμάτων, για παράδειγμα τα γυψοκονιάματα παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές τιμές λόγω της παρουσίας γύψου (διαλυτό άλας) ως συνδετικό υλικό και όχι ως προϊόν ή παράγοντας φθοράς. Άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση διαλυτών αλάτων σε ιστορικά κονιάματα είναι η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (ASS).

A.9) Μηχανικές ιδιότητες

Σημαντικό στοιχείο των ιστορικών κονιαμάτων, ιδιαίτερα για την αποτίμηση της τρωτότητας ενός μνημείου ή μιας ιστορικής κατασκευής, είναι οι μηχανικές του ιδιότητες. Ωστόσο, οι περιορισμοί στη δειγματοληψία, αλλά και το πάχος του αρμού (στις περισσότερες περιπτώσεις) δεν επιτρέπει τη λήψη δειγμάτων ικανού μεγέθους και γεωμετρίας που να επιτρέπει την εκτίμηση των μηχανικών αντοχών (αντοχή σε θλίψη) του ιστορικού κονιάματος, με εξαίρεση ελάχιστες περιπτώσεις. Γι' αυτό και έχουν αναπτυχθεί άλλες τεχνικές για τη μέτρηση των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Η πιο ευρέως διαδεδομένη τεχνική για την μέτρηση ακανόνιστων δειγμάτων κονιάματος, είναι η δοκιμή μονοαξονικού εφελκυσμού επί θραυσμάτων κονιαμάτων (fragment test method). Στη μέθοδο αυτή, το κονίαμα εγκιβωτίζεται στις δυο του πλευρές μέσα σε σκληρή μήτρα από εποξειδική ρητίνη και υπόκειται σε μηχανική καταπόνηση σε συγκεκριμένη διάταξη.

Καθώς το ιστορικό κονίαμα, όπως προαναφέρθηκε, είναι ένα σύνθετο υλικό, η αξιοποίηση πολλών διαφορετικών συμπληρωματικών τεχνικών και η συναξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους, αποτελεί τη βέλτιστη μεθοδολογία χαρακτηρισμού τους, που χαίρει και καθολικής αποδοχής στην επιστημονική κοινότητα, ενώ οι ερευνητές, αναλόγως και του διαθέσιμου εξοπλισμού, δύναται να συνδυάζουν διάφορες τεχνικές. Αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό όταν η μελέτη των ιστορικών κονιαμάτων γίνεται με σκοπό την ανάπτυξη συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης, όπου η επίτευξη της συμβατότητας αφορά σε ποικίλα χαρακτηριστικά του ιστορικού κονιάματος. Με βάση τα προαναφερθέντα, στην Εικόνα 5.2.6.4.6-1 παρατίθεται σχηματικά μια μεθοδολογική προσέγγιση για την επίτευξη του χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων και τη διάγνωση της φθοράς τους, η οποία βασίζεται στην μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του ΕΜΠ. Συνοπτικά, ο χαρακτηρισμός πραγματοποιείται επί του συνόλου του δείγματος, αποσκοπώντας στη μικροσκοπική και ορυκτολογική ανάλυση, στον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό της σύστασης, στη μελέτη της μικροδομής, στον προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων και στη μελέτη των μηχανικών του ιδιοτήτων. Παράλληλα, γίνονται και μετρήσεις επί της κονίας ή/και επί των αδρανών, μετά από φυσικό διαχωρισμό του κονιάματος, ώστε να μελετηθούν τμηματικά. Ο φυσικός διαχωρισμός μέσω κοκκομετρίας, παρέχει και πληροφορίες σε σχέση με τη σύνθεση του κονιάματος, ως προς την αναλογία κονίας/αδρανών και την κοκκομετρική καμπύλη του αδρανούς.

II-2 Ταξινόμηση ιστορικών κονιαμάτων

Η ταξινόμηση των ιστορικών κονιαμάτων μπορεί να επιτευχθεί διαμέσου διαφόρων προσεγγίσεων. Κάποιοι μελετητές επιλέγουν τη χρήση μιας τεχνικής για την ταξινόμηση των ιστορικών κονιαμάτων σε κατηγορίες, ενώ άλλες προσεγγίσεις αναφέρουν μια πιο ολιστική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα διαφόρων τεχνικών.

Εν τω συνόλω τα ιστορικά κονιάματα αρχικά μπορούν να καταταχθούν σε διάφορες κατηγορίες, αναλόγως της κονίας που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή τους, όπως αυτή αποτιμάται από τη μελέτη του τμήματος της κονίας του συνολικού κονιάματος σε:

-
- Πηλοκονιάματα
 - Γυψοκονιάματα
 - Ασβεστίτικα κονιάματα και κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου

Τα πηλοκονιάματα αποτελούν μίξη πηλού και άμμου, που παρουσιάζουν τον χαλαζία ως κύρια ορυκτολογική φάση. Πολλές φορές γινόταν και μίξη του πηλού με γύψο ή υδράσβεστο με σκοπό την αύξηση των μηχανικών αντοχών του κονιάματος, ενώ η ανάμιξη με ασβέστη είχε σκοπό και τη σταθεροποίηση του κονιάματος και τη βελτίωση της ανθεκτικότητάς του έναντι της δράσης της υγρασίας (ασβεστο-πηλοκονιάματα), αναιρώντας ως εκ τούτου, έως έναν βαθμό, τα αρνητικά χαρακτηριστικά των εν λόγω κονιαμάτων. Στα πηλοκονιάματα είναι συνήθης η παρουσία οργανικών προσμίξεων, είτε προερχόμενων από την ίδια την πρώτη ύλη, είτε ως πρόσθετα για αύξηση της υδροφοβίωσης (και άρα της ανθεκτικότητάς τους) ή για αύξηση της συνοχής τους (στην περίπτωση αυτή είναι συνήθης η παρουσία άχυρου και άλλων φυτικών προσθέτων).

Τα γυψοκονιάματα αποτελούν μίξη γύψου και αδρανών, όπου τις περισσότερες φορές η αναλογία κονιάς αδρανών είναι μεγάλη, καθώς ο γύψος δεν συρρικνώνεται, σε αντίθεση με τα ασβεστίτικα κονιάματα. Τα γυψοκονιάματα παρουσιάζουν τον γύψο ως κύρια ορυκτολογική ένωση. Σε αρκετές περιπτώσεις έχουν βρεθεί κονιάματα μίξης γύψου-ασβέστη σε διάφορες αναλογίες, με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων του κονιάματος: η παρουσία γύψου μειώνει την συρρίκνωση του κονιάματος, μειώνοντας την εμφάνιση μικρορηγματώσεων, προσδίδει πρώιμες αντοχές, ενώ η παρουσία ασβέστη αυξάνει τον χρόνο εργασιμότητας του νωπού κονιάματος κατά την εφαρμογή του και βελτιώνει ελαφρώς την ανθεκτικότητά του στη δράση της υγρασίας. Στα γυψοκονιάματα ήταν αρκετά συνήθης η χρήση οργανικών προσθέτων είτε για την βελτίωση ιδιοτήτων του κονιάματος, είτε για την αύξηση της συνοχής του.

Τα ασβεστίτικα κονιάματα, κατηγορία η οποία και απαντάται σε μνημεία και ιστορικά κτήρια με την μεγαλύτερη συχνότητα, εμπεριέχει πολλές υποκατηγορίες, ανάλογα με τη σύσταση των πρώτων υλών, τον τρόπο ανάμειξης του κονιάματος, τον τρόπο εφαρμογής του και την ύπαρξη ποζολάνης ή/και ενεργών αδρανών:

Τα τυπικά ή συμβατικά ασβεστίτικα κονιάματα παρασκευάζονταν με χρήση υδρασβέστου και αδρανή ασβεστίτικης ή/και αργιλοπυριτικής σύστασης, σε διάφορες αναλογίες κονιάς/αδρανών από 1:1 έως 1:4, με πιο συνήθη την αναλογία 1:3 κατά βάρος. Η υδράσβεστος λοιπόν ήταν η μοναδική κονία και προστίθετο στο κονίαμα είτε σε μορφή σκόνης είτε σε μορφή πολτού, με πιο σύνηθες το δεύτερο.

