ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΤΜΗΜΑΤΑ

Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος

Συστημάτων Ενέργειας Δασολογίας, Επιστημών Ξύλου και Σχεδιασμού

Διπλωματική εργασία

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

του

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΘΕΟΔΩΡΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής : Αλαμανής Νικόλαος

Λάρισα, Σεπτέμβριος 2024

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη συμβολή της γεωτεχνικής μηχανικής στην προστασία και αποκατάσταση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Αναλύονται οι βασικές αρχές και πρακτικές της γεωτεχνικής μηχανικής που συμβάλλουν στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης των κατασκευών με το γεωλογικό περιβάλλον και στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν από αυτήν την αλληλεπίδραση. Εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη δομική ακεραιότητα των μνημείων, όπως οι γεωλογικές συνθήκες, οι φυσικές καταστροφές και οι ανθρωπογενείς παράγοντες, καθώς και οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν. Επιπλέον, παρουσιάζονται μελέτες περιπτώσεων που αναδεικνύουν την εφαρμογή των αρχών και των πρακτικών της γεωτεχνικής μηχανικής στη συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων στην Ελλάδα και στο εξωτερικό.

Λέξεις κλειδιά: γεωτεχνική μηχανική, προστασία μνημείων, αποκατάσταση μνημείων, γεωλογικοί κίνδυνοι, κλιματική αλλαγή, περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Abstract

This paper examines the contribution of geotechnical engineering to the protection and restoration of cultural heritage monuments. The basic principles and practices of geotechnical engineering are analyzed that contribute to understanding the interaction of structures with the geological environment and to addressing the challenges arising from this interaction. Factors affecting the structural integrity of monuments, such as geological conditions, natural disasters and man-made factors, are examined, as well as the methods and techniques used to deal with the resulting problems. In addition, case studies are presented that highlight the application of the principles and practices of geotechnical engineering in the maintenance and restoration of monuments in Greece and abroad.

Keywords: geotechnical engineering, monument protection, monument restoration, geological hazards, climate change, environmental impacts.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη 1
Abstract 2
Πίνακας Περιεχομένων 3
Πίνακας εικόνων 5
Εισαγωγή 6
1. Εννοιολογικοί Προσδιορισμοί 7
1.1 Γεωτεχνική Μηχανική 7
1.2 Προστασία Μνημείων 13
1.3 Ο Ρόλος της Γεωτεχνικής Μηχανικής στην Προστασία των Μνημείων 16
2. Αρχές και Πρακτικές Συντήρησης Μνημείων 20
2.1 Βασικές Αρχές της Συντήρησης Μνημείων 20
2.2 Το Έδαφος στη Γεωτεχνική Μηχανική 26
2.3 Προληπτική Συντήρηση 27
2.4 Επεμβατική Συντήρηση 28
2.5 Εφαρμογές Γεωτεχνικής Μηχανικής στη Συντήρηση Μνημείων 29
2.6 Συντήρηση και Επισκευή 32
2.7 Έλεγχος Ποιότητας Εργασιών 38
2.8 Ηθικά Ζητήματα και Προβληματισμοί 39
3. Στρατηγικές Συντήρησης Μνημείων 42
3.1 Μεθοδολογία και Ανάπτυξη Σχεδίων Συντήρησης 42
3.2 Διάγνωση 44
3.3 Διαδικασία Λήψης Αποφάσεων 44
3.4 Παράγοντες που Διαμορφώνουν τις Στρατηγικές Συντήρησης 46
3.5 Το Ιστορικό του Μνημείου και η Αξιοποίηση του 47
4. Μελέτη Γεωλογικών Παραμέτρων 52
4.1 Ταξινόμηση Εδάφους 52
4.2 Ιδιότητες του Εδάφους 54
4.3 Σχέσεις Φάσεων Εδάφους 55
4.4 Καμπύλες Κατανομής Μεγέθους Κόκκων Εδάφους και Όρια Atterberg 56
4.5 Διαπερατότητα και Διήθηση Εδάφους 58
4.6 Ενεργός Πίεση και Πίεση Πόρων Νερού 59
4.7 Συμπίεση Εδάφους 61

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

4.8 Κατανομή Τάσεων στο Έδαφος Λόγω Επιφανειακών Φορτίων 61
4.9 Φορτία Αναχωμάτων και Ισοβαρές Πίεσης 63
5. Κλιματικές και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις 64
5.1 Η Βροχόπτωση 65
5.2 Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση 66
5.3 Η Θερμοκρασία 67
5.4 Ο Άνεμος 68
5.5 Η Βιοεπιδείνωση 68
5.6 Η Κρυστάλλωση του Αλατιού 69
5.7 Η Πλημμύρα 70
5.8 Η Βλάστηση 70
5.9 Τα Υπόγεια Ύδατα 71
5.10 Οι Φυσικές Καταστροφές 71
5.11 Οι Ανθρωπογενείς Παράγοντες 71
6. Διερεύνηση Συντήρησης και Δομικής Ακεραιότητας 73
6.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες και η Επίδρασή τους στα Μνημεία 73
6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δομική ακεραιότητα των μνημείων 73
6.3 Σεισμική Επίδραση στα Μνημεία 74
6.4 Η Μεταβολή της Περιεκτικότητας του Νερού στο Έδαφος 75
6.5 Επίδραση των Παρακείμενων Κατασκευών στα Μνημεία 76
6.6 Εκτίμηση Δομικής Ακεραιότητας 76
7. Παραδείγματα και εφαρμογές 82
7.1 Ο Πύργος του Ρολογιού στο Prilep 82
7.2 Ο Καθεδρικός Ναός της Pienza 83
7.3 Ο Τοίχος του Κρονίου Λόφου 85
7.4 Το Παρεκκλήσι του Αγίου Νικοδήμου 86
Συμπεράσματα 88
Βιβλιογραφικές Αναφορές 90

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Karl von Terzaghi.....7
Εικόνα 2: Ο πύργος της Πίζας.....9
Εικόνα 3: Η πόλη Copan.....18
Εικόνα 4: Επισκευή του μιναρέ της Μοσούλης.....21
Εικόνα 5: Επίστεγη αντηρίδα.....35
Εικόνα 6: Ανοικοδόμηση της Παναγίας των Παρισίων.....41
Εικόνα 7: Κλιματικές φθορές στην αρχαία Βαβυλώνα.....64
Εικόνα 8: Ο πύργος του Ρολογιού.....82
Εικόνα 9: Ο καθεδρικός Ναός της Pienza.....84
Εικόνα 10: Ο τοίχος του Κρονίου λόφου.....86
Εικόνα 11: Η κλίση στο παρεκκλήσι του Αγίου Νικοδήμου.....87

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Εισαγωγή

Η γεωτεχνική μηχανική, ως κλάδος της πολιτικής μηχανικής που ασχολείται με τη μελέτη του εδάφους και των θεμελίων, έχει αναδειχθεί σε έναν κρίσιμο παράγοντα για την προστασία των μνημείων. Η σημασία της έγκειται στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης των κατασκευών με το γεωλογικό περιβάλλον, καθώς και στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν από αυτήν την αλληλεπίδραση. Στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν οι βασικές αρχές και πρακτικές της γεωτεχνικής μηχανικής που συμβάλλουν στην προστασία και αποκατάσταση των μνημείων.

Αρχικά, θα παρουσιαστούν οι βασικοί εννοιολογικοί προσδιορισμοί που αφορούν τη γεωτεχνική μηχανική και την προστασία των μνημείων, καθώς και ο ρόλος της γεωτεχνικής μηχανικής στην προστασία και την αποκατάσταση των μνημείων. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι αρχές και οι πρακτικές συντήρησης των μνημείων, εστιάζοντας τόσο στην προληπτική όσο και στην επεμβατική συντήρηση. Θα εξεταστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη δομική ακεραιότητα των μνημείων, όπως οι γεωλογικές συνθήκες, οι φυσικές καταστροφές και οι ανθρωπογενείς παράγοντες. Επιπλέον, θα συζητηθούν οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από αυτούς τους παράγοντες.

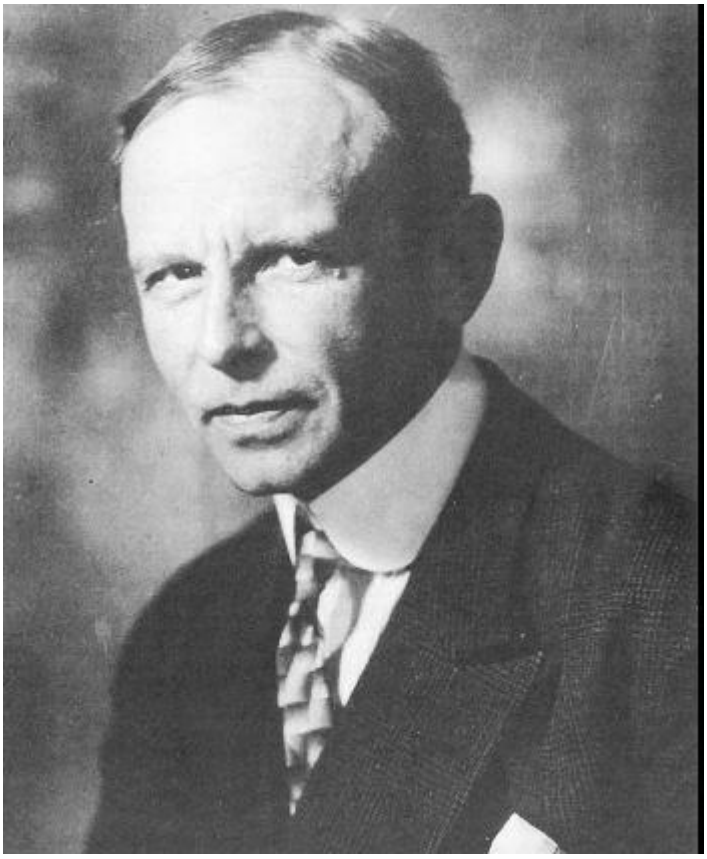
Στη συνέχεια, θα εξεταστεί η μεθοδολογία και η ανάπτυξη σχεδίων συντήρησης μνημείων, καθώς και η διαδικασία λήψης αποφάσεων για την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων προστασίας και αποκατάστασης. Θα αναλυθούν οι παράγοντες που διαμορφώνουν τις στρατηγικές συντήρησης, όπως το ιστορικό του μνημείου, η αξιοποίησή του και οι οικονομικοί περιορισμοί. Τέλος, θα παρουσιαστούν μελέτες περιπτώσεων που αναδεικνύουν την εφαρμογή των αρχών και των πρακτικών της γεωτεχνικής μηχανικής στη συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων στην Ελλάδα και στο εξωτερικό.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

1. Εννοιολογικοί Προσδιορισμοί

1.1 Γεωτεχνική Μηχανική

Η Γεωτεχνική Μηχανική, ένας νέος κλάδος της Πολιτικής Μηχανικής, έχει μια πλούσια ιστορική διαδρομή που ξεκινά από τις απαρχές του πολιτισμού. Από την αρχαιότητα, οι άνθρωποι αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις του εδάφους και των θεμελιώσεων, αναπτύσσοντας εμπειρικές τεχνικές για την κατασκευή ασφαλών και ανθεκτικών κτιρίων και υποδομών (Kerisel, 1985). Ωστόσο, η Γεωτεχνική Μηχανική ως επιστημονικός κλάδος άρχισε να διαμορφώνεται τον 19ο αιώνα, με την ανάπτυξη της μηχανικής των εδαφών και των θεμελιώσεων. Η θεμελίωση της σύγχρονης Γεωτεχνικής Μηχανικής ωστόσο, αποδίδεται στον Karl von Terzaghi, ο οποίος, με την έκδοση του βιβλίου του "Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage" το 1924, έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη της επιστήμης των εδαφών και την εφαρμογή της στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων (Das & Sivakugan, 2017).



Εικόνα 1: Karl von Terzaghi (https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-1-Karl-Von-Terzaghi-Oct-2-1883-Oct-25-1963_fig1_319393063)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, η Γεωτεχνική Μηχανική γνώρισε ραγδαία εξέλιξη, με την ανάπτυξη νέων ερευνητικών μεθόδων και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών. Η ίδρυση της Διεθνούς Εταιρείας Μηχανικής Εδαφών και Γεωτεχνικής Μηχανικής (ISSMGE) το 1936 αποτέλεσε ένα σημαντικό ορόσημο για την παγκόσμια συνεργασία και την ανταλλαγή γνώσεων στον τομέα αυτό. Σήμερα, η Γεωτεχνική Μηχανική συνεχίζει να εξελίσσεται, αντιμετωπίζοντας νέες προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή, η αειφόρος ανάπτυξη και η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς (Lancellotta, 2008).