Τα ασβεστίτικα κονιάματα με παραμένον πορτλαντίτη, τα οποία είναι τυπικά ασβεστίτικα κονιάματα, όπου όμως δεν έχει ευνοηθεί η ενανθράκωση του υδροξειδίου του ασβεστίου, το οποίο παραμένει σε ικανό ποσοστό μετά από χρόνια.

Τα κονιάματα υδραυλικής ασβέστου είναι κονιάματα υδραυλικής φύσεως, που παρασκευάζονταν με χρήση φυσικής υδραυλικής ασβέστου ως μοναδικής κονιάς και ανάμιξη με αδρανή ασβεστίτικης ή/και αργιλοπυριτικής σύστασης. Η υδραυλική φύση που παρουσιάζουν τα εν λόγω κονιάματα οφείλεται στην ανάπτυξη υδραυλικών φάσεων, κυρίως ένυδρων πυριτικών ενώσεων του ασβεστίου. Η αναλογία κονιάς προς αδρανή κυμαίνεται σε ένα εύρος 1:1.5-1:4, με πιο συνήθη αναλογία 1:2 κατά βάρος. Οι ιδιότητες αυτών των κονιαμάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά (σύσταση) του αρχικού

ασβεστόλιθου που αποτέλεσε την πρώτη ύλη για την παραγωγή της υδραυλικής ασβέστου, αλλά και στη σωστή διαδικασία σβέσης της.

Τα κονιάματα με θραυσμένο κεραμικό ή τεχνητής ποζολάνης παρασκευάζονταν με χρήση υδρασβέστου ως συνδετική ύλη και με θραυσμένο κεραμικό ως τμήμα των αδρανών με το υπόλοιπο τμήμα να αποτελείτο από άμμο διαφόρων προελεύσεων. Συνήθως στα κονιάματα αυτού του τύπου γινόταν και προσθήκη κεραμάλευρου, επιπροσθέτως του θραυστού κεραμικού, όπου το πρώτο προστίθετο ως ποζολανικό πρόσμικτο (τεχνητή ποζολάνη) και το δεύτερο ως ενεργό αδρανές. Τα κονιάματα αυτά παρουσιάζουν υδραυλικό χαρακτήρα, λόγω της ύπαρξης υδραυλικών ενώσεων, οι οποίες σχηματίζονται στη διεπιφάνεια θραυστού κεραμικού και υδρασβέστου, ενώ στις περιπτώσεις που έχει προστεθεί κεραμάλευρο έχουν σχηματιστεί υδραυλικές ενώσεις και στη μήτρα της κονίας ως αποτέλεσμα της ποζολανικής αντίδρασης της υδρασβέστου με το λεπτοαλεσμένο κεραμάλευρο. Η αναλογία κονίας/αδρανών στα κονιάματα αυτά κυμαίνεται από 1:2-1:4 κατά βάρος, με πιο συνήθης την αναλογία 1:3. Η υδράσβεστος προστίθετο είτε σε μορφή σκόνης είτε πολτού, με πιο σύνθετο το δεύτερο. Οι ιδιότητες των εν λόγω κονιαμάτων είναι σε μεγάλη συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του κεραμικού. Χαρακτηριστικό αυτών των κονιαμάτων είναι η αυξημένη ελαστικότητα που παρουσιάζουν και η υψηλή αντοχή τους σε μηχανικές τάσεις. Η κατηγορίας αυτή είναι τμήμα μιας γενικότερης κατηγορίας ασβεστοπικών κονιαμάτων που ορίζονται ως κονιάματα ασβέστη-τεχνητής ποζολάνης, τα οποία είναι κονιάματα που προκύπτουν από την ανάμιξη υδρασβέστου με τεχνητή ποζολάνη και αδρανή.

Τα κονιάματα ασβέστη-φυσικής ποζολάνης είναι επίσης κονιάματα υδραυλικής φύσεως, που παρασκευάζονταν με ανάμιξη υδρασβέστου και φυσικής ποζολάνης, καθώς και αδρανή ασβεστοπικής ή/και αργιλοπυριτικής φύσεως. Η υδράσβεστος ήταν είτε σε μορφή σκόνης είτε σε μορφή πολτού. Η υδραυλική φύση των εν λόγω κονιαμάτων οφείλεται στην ποζολανική αντίδραση που λαμβάνει χώρα ανάμεσα στην υδράσβεστο και τη ποζολάνη και στην ανάπτυξη υδραυλικών ενώσεων, λόγω ποζολανικής αντίδρασης. Η αναλογία κονίας/αδρανών στα κονιάματα αυτά κυμαίνεται από 1:2-1:4 κατά βάρος, με πιο συνήθης την αναλογία 1:3. Φυσικά οι ιδιότητες αυτών των κονιαμάτων είναι σε μεγάλη εξάρτηση με τις ιδιότητες της φυσικής ποζολάνης που προστίθετο.

Τα κονιάματα υψηλής επί τόπου σβέσης της ασβέστου παρασκευάζονταν με ανάμιξη του οξειδίου του ασβεστίου, CaO (δηλαδή του προϊόντος της έψησης του αρχικού ασβεστόλιθου, πριν τη διαδικασία της σβέσης) με ποικίλα αδρανή, είτε ενεργά είτε ανενεργά, και προσθήκη νερού. Συνεπώς, στη διαδικασία αυτή, η σβέση του οξειδίου του ασβεστίου γίνεται κατά την ανάμιξη του κονιάματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, καθώς η σβέση του οξειδίου του ασβεστίου προς υδροξείδιο του ασβεστίου είναι εξώθερμη αντίδραση, οι οποίες ευνοούν την αντίδραση των ποζολανικών προσμίκτων με την παραγόμενη υδράσβεστο. Η πιο συνήθης αναλογία κονίας/αδρανών στα κονιάματα αυτά είναι 1:3 κατά βάρος, ενώ κυμαίνεται από 1:2-1:4. Τα κονιάματα αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερα υδραυλικό χαρακτήρα και υψηλές αντοχές. Η τεχνική αυτή δεν χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια, καθώς εγείρονται θέματα ασφάλειας του προσωπικού, λόγω ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών, ενώ παράλληλα, είναι μια μη ελεγχόμενη διαδικασία που δεν είναι εύκολα αναπαραγωγίσιμη. Ως κονία χρησιμοποιείτο ο ασβέστης (οξείδιο του ασβεστίου, CaO), και στις περισσότερες περιπτώσεις ποζολανικά πρόσμικτα, άργιλοι, πηλοί, ενώ σαν αδρανή χρησιμοποιείτο αδρανή ποικίλης ενεργότητας, προέλευσης και φύσεως.

Τα κονιάματα διπλής εσωτερικής τοιχοποιίας, αποτελούν ειδική κατηγορία κονιαμάτων. Η παρασκευή των εν λόγω κονιαμάτων είχε σαν σκοπό το κονίαμα να δράσει σαν πυρήνας της τοιχοποιίας, καθώς αποτελεί στρώση εκατέρωθεν της οποίας υπάρχει τοιχοποιία. Για την παρασκευή τους γινόταν είτε χρήση υδραυλικής ασβέστου είτε χρήση οξειδίου του ασβεστίου με σκοπό την επί τόπου σβέση της ασβέστου (δηλαδή στη δεύτερη περίπτωση η τεχνολογία παρασκευής είναι ανάλογη με αυτή των κονιαμάτων υψηλής επί τόπου έσβεσης), με την προσθήκη αδρανών ασβεστοπικής και αργιλοπυριτικής σύστασης, τα οποία, αναλόγως, παρουσιάζουν τεράστια διασπορά στην κοκκομετρία τους, ενώ είναι συνήθης η χρήση άμμου, γαρμπιλίου, σκύρων και μεγάλου μεγέθους θραυστών λίθων. Λόγω της ιδιαίτερης χρήσης του, παρουσιάζουν τεράστια διασπορά και στους λόγους κονίας/αδρανών, οι οποίοι ούτως ή άλλως είναι δύσκολο να υπολογιστούν λόγω θεμάτων αντιπροσωπευτικότητας δείγματος.

Η διαφοροποίηση των γυψοκονιαμάτων και των πηλοκονιαμάτων από τα ασβεστοπικά κονιάματα μπορεί να λάβει χώρα διαμέσου ανάλυσης της ορυκτολογικής και της χημικής τους σύστασης (αποτελέσματα πετρογραφικού ελέγχου, ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, περίθλασης ακτινών Χ, θερμικής ανάλυσης, στοιχειακή ανάλυση).

Για τη ταξινόμηση των ασβεστοπικών κονιαμάτων σε επί μέρους κατηγορίες, ώστε να κατατάσσονται ανάλογα με τις πρώτες ύλες και την τεχνολογία παρασκευής τους, η διεθνής έρευνα αναδεικνύει τη δυνατότητα ταξινόμησης βάσει των αποτελεσμάτων θερμικής ανάλυσης, των χαρακτηριστικών μικροδομής και της θλιπτικής τους αντοχής, σύμφωνα με τα εύρη που παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν. Οι πίνακες προέκυψαν στην παρούσα ανάλυση συνυπολογίζοντας τα αποτελέσματα και των δυο ερευνών. Παράλληλα, ανάλυση μέσω κυρίων συνιστωσών, δείχνει ότι κρίσιμες παράμετροι για την κατάταξη των ιστορικών κονιαμάτων είναι ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας, το πορώδες και η εφελκυστική αντοχή.

Πίνακας II-1 Κατάταξη ιστορικών ασβεστοπικών κονιαμάτων με βάση τα αποτελέσματα της θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης

Είδος κονιαμάτων	Φυσικά δεσμευμένο νερό (%)	Νερό υδραυλικών ενώσεων (%)	CO ₂ (%)	Λόγος CO ₂ /H ₂ O _{υδρ.}
Τυπικά ασβεστοπικά	<1	<3	>32	>7,5
Με παραμένον πορτλαντίτη	>1	4-12	18-34	1,5-9
Υδραυλικής ασβέστου	>1	3,5-6,5	24-34	4,5-9,5
Τεχνητής ποζολάνης	1-4	3,5-8,5	22-29	3-6
Θραυσμένου κεραμικού	1,5-4,5	2,3-8,5	9,5-19,5	3-6,5
Φυσικής Ποζολάνης	4,5-5	5-14	12-20	<3
Υψηλής έσβεσης	0,7-1,5	2-4,6	25-35	6-15

Είδος κονιαμάτων	Φυσικά δεσμευμένο νερό (%)	Νερό υδραυλικών ενώσεων (%)	CO ₂ (%)	Λόγος CO ₂ /H ₂ O _{υδρ.}
Διπλής τοιχοποιίας	-	5,5-6,0	19,5-30	3,3-5,1

Πίνακας II-2 Κατάταξη ιστορικών κονιαμάτων με βάση τα χαρακτηριστικά της μικροδομής

Είδος κονιαμάτων	Ολικός ειδικός όγκος (mm ³ /g)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)	Μέση ακτίνα πόρων (μm)	Ειδική επιφάνει α (m ² /g)	Ολικό πορώδες (%)
Τυπικά ασβεστοπικά	170-320	1,5-1,8	0,8-3,3	1,3-3,3	30-45
Με παραμένον πορτλαντίτη	105-241	1,8-1,9	0,03-6,5	1,67- 10,63	20-43
Υδραυλικής ασβέστου	90-230	1,7-2,1	0,1-3,5	2,5-13,5	18-40
Τεχνητής ποζολάνης	170-280	1,5-1,9	0,1-0,8	3,5-9	30-40
Θραυσμένου Κεραμικό	170-290	1,5-1,9	0,1-0,8	3,5-15	32-43
Φυσικής Ποζολάνης	160-265	1,6-1,9	0,1-1,5	3-14	30-42
Υψηλής έσβεσης	110-180	1,7-1,9	0,3-0,8	2,5-4,7	20-30
Διπλής τοιχοποιίας	117-220	1,8-2,1	0,2-20,6	1,2-4,7	25-39

Πίνακας II-3 Κατάταξη ιστορικών ασβεστοπικών κονιαμάτων με βάση την αναλογία κονίας αδρανών και την αντοχή σε εφελκυσμό που παρουσιάζουν (όπου υπάρχει εύρος κατάταξης)

Είδος κονιαμάτων	Αναλογία κονίας προς αδρανή (g/g)		Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)*
	Μέγιστη	Ελάχιστη	
Ασβεστοπικά	1:1	1:4	<0,35
Με παραμένον πορτλαντίτη	1:1	1:2	0,06-0,70
Υδραυλικής ασβέστου	1:1	1:4	0,35-0,55
Τεχνητής ποζολάνης	1:3	1:3	>0,55
Θραυσμένου Κεραμικό	1:2	1:4	0,5-1,2
Φυσικής Ποζολάνης	1:4	1:5	>0,60
Υψηλής έσβεσης	1:2	1:4	0,85-1,5
Διπλής τοιχοποιίας	-	-	-

**βάσει της δοκιμής θραυσμάτων*

Παράρτημα Β-III. Διάγνωση της φθοράς των ιστορικών υλικών και δομικών στοιχείων μνημείων

III-1. Αλληλεπίδραση παραγόντων φθοράς και διάκριση φαινομένων με παρόμοια εικόνα

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.2.6.5.4 σπάνια ένας παράγοντας δρα μόνος του — συνήθως πρόκειται για αλυσίδα αλληλεπιδράσεων, ενώ διαφορετικά φαινόμενα μπορεί να μοιάζουν εξωτερικά, με κίνδυνο να αποδοθούν σε λάθος αιτία και απαιτούν διαφορετική αντιμετώπιση. Ο ακόλουθος πίνακας παραθέτει μερικές από τις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις εν δυνάμει φαινομένων φθοράς με παρόμοιο τελικό αποτέλεσμα (παθολογία) και τι πρέπει να ελεγχθεί για να διακριθούν μεταξύ τους.