Η Γεωτεχνική Μηχανική, ως εξειδικευμένος κλάδος της Πολιτικής Μηχανικής, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο στην κατανόηση και αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα μνημεία. Εστιάζοντας στην αλληλεπίδραση των κατασκευών με το έδαφος και το ευρύτερο γεωλογικό περιβάλλον, η Γεωτεχνική Μηχανική παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για την αξιολόγηση της σταθερότητας, της ανθεκτικότητας και της μακροπρόθεσμης διατήρησης των μνημείων, διασφαλίζοντας έτσι τη διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς (Das, 2011).

Στον πυρήνα της Γεωτεχνικής Μηχανικής βρίσκεται η μελέτη των εδαφικών ιδιοτήτων και των γεωλογικών διεργασιών που επηρεάζουν τα μνημεία. Μέσω της συστηματικής διερεύνησης των γεωλογικών συνθηκών, οι γεωτεχνικοί μηχανικοί αποκτούν μια ολοκληρωμένη εικόνα των παραγόντων που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τη δομική ακεραιότητα των μνημείων. Η ανάλυση της σύστασης, της συμπεριφοράς και της αντοχής των εδαφών, καθώς και η αξιολόγηση των υπόγειων υδάτων, αποτελούν βασικά στοιχεία αυτής της διερεύνησης (Παπαχαρίσης και συν., 2015).

Η Γεωτεχνική Μηχανική, εξετάζοντας τις ιδιαιτερότητες του υπεδάφους, τις ιδιότητες των πετρωμάτων και τις γεωλογικές διεργασίες που συμβαίνουν σε ένα συγκεκριμένο χώρο, μπορεί να εντοπίσει πιθανούς κινδύνους για τα μνημεία που βρίσκονται σε αυτόν. Για παράδειγμα, η παρουσία ασταθών εδαφών, η ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων ή η αυξημένη σεισμικότητα της περιοχής, μπορούν να αποτελέσουν σοβαρές απειλές για τη στατικότητα και την ασφάλεια των μνημείων. Επιπλέον, η Γεωτεχνική Μηχανική εξετάζει και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως η ρύπανση του υπεδάφους, η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων και οι αλλαγές στη χρήση γης, που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη διατήρηση των μνημείων (Burland, 2006).

Η ολοκληρωμένη αυτή προσέγγιση της Γεωτεχνικής Μηχανικής, που συνδυάζει τη γεωλογική γνώση με τις αρχές της μηχανικής και της περιβαλλοντικής επιστήμης, επιτρέπει στους γεωτεχνικούς μηχανικούς να αναπτύξουν εξειδικευμένες λύσεις για την προστασία των

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

μνημείων. Αυτές οι λύσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την ενίσχυση των θεμελίων, τη βελτίωση της αποστράγγισης, την προστασία από τη διάβρωση, ή την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών για την παρακολούθηση της κατάστασης των μνημείων σε πραγματικό χρόνο (Das & Sivakugan, 2017).

Η Γεωτεχνική Μηχανική, ως κλάδος της Πολιτικής Μηχανικής, διακρίνεται για τον διεπιστημονικό χαρακτήρα της και την εφαρμογή εξειδικευμένων μεθόδων για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που αφορούν την αλληλεπίδραση των κατασκευών με το γεωλογικό περιβάλλον. Συνδυάζει γνώσεις από τη γεωλογία, τη μηχανική, τη φυσική, τη χημεία και την περιβαλλοντική επιστήμη, προκειμένου να αναλύσει και να κατανοήσει τις πολύπλοκες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο υπέδαφος και επηρεάζουν τη συμπεριφορά των κατασκευών (Das, 2011).

Εικόνα 2: Ο πύργος της Πίζας (https://www.tripsavvy.com/the-leaning-tower-of-pisa-complete-guide-4172548)

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της Γεωτεχνικής Μηχανικής είναι η έμφαση στην έρευνα και την ανάλυση των εδαφικών ιδιοτήτων. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί χρησιμοποιούν ποικίλες μεθόδους, όπως γεωτεχνικές έρευνες, δειγματοληψίες εδάφους και πετρωμάτων, εργαστηριακές δοκιμές και δοκιμές πεδίου, για να προσδιορίσουν τη σύσταση, τη δομή, τη μηχανική συμπεριφορά και την αντοχή των εδαφικών σχηματισμών. Αυτές οι πληροφορίες είναι απαραίτητες για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, την πρόβλεψη της καθίζησης και την αξιολόγηση της σταθερότητας των πρανών (Παπαχαρίσης και συν., 2015).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Επιπλέον, η Γεωτεχνική Μηχανική ασχολείται με τη μελέτη των υπόγειων υδάτων, καθώς η παρουσία τους μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη συμπεριφορά των εδαφών και των κατασκευών. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί διερευνούν την υδρολογία της περιοχής, την κατανομή των υπόγειων υδάτων, τη διεύθυνση και την ταχύτητα ροής τους, καθώς και τις πιέσεις που ασκούν στο έδαφος και τα θεμέλια των κατασκευών. Αυτές οι πληροφορίες είναι κρίσιμες για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών συστημάτων αποστράγγισης, την πρόληψη της υδροστατικής ανύψωσης και την αντιμετώπιση προβλημάτων διάβρωσης (Lancellotta, 2008).

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της Γεωτεχνικής Μηχανικής είναι η χρήση προηγμένων αριθμητικών μεθόδων και μοντέλων για την ανάλυση και τον σχεδιασμό γεωτεχνικών έργων. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί χρησιμοποιούν εξειδικευμένα λογισμικά και προσομοιώσεις για να προβλέψουν τη συμπεριφορά των εδαφών και των κατασκευών υπό διάφορες συνθήκες φόρτισης και περιβαλλοντικές επιδράσεις. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, την ελαχιστοποίηση των κινδύνων και τη διασφάλιση της ασφάλειας και της λειτουργικότητας των έργων (Burland, 2006).