Πίνακας Π.III-1 Φαινόμενα φθοράς με παρόμοιο τελικό αποτέλεσμα

Εν δυνάμει φαινόμενα φθοράς	Παθολογία	Έλεγχος διάκρισης / επιβεβαίωσης ενεργού φαινομένου φθοράς
Υπόλευκες εξανθήσεις αλάτων –ανθρακικές επικαθήσεις	Παρόμοια λευκή απόχρωση, κρυσταλλική μικροδομή	Διαλυτότητα σε νερό και αντίδραση με αραιό οξύ (τα ανθρακικά προκαλούν αφρισμό)· επιβεβαίωση με ιοντική χρωματογραφία ή XRD
Μελανές επικαθήσεις ρύπανσης (γυψοποίηση) – βιολογική μελάνωση	Κοινή σκουρόχρωμη όψη σε προστατευμένες επιφάνειες	Ορυκτολογική/χημική ανάλυση (FTIR/XRD) έναντι μικροβιολογικής εξέτασης. Η βιολογική μελάνωση συνήθως συνδέεται με αυξημένη τοπική υγρασία
Ρωγμές που οφείλονται σε δομικά αίτια (καθίζηση, σεισμός) – επιφανειακή ρηγμάτωση από ξήρανση/συστολή του κονιάματος	Οπτικά όμοια γραμμική ασυνέχεια	Βάθος και πορεία ρωγμών σε σχέση με τον φέροντα οργανισμό, γεωδαιτική παρακολούθηση στον χρόνο. Σημειώνεται ότι, συνήθως, η δομική ρωγμή διαπερνά περισσότερες στρώσεις υλικού
Αποφλοίωση λόγω παγετού – αποφλοίωση λόγω κρυστάλλωσης αλάτων	Παρόμοια αποφλοίωση	Εποχή εμφάνισης, θέση σε σχέση με πηγές υγρασίας, χημική ανάλυση για ανίχνευση αλάτων
Αποχρωματισμός από φυσική γήρανση – αποχρωματισμός από παλαιότερη ασύμβατη ή ακατάλληλη επέμβαση	Ομοιόμορφη μεταβολή χρώματος ή υφής	Ιστορική τεκμηρίωση προηγούμενων επεμβάσεων, μικροσκοπική εξέταση διατομής, φασματοσκοπικός έλεγχος επιφανειακών καταλοίπων

Εν δυνάμει φαινόμενα φθοράς	Παθολογία	Έλεγχοι διάκρισης / επιβεβαίωσης ενεργού φαινομένου φθοράς
(π.χ. εμποτισμοί, καθαρισμοί)		

III-2 Χαρακτηριστικοί μηχανισμοί φθοράς ανά κατηγορία ιστορικού υλικού

Πέραν της γενικής ταξινόμησης παραγόντων και φαινομένων φθοράς, η διάγνωση οφείλει να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά μοτίβα φθοράς ανά κατηγορία ιστορικού υλικού, τα οποία συνοψίζονται ενδεικτικά κατωτέρω. Η αναλυτική τεκμηρίωση ανά υλικό εντάσσεται στη μελέτη υλικών και αξιοποιείται συνδυαστικά στο παρόν στάδιο.

III-2.1 Φυσικοί λίθοι και δομικά κεραμικά

Χαρακτηριστικά φαινόμενα περιλαμβάνουν αποφλοίωση, εκτριβή, γυψοποίηση, επικαθήσεις, κρυστάλλωση αλάτων με επακόλουθη κοκκώδη αποσάθρωση ή κυψέλωση, βιολογική φθορά και ρηγματώσεις λόγω διαφορικής θερμικής συμπεριφοράς ή θερμικών/υδρομετρικών καταπονήσεων.

III-2.2 Κονιάματα, επιχρίσματα

Τυπικά φαινόμενα είναι η αποσάθρωση και κοκκοποίηση της επιφάνειας, οι αποκολλήσεις και εξογκώσεις (bulging/detachment), η ρηγμάτωση συστολής/ξήρανσης, η απώλεια συνάφειας με το υπόστρωμα και η εμφάνιση εξανθήσεων αλάτων, συχνά σε συνάρτηση με την ασυμβατότητα μεταξύ αυθεντικών και μεταγενέστερων επισκευαστικών κονιαμάτων (ιδίως τσιμεντιτικών).

III-2.3 Ξύλο

Η φθορά σχετίζεται κυρίως με βιολογική προσβολή (ξυλοφάγα έντομα, μύκητες αποικοδόμησης/σήψης), διακυμάνσεις υγρασίας που προκαλούν διόγκωση/συστολή και παραμορφώσεις, φωτοοξείδωση των εκτεθειμένων επιφανειών, καθώς και μηχανική καταπόνηση συνδέσεων και φερόντων στοιχείων.

III-2.4 Μέταλλα

Περιλαμβάνει διάβρωση σιδηρούχων στοιχείων (οξειδωση, διόγκωση με επακόλουθη ρηγμάτωση περιβάλλοντος υλικού), διάβρωση χαλκού και κραμάτων του (σχηματισμός πατίνας, τοπική διάβρωση), καθώς και φαινόμενα γαλβανικής διάβρωσης σε περιπτώσεις επαφής ανόμοιων μετάλλων ή μετάλλου με ασύμβατα δομικά υλικά.

III-2.5 Ζωγραφικές επιφάνειες, τοιχογραφίες και ψηφιδωτά

Χαρακτηριστικά φαινόμενα είναι οι αποκολλήσεις του επιχρίσματος/κονιάματος υποστρώματος, η αποσάθρωση και η εξάνθηση αλάτων στην ζωγραφισμένη επιφάνεια, ο αποχρωματισμός και η φθορά χρωστικών λόγω UV ή χημικής αλλοίωσης, καθώς και η βιολογική φθορά σε συνθήκες αυξημένης υγρασίας.

Παράρτημα Β-ΙV. Συμβατότητα και επιτελεστικότητα κονιαμάτων αποκατάστασης

IV-1 Η συμβατότητα των κονιαμάτων αποκατάστασης

Η **συμβατότητα** είναι μια περίπλοκη έννοια, καθώς οι παράμετροι που την καθορίζουν είναι διάφοροι και σε κάποιες περιπτώσεις αλληλοσυνδεόμενοι (Εικόνα 15). Σε μια γενικότερη προσέγγιση, μπορεί κανείς να ορίσει τη συμβατότητα ως το αντίθετο της ασυμβατότητας, δηλαδή ένα συμβατό υλικό αποκατάστασης είναι αυτό που δεν θα έχει αρνητικές επιπτώσεις, άμεσες ή έμμεσες στα ιστορικά δομικά υλικά. Εντούτοις ένα συμβατό υλικό δεν προκαλεί χημική αλλοίωση των ιστορικών υλικών, δεν ενεργοποιεί και δεν επιταχύνει μηχανισμούς φθοράς, ενώ διασφαλίζει μια ομοιογενή υδρομετρική και μηχανική συμπεριφορά του μνημείου ή της ιστορικής κατασκευής εν τω συνόλω. Η διεθνής έρευνα ασχολείται με την ανάπτυξη μεθοδολογιών με σκοπό την αποτίμηση της συμβατότητας, αναδεικνύοντας τη σημασία που έχει αποκτήσει στο πεδίο της Προστασίας Μνημείων. Στις περισσότερες από αυτές τις προσεγγίσεις η προσομοίωση των χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων και η ομοιότητα στα χαρακτηριστικά του κονιάματος με το υπόστρωμα είναι το ζητούμενο. Η επίτευξη της συμβατότητας μεταξύ υλικών αποκατάστασης και ιστορικών υλικών αποτελεί και τον μόνο τρόπο να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητα του μνημείου.