Η Γεωτεχνική Μηχανική διαδραματίζει έναν καίριο ρόλο στην αξιολόγηση και την αντιμετώπιση των γεωλογικών κινδύνων που απειλούν τα μνημεία. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, αξιοποιώντας τη βαθιά γνώση των εδαφικών ιδιοτήτων και των γεωλογικών διεργασιών, αναλαμβάνουν την πρόκληση της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς από μια σειρά φυσικών απειλών (Das & Sivakugan, 2017).

Οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις, η καθίζηση του εδάφους και η διάβρωση αποτελούν μερικούς από τους πιο εμφανείς γεωλογικούς κινδύνους για τα μνημεία. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί αναλύουν την σεισμικότητα της περιοχής, τις εδαφικές συνθήκες και την τοπογραφία του μνημείου, προκειμένου να εκτιμήσουν την ευπάθειά του σε σεισμούς και να σχεδιάσουν αντισεισμικές ενισχύσεις. Επιπλέον, μελετούν την σταθερότητα των πρανών και των εδαφών, εντοπίζοντας πιθανές αστάθειες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε κατολισθήσεις, και προτείνουν μέτρα όπως η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, η βελτίωση της αποστράγγισης ή η αναδάσωση για την πρόληψη και την αντιμετώπισή τους (Αλαμανής 2017). Η καθίζηση του εδάφους, που μπορεί να προκληθεί από την υπεράντληση υπόγειων υδάτων ή την συμπίεση των εδαφικών στρωμάτων, αντιμετωπίζεται με την ενίσχυση των θεμελίων ή την εφαρμογή τεχνικών εδαφοβελτίωσης. Τέλος, η διάβρωση, που προκαλείται από τη δράση του νερού και του ανέμου, αντιμετωπίζεται με την κατασκευή προστατευτικών επενδύσεων, την φύτευση κατάλληλης βλάστησης και τη διαμόρφωση του εδάφους (Αλαμανής 2006).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Εκτός από τους προαναφερθέντες κινδύνους, οι γεωτεχνικοί μηχανικοί εξετάζουν και λιγότερο προφανείς απειλές για τα μνημεία, όπως η διαστολή-συστολή αργιλικών εδαφών λόγω μεταβολών της υγρασίας, η δράση των ριζών των δέντρων που μπορούν να προκαλέσουν ρωγμές και μετακινήσεις, η συσσώρευση αλάτων που οδηγεί σε αποσάθρωση των δομικών υλικών, και η όξυνση του εδάφους λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, χρησιμοποιούνται εξειδικευμένες τεχνικές, όπως η έγχυση σταθεροποιητικών ουσιών στο έδαφος, η αφαίρεση ή η μεταφύτευση δέντρων, η εφαρμογή συστημάτων αφαλάτωσης, και η προστασία των μνημείων με ειδικές επιστρώσεις (Αλαμανής 2006).

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση των γεωλογικών κινδύνων απαιτεί τη χρήση ενός ευρέος φάσματος εξειδικευμένων μεθόδων και τεχνικών. Οι γεωτεχνικές έρευνες, οι εργαστηριακές δοκιμές και οι γεωφυσικές διασκοπήσεις επιτρέπουν στους μηχανικούς να αποκτήσουν λεπτομερή γνώση των εδαφικών και γεωλογικών συνθηκών. Οι προηγμένες αριθμητικές αναλύσεις, με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, επιτρέπουν την προσομοίωση της συμπεριφοράς των μνημείων υπό διάφορες συνθήκες φόρτισης και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων μέτρων προστασίας (Παπαχαρίσης και συν., 2015).

Η Γεωτεχνική Μηχανική αναδεικνύεται σε έναν κρίσιμο σύμμαχο στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει η κλιματική αλλαγή στη διατήρηση των μνημείων. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η αυξημένη συχνότητα και ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων και η μεταβολή των βροχοπτώσεων και των μοτίβων υγρασίας, αποτελούν σοβαρές απειλές για τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα των μνημείων. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, μελετώντας διεξοδικά τις επιπτώσεις αυτών των φαινομένων στο έδαφος, τα υπόγεια ύδατα και τα θεμέλια των μνημείων, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για την ελαχιστοποίηση των ζημιών και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης διατήρησής τους (Lancellotta, 2008).

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, για παράδειγμα, μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση των ακτών, υποσκαφή των θεμελίων και αύξηση της αλατότητας του εδάφους, επιταχύνοντας τη φθορά των μνημείων που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, αξιολογώντας την ευπάθεια των μνημείων σε αυτούς τους κινδύνους, μπορούν να προτείνουν λύσεις όπως η κατασκευή προστατευτικών αναχωμάτων, η ενίσχυση των θεμελίων με πασσάλους ή η εφαρμογή συστημάτων αφαλάτωσης του εδάφους (Das & Sivakugan, 2017).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Παράλληλα, η αυξημένη συχνότητα και ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι πλημμύρες, οι καύσωνες και οι πυρκαγιές, επιβάλλουν την ανάγκη για προσαρμογή των μνημείων στις νέες κλιματικές συνθήκες. Οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση, μετακινήσεις εδαφών και υποσκαφή των θεμελίων, ενώ οι καύσωνες μπορούν να οδηγήσουν σε θερμική καταπόνηση των δομικών υλικών και την εμφάνιση ρωγμών. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, αναλύοντας την αντίδραση των μνημείων σε αυτά τα φαινόμενα, μπορούν να προτείνουν λύσεις όπως η βελτίωση της αποστράγγισης για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, η εφαρμογή θερμομονωτικών υλικών για την προστασία από τους καύσωνες, και η χρήση πυράντοχων υλικών για την ελαχιστοποίηση των ζημιών από τις πυρκαγιές (Burland, 2006).

Τέλος, η μεταβολή των βροχοπτώσεων και των μοτίβων υγρασίας μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα των πρανών, να προκαλέσει καθιζήσεις του εδάφους και να επιταχύνει τη διάβρωση των δομικών υλικών. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, παρακολουθώντας τις μεταβολές αυτές και αξιολογώντας τις επιπτώσεις τους στα μνημεία, μπορούν να προτείνουν λύσεις όπως η βελτίωση της αποστράγγισης, η ενίσχυση των πρανών και η χρήση ανθεκτικών υλικών για την προστασία των μνημείων από τη φθορά (Das, 2011).

Η Γεωτεχνική Μηχανική, πέρα από την πρόληψη και την αντιμετώπιση των κινδύνων που απειλούν τα μνημεία, αποτελεί και έναν πολύτιμο σύμμαχο στην αποκατάσταση και την ενίσχυση των μνημείων που έχουν υποστεί ζημιές. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, αξιοποιώντας τη βαθιά γνώση των εδαφικών ιδιοτήτων και των γεωλογικών διεργασιών, καθώς και την εξειδίκευσή τους σε ένα ευρύ φάσμα τεχνικών, μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην επαναφορά των μνημείων στην αρχική τους κατάσταση, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη μακροπρόθεσμη σταθερότητά τους (Lancellotta, 2008).

Η αποκατάσταση των μνημείων που έχουν υποστεί ζημιές λόγω φυσικών καταστροφών, όπως σεισμοί, κατολισθήσεις ή πλημμύρες, αποτελεί μια σύνθετη και απαιτητική διαδικασία. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, σε συνεργασία με αρχαιολόγους, συντηρητές και άλλους ειδικούς, αναλαμβάνουν την ευθύνη της αξιολόγησης της έκτασης των ζημιών, της ανάλυσης των αιτιών που τις προκάλεσαν και του σχεδιασμού των κατάλληλων μέτρων αποκατάστασης (Burland, 2006).

Η ενίσχυση των θεμελίων αποτελεί συχνά ένα κρίσιμο βήμα στην αποκατάσταση των μνημείων. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, αξιολογώντας την κατάσταση των υπαρχόντων θεμελίων και τις εδαφικές συνθήκες, μπορούν να προτείνουν και να εφαρμόσουν τις κατάλληλες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

τεχνικές ενίσχυσης. Η έγχυση ρητινών στο έδαφος μπορεί να βελτιώσει την αντοχή και τη σταθερότητά του, ενώ η τοποθέτηση πασσάλων ή μικροπασσάλων μπορεί να ενισχύσει τα θεμέλια και να μεταφέρει τα φορτία σε σταθερότερα στρώματα εδάφους (Burland, 2006).

Σε περιπτώσεις όπου τα μνημεία βρίσκονται σε επικλινείς περιοχές, η σταθεροποίηση των πρανών είναι απαραίτητη για την αποφυγή κατολισθήσεων και την προστασία των μνημείων από περαιτέρω ζημιές. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί μπορούν να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν διάφορα μέτρα προκειμένου να διασφαλίσουν τη σταθερότητα των πρανών και την ασφάλεια των μνημείων. Τέλος, η χρήση προηγμένων υλικών μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αποκατάσταση και την ενίσχυση των μνημείων. Τα γεωσυνθετικά υλικά χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των εδαφών, την προστασία από τη διάβρωση, την αποστράγγιση και την στεγανοποίηση. Η χρήση αυτών των υλικών, σε συνδυασμό με τις κατάλληλες γεωτεχνικές τεχνικές, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ανθεκτικότητα και τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα των μνημείων (Das, 2011).

1.2 Προστασία Μνημείων

Η έννοια του μνημείου έχει εξελιχθεί σημαντικά με την πάροδο του χρόνου, επεκτεινόμενη πέρα από την αρχική της σύνδεση με επιβλητικά κτίσματα που κατασκευάζονταν για τη διαιώνιση της μνήμης προσώπων ή γεγονότων. Σήμερα, ο όρος «μνημείο» συμπεριλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα αντικειμένων, από μικρά χρηστικά αντικείμενα περασμένων εποχών έως ολόκληρα κτιριακά σύνολα, τεχνικά έργα και φυσικά τοπία. Κοινός παρονομαστής όλων αυτών των αντικειμένων είναι η ικανότητά τους να μεταφέρουν πληροφορίες και να ανακαλούν μνήμες από το παρελθόν, συνδέοντας την ιστορία και τον πολιτισμό (Cleere, 2020).

Σύμφωνα με το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (ICOMOS), μνημείο θεωρείται κάθε ακίνητο, κτισμένο ή όχι, που διακρίνεται για το αρχαιολογικό, ιστορικό, αισθητικό ή εθνογραφικό του ενδιαφέρον. Αυτός ο ορισμός αναδεικνύει τη σημασία της πολυπλοκότητας και της ποικιλομορφίας των μνημείων, τα οποία μπορούν να αποτελούν μαρτυρίες διαφορετικών εποχών, πολιτισμών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Kalman & Létourneau, 2020).

Η έννοια του μνημείου δεν περιορίζεται μόνο στην ιστορική του αξία, αλλά επεκτείνεται και στην αισθητική, την κοινωνική, την επιστημονική και την τεχνολογική του διάσταση. Υπό αυτή την έννοια μνημείο μπορεί να είναι ένα αρχαίο θέατρο, μια μεσαιωνική εκκλησία, ένα νεοκλασικό αλλά και ένα βιομηχανικό συγκρότημα που συνιστά τεκμήριο της τεχνολογικής

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

εξέλιξης. Η αναγνώριση και η προστασία των μνημείων αποτελούν μια σημαντική πρόκληση για τη σύγχρονη κοινωνία. Η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτεί τη συνεργασία πολλών επιστημονικών κλάδων, όπως η αρχαιολογία, η ιστορία, η αρχιτεκτονική, η μηχανική και η γεωτεχνική (Demas, 2002).

Η προστασία των μνημείων αποτελεί θεμελιώδη αρχή της σύγχρονης κοινωνίας, θεμελιωμένη στην πεποίθηση ότι τα πολιτιστικά αγαθά πρέπει να διατηρούνται ανεξάρτητα από τη χρηστική τους αξία. Η αντίληψη αυτή, σχετικά πρόσφατη, αναδύθηκε τον 19ο αιώνα και εξελίχθηκε ραγδαία κατά τον 20ο αιώνα, επηρεασμένη από κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές εξελίξεις, αλλά και από τις καταστροφές που προκλήθηκαν από τους παγκόσμιους πολέμους (Meskell, 2014).

Η σύγχρονη θεώρηση της προστασίας των μνημείων θεμελιώθηκε στις αρχές του 19ου αιώνα, με πρωτοπόρο τον Ιταλό αρχιτέκτονα Camillo Boito, ο οποίος υποστήριξε την ανάγκη για σεβασμό των ιστορικών τεκμηρίων και τη διαφοροποίηση μεταξύ αυθεντικών στοιχείων και προσθηκών. Οι θέσεις του Boito αποτέλεσαν τη βάση για τη διαμόρφωση ενός πλαισίου συμπεριφοράς προς τα μνημεία, το οποίο ισχύει σε μεγάλο βαθμό και σήμερα (Letellier & Eppich, 2015).