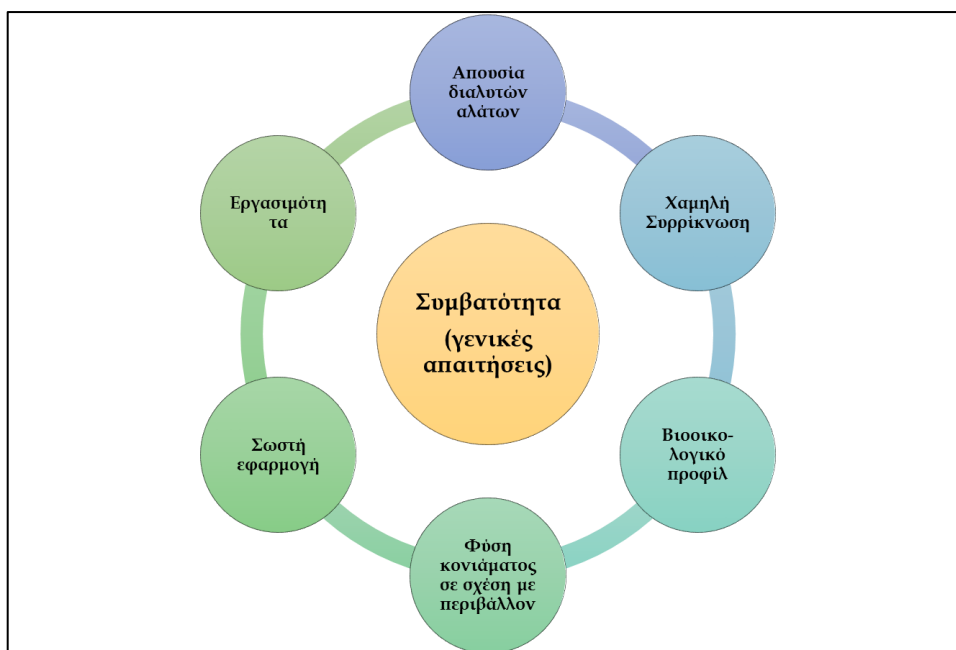
Εικόνα III-1 Οι παράμετροι της συμβατότητας σε σχέση με το υπόστρωμα

Η συμβατότητα ενός κονιάματος αποκατάστασης, στις πιο διαδεδομένες μεθοδολογίες σχεδιασμού, κρίνεται σε σχέση με το υπόστρωμα (ιστορικό κονίαμα ή/και κύρια δομικά στοιχεία) στο οποίο εφαρμόζεται και συνίσταται: (i) στη χημική συμβατότητα, που σχετίζεται με τη σύσταση των ιστορικών υλικών, του κονιάματος αποκατάστασης, (ii) τη συμβατότητα ως προς τη μικροδομή, (ολικό πορώδες, φαινόμενη πυκνότητα, κατανομή πόρων, υδαταπορρόφηση διαμέσου τριχοειδών και διαπερατότητα), η οποία επηρεάζει τη μεταφορά υγρασίας και διαλυτών αλάτων μεταξύ των δομικών υλικών, καθώς και την ανθεκτικότητα του κονιάματος σε περιβαλλοντικές συνθήκες, κάτι που επηρεάζει και μελλοντικά κόσθη

συντήρησης, (iii) τη συμβατότητα ως προς τις μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, πλαστιμότητα, πρόσφυση κ.α.), (iv) τη διαστασιακή συμβατότητα, που συνδέεται με το μέτρο ελαστικότητας, τον συντελεστή θερμικής διαστολής και τη συρρίκνωση κατ' όγκον, ενώ αποτιμάται και σε όρους (v) αισθητικής συμβατότητας και διατήρησης των ιστορικών αξιών που φέρει.

Επιπροσθέτως των χαρακτηριστικών του κονιάματος αποκατάστασης που κρίνονται σε σχέση με τη συμβατότητα που παρουσιάζει με τα ιστορικά δομικά υλικά του μνημείου, ένα κονίαμα αποκατάστασης κρίνεται ως προς τη συμβατότητα και σε σχέση με άλλα χαρακτηριστικά, τα οποία πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις ανεξαρτήτως ιστορικών υλικών και ιδιαίτερων απαιτήσεων μνημείου:: (i) το κονίαμα αποκατάστασης δεν πρέπει να φέρει διαλυτά άλατα ή ανεπιθύμητες προσμίξεις, καθώς θα τα άγει στην τοιχοποιία και στα ιστορικά δομικά υλικά με αποτέλεσμα την εμφάνιση εξανθήσεων αλάτων ή και φθορές λόγω κρυστάλλωσης αλάτων, (ii) η εργασιμότητα θα πρέπει να είναι κατάλληλη αναλόγως της εφαρμογής για την οποία προορίζεται το κονίαμα (π.χ. ένα κονίαμα αρμολόγησης πρέπει να παρουσιάζει διαφορετική εργασιμότητα σε σχέση με ένα κονίαμα επιχρίσματος), (iii) πρέπει στο κονίαμα, αναλόγως της φύσης του (υδραυλικό ή αερικό) να διατηρούνται κατά τη πήξη και σκλήρυνση, τουλάχιστον τις πρώτες ημέρες, συγκεκριμένες συνθήκες σχετικής υγρασίας, ώστε να διευκολύνεται η πήξη και να αποφεύγεται μια ταχεία εξάτμιση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μικρορηγματώσεις, ενώ κατά τον σχεδιασμό πρέπει να δίνεται σημασία στις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στο μνημείο ή την ιστορική κατασκευή, ώστε το κονίαμα που θα επιλεγεί να λειτουργεί με τον βέλτιστο τρόπο στο εν λόγω περιβάλλον, (iv) πρέπει να ελέγχεται η συρρίκνωση του κονιάματος αποκατάστασης, η οποία σε κάθε περίπτωση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη, (v) πρέπει να δίνεται η δέουσα σημασία στην σωστή εφαρμογή του κονιάματος, ώστε να διασφαλίζεται η βέλτιστη ποιότητα του κονιάματος αποκατάστασης στον χρόνο ζωής του, ενώ (vi) το βιοοικολογικό προφίλ είναι ένα χαρακτηριστικό, το οποίο τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει όλο και μεγαλύτερη βαρύτητα στον σχεδιασμό ενός κονιάματος αποκατάστασης.

Η επίτευξη της χημικής συμβατότητας απαιτεί τη διασφάλιση ότι το κονίαμα αποκατάστασης δεν εισάγει ανεπιθύμητες ή επικίνδυνες ενώσεις στο σύστημα του δομήματος ή ενώσεις που θα μπορούσαν να αντιδράσουν με τα συστατικά των δομικών υλικών του δομήματος προς τη δημιουργία προϊόντων φθοράς. Στις επικίνδυνες ενώσεις συμπεριλαμβάνουν διαλυτά άλατα που θα μπορούσαν, παρουσία υγρασίας, να ενεργοποιήσουν μηχανισμούς φθοράς. Για παράδειγμα, διαλυτά άλατα, όπως ενώσεις θειικού ασβεστίου και άλατα του νατρίου, που ανιχνεύονται συχνά στα τσιμέντα τύπου Πόρτλαντ, μπορούν σε βάθος χρόνου να διαφύγουν προς τα γεινιάζοντα υλικά, προκαλώντας βλάβες στα δομικά υλικά του δομήματος. Τα διαλυτά άλατα δύνανται, διαμέσου μιας συνεχούς αλληλουχίας εξάτμισης-κρυστάλλωσης, να προκαλέσουν τάσεις λόγω κρυστάλλωσης και ενυδάτωσή τους στους πόρους του υλικού.



Εικόνα III-2 Ανάλυση της συμβατότητας σε σχέση με γενικές απαιτήσεις

IV-2 Η συμβατότητα σε σχέση με τα ιστορικά υλικά

Η επίτευξη μιας ομοιογενούς υγρομετρικής συμπεριφοράς μεταξύ των δομικών υλικών, αλλά και στο δόμημα εν τω συνόλω είναι σημαντική για τη διασφάλιση της συμβατότητας και της ανθεκτικότητας της επέμβασης. Τα φαινόμενα μεταφοράς υγρασίας θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα χωρίς τη συσσώρευση υγρασίας σε συγκεκριμένα δομικά υλικά ή στρώματα, ειδικά στα ιστορικά, ενώ παράλληλα η πρόσληψη της τοιχοποιίας σε υγρασία διαμέσου τριχοειδών από το υπέδαφος θα πρέπει να μην εντείνεται με την εφαρμογή του κονιάματος αποκατάστασης. Τα φαινόμενα τριχοειδούς αναρρίχησης της υγρασίας παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόκριση της τοιχοποιίας στα υγρικά φορτία, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη ότι διαλυτά άλατα ενδέχεται να εισαχθούν στην τοιχοποιία διαμέσου αυτού του μηχανισμού, ενώ η παρουσία υγρασίας είναι καθοριστική για την εξέλιξη αρκετών μηχανισμών φθοράς των δομικών υλικών. Η διαπερατότητα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το κονίαμα αποκατάστασης να προστατεύει το δόμημα από την είσοδο διαβρωτικών περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως άλατα, αέρια ρύποι, κλπ., ενώ ταυτοχρόνως πρέπει να διασφαλίζεται μια ομοιογενή και ικανή διαπνοή της τοιχοποιίας. Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης και η διαπερατότητα συσχετίζονται με το είδος του κονιάματος αποκατάστασης και με τα χαρακτηριστικά του πορώδους του, όπου μια κατάλληλη μικροδομή μπορεί να διασφαλίσει την σωστή μεταφορά υγρασίας διαμέσου του δομήματος, βέλτιστη διαπνοή και υψηλή ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης-απόψυξης και κρυστάλλωσης αλάτων.

Η διαστασιακή συμβατότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Το μέτρο ελαστικότητας, το οποίο είναι σε άμεση συνάρτηση με την ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται υπό την επιβολή τάσεων και μικρομετακινήσεων χωρίς την εμφάνιση ρηγματώσεων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό μέγεθος, ιδιαίτερα σε σεισμογενείς περιοχές, όπου το δόμημα και τα υλικά αυτού υπόκεινται σε στατικές και δυναμικές καταπονήσεις κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής διέγερσης. Διαφοροποιήσεις μεταξύ του μέτρου ελαστικότητας του ιστορικού υλικού και του κονιάματος αποκατάστασης μπορεί να συντελέσει στη συγκέντρωση τάσεων στο πιο ψαθυρό υλικό και να μην επιτρέψει την παραμόρφωση των δομικών υλικών με το οποίο συνδέεται. Ο συντελεστής

ερπυσμού, ο οποίος εκφράζει την ποσότητα παραμόρφωσης ενός υλικού σε σχέση με το φορτίο που του ασκείται, δηλαδή το κατά πόσο μπορεί να διατηρήσει τα χαρακτηριστικά του όταν υπόκειται σε συγκεκριμένη φόρτιση και χρόνο φόρτισης, θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής, ο οποίος εκφράζει τη μεταβολή των διαστάσεων ενός υλικού σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας, πρέπει να λαμβάνει παρόμοιες τιμές μεταξύ των δομικών υλικών ενός δομήματος, καθώς διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής ενός κονιάματος αποκατάστασης με τα ιστορικά δομικά υλικά του δομήματος που συνδέει, μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη τάσεων στη διεπιφάνεια των διαφορετικών υλικών και ακόμα και στην αποκόλλησή τους ή στη δημιουργία ρηγματώσεων στο πιο ασθενές εκ των δύο. Η συρρίκνωση κατ' όγκο λαμβάνει χώρα διαμέσου δυο μηχανισμών, την πλαστική συστολή, η οποία λαμβάνει χώρα στην αρχή της σκλήρυνσης του κονιάματος ακολούθως της πήξης, και την υγρομετρική συρρίκνωση, η οποία λαμβάνει χώρα μετά την πήξη και τη σκλήρυνση (ή ανά περίπτωση κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης) του κονιάματος. Τα ασβεστίτικα κονιάματα, χωρίς την προσθήκη ποζολανών ή άλλων πρόσθετων, υπόκεινται μόνο στον πρώτο μηχανισμό συρρίκνωσης, ενώ τα κονιάματα υδραυλικής φύσεως υπόκεινται και στους δυο μηχανισμούς. Η πλαστική συστολή οδηγεί στην ανάπτυξη τάσεων στη διεπιφάνεια του κονιάματος αποκατάστασης με το υπόστρωμα στο οποίο έχει εφαρμοστεί, ενώ η υγρομετρική συρρίκνωση προκαλεί τάσεις και στο εσωτερικό του κονιάματος αποκατάστασης. Η συρρίκνωση, το μέτρο ελαστικότητας, ο ερπυσμός και η εφελκυστική αντοχή είναι αλληλοσυνδεόμενοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα ενός κονιάματος αποκατάστασης σε βάθος χρόνου. Η συρρίκνωση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη και ελεγχόμενη σε ένα κονίαμα. Συνεπώς η συρρίκνωση αποτελεί παράγοντα αποτίμησης και σε σχέση με το ιστορικό υλικό από άποψη συμβατότητας και σε σχέση με την ίδια την εφαρμογή από άποψη ανθεκτικότητας.

Η συμβατότητα του κονιάματος αποκατάστασης σε όρους πρόσφυσης με το υπόστρωμα, είναι εξαρτώμενη από τα χαρακτηριστικά του κονιάματος αποκατάστασης και τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος. Όσο υψηλότερη είναι η πρόσφυση, τόσο αυξημένη είναι η συνεργασία του κονιάματος αποκατάστασης με το υπόστρωμα, με αποτέλεσμα την βελτιωμένη απόκριση του σύνθετου συστήματος του δομήματος. Όταν η πρόσφυση είναι υπερβολική χαμηλή, παρατηρείται σε πολλές περιπτώσεις αποκόλληση του κονιάματος αποκατάστασης από το υπόστρωμα, λόγω φαινομένων συστολής ή τάσεων που δύναται να αναπτυχθούν λόγω της δράσης διαλυτών αλάτων ή παραμένουσας υγρασίας. Βελτιστοποίηση της συνάφειας μεταξύ του κονιάματος αποκατάστασης και του υποστρώματος στο οποίο εφαρμόζεται μπορεί να διασφαλιστεί όταν έχει πραγματοποιηθεί σωστή προετοιμασία της επιφάνειας εφαρμογής, όταν το κονίαμα παρουσιάζει κατάλληλη εργασιμότητα που μπορεί να επιτρέψει τη σωστή του εφαρμογή και όταν το κονίαμα παρουσιάζει ικανοποιητικό ποσοστό συγκρατούμενου νερού στη νωπή φάση.

Η μηχανική συμβατότητα είναι επίσης υψίστης σημασίας. Το κονίαμα αποκατάστασης δεν πρέπει να παρουσιάζει υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με το ασθενέστερο δομικό στοιχείο, καθώς, σε περίπτωση ανάπτυξης τάσεων μεταξύ του κονιάματος αποκατάστασης και των ιστορικών υλικών, η τάση θα εκτονωθεί διαμέσου του ασθενέστερου υλικού, συντελώντας επ' αυτού του τρόπου στη μείωση της ανθεκτικότητας της κατασκευής.