Η διεθνής κοινότητα, αναγνωρίζοντας την αξία της πολιτιστικής κληρονομιάς, έχει αναπτύξει ένα πλέγμα διεθνών συμβάσεων και χαρτών που καθορίζουν τις αρχές και τις πρακτικές για την προστασία των μνημείων. Ο Χάρτης της Βενετίας (1964) αποτελεί ορόσημο, καθιερώνοντας την αρχή της αναβίωσης της ιστορικής φυσιογνωμίας των μνημείων και τονίζοντας τη σημασία της αυθεντικότητας των υλικών και της αρχικής υπόστασης (Cleere, 2020).

Στην Ελλάδα, η προστασία των αρχαιοτήτων και η οργάνωση της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας ξεκίνησαν στις αρχές του 20ου αιώνα. Έκτοτε, η χώρα έχει υιοθετήσει και εφαρμόσει τις διεθνείς αρχές και κατευθυντήριες γραμμές, αναπτύσσοντας παράλληλα την δική της τεχνογνωσία και εμπειρία στον τομέα της συντήρησης και αποκατάστασης των μνημείων. Η προστασία των μνημείων αποτελεί πλέον αναπόσπαστο μέρος της εθνικής πολιτικής για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Μαλλούχου Tufano, 016).

Η έννοια της συντήρησης και της αποκατάστασης μνημείων αποτελεί κεντρικό άξονα στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ενώ οι όροι συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά, φέρουν διακριτές σημασίες και προσεγγίσεις. Η συντήρηση εστιάζει στη διατήρηση της

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

αυθεντικότητας και της ιστορικής αξίας του μνημείου, εστιάζοντας στην πρόληψη της φθοράς και την επιβράδυνση της γήρανσης. Από την άλλη, η αποκατάσταση αφορά την επαναφορά του μνημείου σε μια προηγούμενη κατάσταση, συχνά μετά από φθορά ή καταστροφή (Cassar et al., 2001).

Οι σύγχρονες πρακτικές συντήρησης και αποκατάστασης βασίζονται σε μια σειρά από αρχές και κατευθυντήριες γραμμές που έχουν διαμορφωθεί μέσα από διεθνείς συμβάσεις και χάρτες, όπως ο Χάρτης της Βενετίας (1964). Σύμφωνα με αυτές τις αρχές, η επέμβαση στα μνημεία πρέπει να είναι ελάχιστη, σεβόμενη την αυθεντικότητα των υλικών και την ιστορική τους εξέλιξη. Οι όποιες προσθήκες ή τροποποιήσεις πρέπει να είναι αναγνωρίσιμες και να μην αλλοιώνουν την αρχική μορφή του μνημείου (Darvill, 2014).

Η συντήρηση των μνημείων περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δράσεων, από τον τακτικό καθαρισμό και την προστασία από τις καιρικές συνθήκες, έως την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως η υγρασία, η ρύπανση και η βιολογική προσβολή. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του μνημείου και την έκταση της φθοράς, και μπορεί να περιλαμβάνουν την εφαρμογή ειδικών επιστρώσεων, την αφαίρεση επιβλαβών ουσιών, τη στερέωση και την ενίσχυση των δομικών στοιχείων (Emerick, 2014).

Η αποκατάσταση, από την άλλη πλευρά, είναι μια πιο δραστική επέμβαση που απαιτείται όταν το μνημείο έχει υποστεί σοβαρές ζημιές. Στόχος της αποκατάστασης είναι η επαναφορά του μνημείου σε μια προηγούμενη κατάσταση, όσο το δυνατόν πιο κοντά στην αρχική του μορφή. Η αποκατάσταση μπορεί να περιλαμβάνει την ανακατασκευή κατεστραμμένων τμημάτων, την αντικατάσταση φθαρμένων υλικών και την ενίσχυση της δομικής ακεραιότητας του μνημείου. Σε κάθε περίπτωση, η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων αποτελούν μια διαδικασία που απαιτεί επιστημονική γνώση, εξειδικευμένες δεξιότητες και σεβασμό στην ιστορική και πολιτιστική αξία των μνημείων. Η διεπιστημονική συνεργασία είναι απαραίτητη για την επιτυχή διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Meskell, 2014).

Η διεθνής κοινότητα έχει αναγνωρίσει τη σημασία της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς και έχει αναπτύξει ένα σημαντικό πλέγμα διεθνών συμβάσεων και χαρτών που καθορίζουν τις αρχές και τις πρακτικές για τη διατήρηση των μνημείων. Αυτά τα κείμενα αποτελούν ορόσημα στην παγκόσμια προσπάθεια για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης προστασίας και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς (Deák et al., 2016).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Η αρχή έγινε με τη Διακήρυξη Αρχών της Κοινότητας για την Προστασία των Αρχαίων Κτιρίων (Manifesto of SPAB) στην Αγγλία το 1877, ενώ ακολούθησαν σημαντικά κείμενα όπως το Ψήφισμα του 1883 στην Ιταλία, ο Χάρτης των Αθηνών του 1931 και οι Κανόνες για την Αποκατάσταση Μνημείων του 1932. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η διεθνής κοινότητα ενέτεινε τις προσπάθειές της για την προστασία των μνημείων, με τη Σύμβαση της Χάγης του 1954 για την Προστασία της Πολιτιστικής Ιδιοκτησίας σε περίπτωση Ένοπλης Σύρραξης και τον Χάρτη της Βενετίας του 1964, ο οποίος αποτελεί ακόμα και σήμερα ένα σημαντικό σημείο αναφοράς για τη φιλοσοφία και τις πρακτικές συντήρησης και αποκατάστασης των μνημείων (Emerick, 2014).

Η UNESCO, με τη Σύμβαση για την Προστασία της Παγκόσμιας Πολιτιστικής και Φυσικής Κληρονομιάς του 1972, έθεσε τις βάσεις για την αναγνώριση και την προστασία των μνημείων παγκόσμιας σημασίας. Το Συμβούλιο της Ευρώπης, με τον Ευρωπαϊκό Χάρτη της Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς του 1975 και τη Σύμβαση της Γρανάδας του 1985, έδωσε έμφαση στην προστασία της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς της Ευρώπης (Cleere, 2020).