Η συμβατότητα από άποψη διατήρησης των ιστορικών αξιών του μνημείου και της αισθητής που το καθορίζει, είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες που συνεισφέρουν στην εν τω συνόλω συμβατότητα του κονιάματος αποκατάστασης, με αυξημένη βαρύτητα σε περιπτώσεις όπου

το κονίαμα αποκατάστασης είναι ορατό μετά το πέρας των εργασιών αποκατάστασης. Μια αποκατάσταση θα πρέπει να έχει κατανοήσει την αυθεντικότητα και τις ιστορικές, καλλιτεχνικές και αρχιτεκτονικές αξίες του μνημείου ή της ιστορικής κατασκευής και να έχει σαν σκοπό να τις διατηρήσει και να τις αναδείξει στον μέγιστο βαθμό. Το κονίαμα αποκατάστασης θα πρέπει να είναι μακροσκοπικά παρόμοιο με το αυθεντικό κονίαμα. Το χρώμα του, η υφή του, οι συμβολισμοί που φέρει και άγει, η αισθητική του, πρέπει να ακολουθούν το ιστορικό κονίαμα, χωρίς ωστόσο να χάνεται η αξία της αυθεντικότητας, το οποίο απαιτεί μια ελάχιστη διαφοροποίηση μεταξύ ιστορικού κονιάματος και κονιάματος αποκατάστασης, όχι εύκολα αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Η γεωμετρία του τελικού αρμού, τα υλικά και οι τεχνικές που εφαρμόζονται και η τεχνοτροπία της εφαρμογής, παίζουν σημαντικό ρόλο στο τελικό αισθητικό αποτέλεσμα της εφαρμογής του κονιάματος αποκατάστασης. Η διαδικασία αυτή λέγεται και αισθητική εναρμόνιση της επέμβασης.

Η εργασιμότητα ενός κονιάματος αποκατάστασης, η οποία αποτιμάται συνήθως διαμέσου τράπεζας εξάπλωσης, αποτελεί σημαντικό κριτήριο στον σχεδιασμό και την επιλογή ενός κονιάματος. Ένα κονίαμα χωρίς την κατάλληλη εξάπλωση δεν είναι εργάσιμο και συνεπώς δεν δύναται να εφαρμοστεί στην τοιχοποιία, οδηγώντας σε κακή ποιότητα εργασιών και σε ένα κονίαμα απομειωμένων χαρακτηριστικών στο μνημείο ή στην ιστορική κατασκευή σε βάθος χρόνου. Η επιθυμητή εργασιμότητα εξαρτάται από τον ρόλο του κονιάματος αποκατάστασης στην κατασκευή, ενώ η τιμή της εξάπλωσης που συνδέεται με δεδομένη εργασιμότητα, εξαρτάται από τον τύπο του κονιάματος και τη φύση της κονίας.

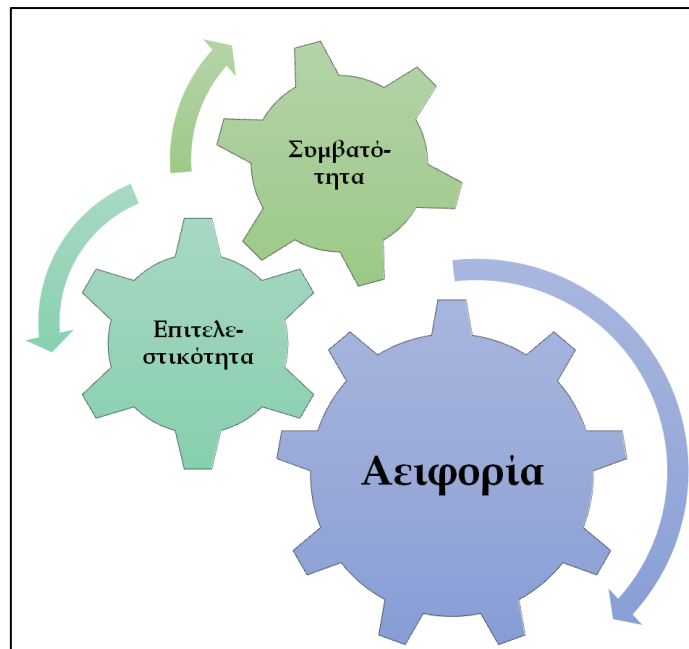
Ένα κονίαμα αποκατάστασης το οποίο χαρακτηρίζεται ως βιοοικολογικό, συνεισφέρει στη συμβατότητα, αλλά κυρίως στην αειφορία της επέμβασης. Ο χαρακτηρισμός ενός κονιάματος αποκατάστασης ως βιοοικολογικό είναι απορρέει από την αποτίμησή του σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του υλικού και συνεπώς είναι μια σύνθετη και περίπλοκα μετρήσιμη έννοια. Αφενός συνδέεται με την προέλευση των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του, για παράδειγμα ένα βιοοικολογικό υλικό μπορεί να συνίσταται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες κ.α. Αφετέρου συνδέεται με την διαδικασία παραγωγής των πρώτων υλών του κονιάματος, όπου αποτιμάται σε σχέση με την απαραίτητη κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή των πρώτων υλών και τους ρύπους που εκλύονται στο περιβάλλον κατά τη διαδικασία παραγωγής του. Παράλληλα, θα πρέπει το κονίαμα να αποτιμάται σε σχέση με τον κύκλο ζωής του, το αποτύπωμά του στο περιβάλλον και στους ανθρώπους. Αυτό σε μεγάλο βαθμό συνδέεται και με την ανθεκτικότητα του κονιάματος, αλλά και τη συμβατότητά του, καθώς ένα ανθεκτικό και συμβατό κονίαμα δεν απαιτεί συχνή αντικατάσταση. Οι παραδοσιακές πρώτες ύλες των κονιαμάτων (υδράσβεστος, υδραυλική άσβεστος, ποζολάνες, γύψος κλπ) που χρησιμοποιούντο ιστορικά για την παρασκευή κονιαμάτων παρουσιάζουν καλή βιο-οικολογική συμπεριφορά, καθώς απαιτούν χαμηλότερες θερμοκρασίες όπτησης σε σχέση με τις σύγχρονες κονίες, με επακόλουθα χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα λόγω έκλυσης αερίων ρύπων κατά την παρασκευή τους, χωρίς τη δημιουργία βλαβερών ή τοξικών παραπροϊόντων. Η κατανάλωση CO₂ κατά τη σκλήρυνση των κονιαμάτων υδρασβέστου και φυσικής υδραυλικής ασβέστου επανα-δεσμεύει το CO₂ που εκλύθηκε κατά την παραγωγή τους. Επιπροσθέτως η υψηλή ανθεκτικότητα που έχουν επιδείξει αυτά τα υλικά σε βάθος χρόνου αιώνων ή και χιλιετιών στα μνημεία και στις ιστορικές κατασκευές όπου είχαν εφαρμοστεί είναι ένδειξη της υψηλής ανθεκτικότητάς τους, διασφαλίζοντας εκ του πρακτέου έναν ικανοποιητικό κύκλο ζωής και ένα αποδεκτό επίπεδο βιο-οικολογίας.

Επίσης, κατά τον σχεδιασμό ενός κονιάματος αποκατάστασης, επιπροσθέτως της αποτίμησης των χαρακτηριστικών του σε σχέση με τα ιστορικά δομικά υλικά, αλλά και γενικότερες απαιτήσεις που τίθενται, θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη το περιβάλλον του μνημείου, ώστε να επιλέγεται ένα κονίαμα, το οποίο μπορεί να πήξει και να λειτουργήσει στο εν λόγω περιβάλλον. Για παράδειγμα, σε ένα μνημείο το οποίο βάλλεται από υψηλά ποσοστά υγρασίας, θα πρέπει το κονίαμα να είναι υδραυλικής φύσεως και όχι αερικής, ώστε να διασφαλίζεται η πήξη του αλλά και η συμπεριφορά του σε αυτό το περιβάλλον.