Παράλληλα, το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (ICOMOS) έχει εκδώσει μια σειρά από χάρτες και κατευθυντήριες γραμμές για την προστασία και διαχείριση των μνημείων, όπως ο Χάρτης της Πετρούπολης (1987) για τη διατήρηση των ιστορικών κέντρων πόλεων, ο Χάρτης για τη Διατήρηση των Ιστορικών Κήπων (1982) και ο Χάρτης για την Προστασία και Διαχείριση της Αρχαιολογικής Κληρονομιάς (1990) (Kalman & Létourneau, 2020).

Αυτές οι διεθνείς συμβάσεις και χάρτες αποτελούν ένα δυναμικό πλαίσιο που εξελίσσεται συνεχώς, προσαρμοζόμενο στις νέες προκλήσεις και απειλές που αντιμετωπίζουν τα μνημεία. Η συνεχής προσπάθεια για τη διατήρηση και την προστασία της πολιτιστικής μας κληρονομιάς αποτελεί μια παγκόσμια ευθύνη και απαιτεί τη συνεργασία και τον συντονισμό σε διεθνές, εθνικό και τοπικό επίπεδο (Meskell, 2014).

1.3 Ο Ρόλος της Γεωτεχνικής Μηχανικής στην Προστασία των Μνημείων

Η διατήρηση των μνημείων αποτελεί διαχρονικό ζήτημα που έχει απασχολήσει τους μηχανικούς για μεγάλο χρονικό διάστημα και έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. Μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα, η επικρατούσα τάση ήταν η αποκατάσταση των φθορών ή των ζημιών των ιστορικών κατασκευών μέσω της ανακατασκευής, με στόχο να επανέλθουν στην (υποτιθέμενη) αρχική τους μορφή. Ωστόσο, στις αρχές του 20ού αιώνα, μια

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

νέα αντίληψη για την πολιτιστική κληρονομιά εμφανίστηκε στην Ευρώπη, υποστηρίζοντας ότι η αξία ενός μνημείου δεν εξαρτάται μόνο από την αρχική του εμφάνιση, αλλά και από τα σημάδια του χρόνου που συμβάλλουν στην άυλη αξία του (Sesov et al., 2013).

Η Χάρτα της Βενετίας (1964) και μεταγενέστερα έγγραφα, όπως το Έγγραφο της Νάρα (1994) και η Χάρτα της Κρακοβίας (2000), έχουν προσθέσει συμπληρωματικές πληροφορίες και αρχές σε αυτές τις αρχικές αναφορές, αναγνωρίζοντας ότι η έννοια της διατήρησης και ο ορισμός της αυθεντικότητας και της κληρονομιάς πρέπει να εξετάζονται λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά πολιτιστικά περιβάλλοντα που υπάρχουν σε όλο τον κόσμο (Viggiani, 2013).

Ωστόσο, η ιστορική ακεραιότητα και η αυθεντικότητα είναι κάπως ασαφείς έννοιες, όπως αποδεικνύεται από το παράδειγμα της διατήρησης ορισμένων ιερών στην Ιαπωνία. Μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα, αρκετά ξύλινα ιερά Shinto υποβάλλονταν σε πλήρη ανακατασκευή. Αργότερα, τον 19ο αιώνα, σε όλα τα ιερά Shinto εκτός από ένα (το ιερό Ise) σταμάτησε η περιοδική ανακατασκευή. Σήμερα, ενώ το ιερό Ise διατηρεί την τελετουργική ανακατασκευή του κάθε 20 χρόνια, όλα τα άλλα ιερά προστατεύονται από το νόμο ως αρχιτεκτονική κληρονομιά. Το συγκεκριμένο παράδειγμα εγείρει το ερώτημα σχετικά με το τι μπορεί να θεωρηθεί αυθεντικό σε αυτή την περίπτωση. Από τη μία πλευρά υπάρχει η συντήρηση των υλικών του 19ου αιώνα, ενώ από την άλλη πλευρά υπάρχει η διατήρηση της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς που προκύπτει από την τελετουργική ανακατασκευή του ιερού (Lancellotta et al., (2022).

Η απάντηση δεν είναι εύκολη, καθώς τέτοια προβλήματα αποτελούν μια πρόκληση για τον ρόλο της γεωτεχνικής μηχανικής. Παρόλα αυτά, ο ρόλος της γεωτεχνικής μηχανικής αναδεικνύεται σημαντικός και πολύπλευρος, τονίζοντας την σχέση της γεωτεχνικής μηχανικής με την πολιτιστική κληρονομιά. Τρεις βασικοί άξονες μπορούν να θεωρηθούν η συμβολή της γεωτεχνικής μηχανικής στην ανακάλυψη πολιτιστικών θησαυρών, η συντήρηση τους, αλλά και η διερεύνηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους που μπορεί να προσφέρει σημαντική γνώση σχετικά με τις τεχνικές και τις πρακτικές του παρελθόντος (Caputo, 2003).

Η γεωτεχνική μηχανική μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανακάλυψη κρυμμένων αρχαιολογικών θησαυρών. Στην περίπτωση του Copan, μιας αρχαίας πόλης των Μάγια, η διάβρωση από τον ποταμό Copan αποκάλυψε αρχαία στρώματα κτιρίων, υποδεικνύοντας την ύπαρξη σημαντικών θαμμένων κατασκευών. Για να διερευνηθούν αυτές οι κατασκευές, αναπτύχθηκε ένα εκτεταμένο σύστημα σηράγγων κάτω από το συγκρότημα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

των μνημείων, οδηγώντας σε εξαιρετικές αρχαιολογικές ανακαλύψεις, όπως διακοσμητικά ανάγλυφα από γύψο που παρείχαν πολύτιμες πληροφορίες για την προέλευση και την ανάπτυξη του συγκροτήματος των Μάγια (Lancellotta et al., (2022).