IV-3 Η επιτελεστικότητα ενός κονιάματος αποκατάστασης

Παράλληλα με τη συμβατότητα, σημαντικό ρόλο για την επιλογή ενός κονιάματος αποκατάστασης παίζει και η **επιτελεστικότητα**. Η επιτελεστικότητα ενός κονιάματος αποκατάστασης σε σχέση με την αντισεισμική προστασία ενός μνημείου ή μιας ιστορικής κατασκευής συνδέεται με τη βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς του μνημείου ή της ιστορικής κατασκευής εν τω συνόλω και της απόκρισής του/της σε στατικές και δυναμικές καταπονήσεις. Η διασφάλιση της επιτελεστικότητας ενός κονιάματος αποκατάστασης, ιδιαίτερα σε σεισμογενείς περιοχές, είναι κρίσιμη, καθώς χωρίς αυτήν δεν διασφαλίζεται η ανθεκτικότητα του μνημείου και δεν ενισχύεται η μακροζωία του, δηλαδή δεν επιτυγχάνεται ο απώτερος σκοπός κάθε έργου αποκατάστασης που είναι η παράδοσή του μνημείου στις μελλοντικές γενιές. Πολλές φορές χρειάζονται και επιπρόσθετα μέτρα για τη διασφάλιση της μείωσης της τρωτότητας του κτηρίου, καθώς δεν δύναται το κονίαμα αποκατάστασης από μόνο του να επιτύχει την επιθυμητή ενίσχυση. Βεβαίως, αν δεν διασφαλίζεται η συμβατότητα, η φθορά που υπόκεινται τα υλικά του μνημείου ή της ιστορικής κατασκευής σε βάθος χρόνου οδηγεί μοιραία και στην εξασθένηση της επιτελεστικότητας: για τον λόγο αυτό πρέπει πάντα το κονίαμα αποκατάστασης να παρουσιάζει ικανοποιητικό επίπεδο συμβατότητας και επιτελεστικότητας. Προφανώς η εκτίμηση της επιτελεστικότητας δεν είναι μονοσήμαντη, δηλαδή δεν συνδέεται μόνο με τις αντοχές που λαμβάνει ένα κονίαμα, αλλά στην ιδανική περίπτωση πρέπει να προσεγγίζεται στο επίπεδο του μνημείου. Προς αυτήν την κατεύθυνση, σημαντικό ρόλο παίζει η μελέτη της συνεισφοράς του κονιάματος στην μηχανική συμπεριφορά της τοιχοποιίας, καθώς και τα υπολογιστικά προσομοιώματα, όπως τα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων και η ανάλυση θραυστότητας, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως εργαλείο αποτίμησης της επιτελεστικότητας ενός κονιάματος αποκατάστασης σε σχέση με την αντισεισμική προστασία που επιτυγχάνεται. Με τον τρόπο αυτό, η ανάλυση διαμέσου υπολογιστικών εργαλείων μπορεί να αναδείξει, για παράδειγμα, τα επιθυμητά επίπεδα θλιπτικών αντοχών που απαιτούνται για τη διασφάλιση της ικανοποιητικής απόκρισης του δομήματος και την ελαχιστοποίηση των πιθανών βλαβών σε περίπτωση σεισμικής δράσης, ενώ δύναται να συγκριθεί και η επιτελεστικότητα διαφόρων κονιαμάτων αποκατάστασης, ώστε να επιλεγεί το βέλτιστο. Το απαιτούμενο επίπεδο επιτελεστικότητας δίδεται από την δομοστατική ανάλυση που λαμβάνει χώρα από την ομάδα των πολιτικών μηχανικών, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των υλικών.

Συνεπώς, όσον αφορά στα κονιάματα αποκατάστασης, πρέπει να διασφαλίζεται η συμβατότητα με τα ιστορικά υλικά ταυτοχρόνως με την επίτευξη ικανοποιητικού επιπέδου επιτελεστικότητας στη σεισμική δράση, σε μια αειφόρο προσέγγιση της Προστασίας Μνημείων.



Εικόνα IV-3 Η αλληλοεξαρτώμενη σχέση μεταξύ συμβατότητας και επιτελεστικότητας του κονιάματος αποκατάστασης και αειφορίας του μνημείου ή της ιστορικής κατασκευής

IV-4 Όρια αποδοχής κονιαμάτων αποκατάστασης

Μια δόκιμη προσέγγιση αποτίμησης της συμβατότητας είναι η κατάταξη των ιστορικών κονιαμάτων του μνημείου και εν συνεχεία, αφενός η σύγκριση των κρίσιμων χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων με τα κονιάματα αποκατάστασης και αφετέρου η αξιολόγηση τήρησης των τιμών των κρίσιμων παραμέτρων που τίθενται (των κονιαμάτων αποκατάστασης) σε σχέση με τα όρια αποδοχής που ορίζονται (βλ. ακόλουθους πίνακες). Δηλαδή η χρήση των ορίων αποδοχής ως κρίσιμα κατώφλια για την αξιολόγηση των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Πίνακας IV-1 Όρια αποδοχής με βάση τα αποτελέσματα των θερμικών μεθόδων ανάλυσης των κονιαμάτων αποκατάστασης

Είδος κονιαμάτων	Φυσικά δεσμευμένο νερό (%)	Νερό υδραυλικών ενώσεων (%)	Περιεχόμεν ο CO ₂ (%)	Λόγος CO ₂ /H ₂ O
Ασβεστιτικά	<1	2-4	>30	>8,5
Θραυσμένου Κεραμικού	1,5-4,5	2,3-5,3	<20	3,2-6,5
Υψηλής έσβεσης	0,7-1,5	2-4,6	>25	6-15
Υδραυλικής ασβέστου	1-2,5	4-7,2	<25	1,8-6,1
Ασβέστη- Ποζολάνης	2-4	3,3-5,4	<22	1,3-5,1
Διπλής τοιχοποιίας	-	5,6-5,9	<30	3,36- 5,13

Πίνακας IV-2 Όρια αποδοχής με βάση τα χαρακτηριστικά της μικροδομής των κονιαμάτων αποκατάστασης

Είδος κονιαμάτων	Ολικός ειδικός όγκος (mm ³ /g)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)	Μέση ακτίνα πόρων (μm)	Ειδική επιφάνεια (m ² /g)	Ολικό πορώδες (%)
Ασβεστοπικά	170-320	1,5-1,8	0,8-3,3	1,3-3,3	30-45
Θραυσμένου Κεραμικό	170-290	1,5-1,9	0,1-0,8	3,5-15	32-43
Υψηλής έσβεσης	110-180	1,7-1,9	0,3-0,8	2,5-4,7	20-30
Υδραυλικής ασβέστου	90-230	1,7-2,1	0,1-3,5	2,5-13,5	18-40
Ασβέστη-Ποζολάνης	160-265	1,6-1,9	0,1-1,5	3-14	30-42
Διπλής τοιχοποιίας	117-220	1,8-2,1	0,2-20,6	1,2-4,7	25-39

Πίνακας IV-3 Κατευθυντήριες γραμμές ως προς την αναλογία κονιάς/αδρανών και αναμενόμενη αντοχή σε εφελκυσμό κάθε κατηγορίας

Είδος κονιαμάτων	Αναλογία κονιάς προς αδρανή (g/g)			Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)*
	Μέγιστο	Μέσος όρος	Ελάχιστο	
Ασβεστοπικά	1/1	1/3	1/4	<0,35
Θραυσμένου Κεραμικό	1/2	1/3	1/4	0,5-1,2
Υψηλής έσβεσης	1/2	1/3	1/4	0,85-1,5
Υδραυλικής ασβέστου	1/1,5	1/2	1/4	-
Ασβέστη-Ποζολάνης	1/2	1/3	¼	-
Διπλής τοιχοποιίας	-	-	-	-

*βάσει της δοκιμής θραυσμάτων

Παράλληλα με την χρήση των ορίων αποδοχής, όπως τέθηκαν, θα πρέπει να εξετάζεται η συμβατότητα των κονιαμάτων αποκατάστασης σε σχέση με τα ποικίλα χαρακτηριστικά των ιστορικών υλικών που απαρτίζουν το μνημείο ή την ιστορική κατασκευή και όπως παρουσιάστηκαν.