Εικόνα 3: Η πόλη Copan (http://www.mayan-ruins.org/copan/)

Ωστόσο, η αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών στις σήραγγες οδήγησε στην επιδείνωση πολύτιμων διακοσμητικών υλικών, απαιτώντας τη συμβολή των γεωτεχνικών μηχανικών για να διασφαλίσουν την ασφάλεια των ερευνητών και των επισκεπτών και να διατηρήσουν την πολιτιστική κληρονομιά. Οι σήραγγες, που ανασκάφηκαν σε διαφορετικά στρώματα χωμάτων, παρουσίασαν προβλήματα αστάθειας, ιδίως σε τμήματα χωρίς επένδυση ή κοντά σε επενδεδυμένα τμήματα. Οι γεωτεχνικές αναλύσεις αποκάλυψαν ότι οι βροχοπτώσεις και οι καταιγίδες επηρέασαν σημαντικά τη σταθερότητα των σηράγγων, ιδίως των μη επενδεδυμένων τμημάτων (Dashko & Shidlovskaya, 2013).

Η γεωτεχνική μηχανική μπορεί επίσης να αποδειχτεί παράγοντας ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση της επιδείνωσης της κατάστασης των ιστορικών χώρων λόγω φυσικών αιτιών ή ανθρώπινων παρεμβάσεων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η Crypta Neapolitana, μια ρωμαϊκή σήραγγα που διασχίζει τον λόφο Posillipo στην Ιταλία. Αυτή η σήραγγα, που κατασκευάστηκε για να βελτιώσει τη σύνδεση μεταξύ Puteoli και Neapolis, έχει υποστεί εκτεταμένες ζημιές με την πάροδο του χρόνου λόγω σεισμών, πλημμυρών και επακόλουθων εργασιών ανακαίνισης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

(Dąbska, 2023). Οι γεωτεχνικές έρευνες, συμπεριλαμβανομένων των γεωτρήσεων και των δοκιμών επίπεδων βυσμάτων, σε συνδυασμό με λεπτομερείς γεωμετρικές έρευνες με σαρωτή λέιζερ, αποκάλυψαν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες ευστάθειας της σήραγγας. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι ορισμένα τμήματα της σήραγγας βρίσκονταν στα πρόθυρα της κατάρρευσης, ενώ άλλα ήταν σταθερά (Viggiani, 2013).

Σε αυτές τις περιπτώσεις, η γεωτεχνική μηχανική όχι μόνο βοηθά στην ανακάλυψη κρυμμένων πτυχών της πολιτιστικής κληρονομιάς, αλλά παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση και προστασία της. Μέσω της διερεύνησης, της ανάλυσης και της εφαρμογής γεωτεχνικών λύσεων, οι μηχανικοί μπορούν να συμβάλουν στη διασφάλιση της μακροζωίας αυτών των πολύτιμων ιστορικών χώρων για τις μελλοντικές γενιές. Επιπλέον, η μελέτη αυτών των αρχαίων κατασκευών μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για τις τεχνικές και τα υλικά που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν, εμπλουτίζοντας την κατανόησή μας για την ιστορία και την τεχνολογία (Sesov et al., 2013)

Τα τείχη της Κωνσταντινούπολης, που χτίστηκαν τον 5ο αιώνα μ.Χ., αποτελούν ένα εξαιρετικό παράδειγμα της σημασίας της γεωτεχνικής μηχανικής στη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Παρά το γεγονός ότι άντεξαν σε πολλές πολιορκίες, τα τείχη υπέστησαν σημαντικές ζημιές από σεισμούς και πλημμύρες. Συγκεκριμένα, ο ισχυρός σεισμός του 1999 προκάλεσε σημαντικές ζημιές σε τμήματα των τειχών και σε ορισμένους πύργους, ιδίως σε εκείνους που είχαν υποστεί εργασίες αποκατάστασης (Calabresi, 2013).

Η ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς των τειχών και των πύργων, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής και χρησιμοποιώντας τρισδιάστατες δυναμικές αριθμητικές αναλύσεις, αποκάλυψε ότι η μερική κατάρρευση του πύργου Τ19 κατά τη διάρκεια του σεισμού δεν ήταν απρόσμενη, καθώς ήταν απλώς η επανάληψη ενός γεγονότος που είχε συμβεί αρκετές φορές από την κατασκευή των τειχών τον πέμπτο αιώνα (Caputo, 2003).

Αυτή η περίπτωση υπογραμμίζει τη σημασία της κατανόησης της δυναμικής συμπεριφοράς των ιστορικών κατασκευών και των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών, προκειμένου να σχεδιαστούν αποτελεσματικές δράσεις διατήρησης και να αποφευχθούν λάθη αποκατάστασης που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα αυτών των πολιτιστικών θησαυρών. Η γνώση που αποκτήθηκε από τέτοιες μελέτες μπορεί να καθοδηγήσει τις μελλοντικές

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

προσπάθειες διατήρησης και να διασφαλίσει ότι αυτά τα μνημεία θα συνεχίσουν να αποτελούν πολιτιστική κληρονομιά για τις μελλοντικές γενιές (Flora, 2022).

2. Αρχές και Πρακτικές Συντήρησης Μνημείων

2.1 Βασικές Αρχές της Συντήρησης Μνημείων

Η τεχνολογική πρόοδος στη γεωτεχνική μηχανική έχει ανοίξει σημαντικές προοπτικές για τη διατήρηση των μνημείων. Οι νέες τεχνολογίες επιτρέπουν την εισαγωγή δομικών στοιχείων οποιουδήποτε μεγέθους στο έδαφος, τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους με ανάμειξη με τσιμέντο και την έγχυση υλικών σκλήρυνσης για την αντικατάσταση των υγρών των πόρων. Αυτές οι εξελίξεις έχουν τη δυνατότητα να προστατεύσουν σημαντικούς ιστορικούς χώρους που απειλούνται από αστάθεια, κατολισθήσεις και τις καιρικές συνθήκες (Martinez et al., 2022).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Η πρόοδος αυτή δεν περιορίζεται μόνο στην ενίσχυση των θεμελίων. Ο τομέας της μηχανικής των ακόρεστων εδαφών και της μέτρησης της αναρρόφησης του εδάφους έχει οδηγήσει σε συστήματα ελέγχου που μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις της συρρίκνωσης και της εξόγκωσης των εδαφών, ιδιαίτερα σε παλιά κτίρια με ρηχά θεμέλια. Αυτά τα συστήματα, που συχνά περιλαμβάνουν υπόγειους πορώδεις σωλήνες νερού, προσφέρουν έναν τρόπο αντιμετώπισης των απροσδόκητων καθιζήσεων που προκαλούνται από τις κλιματικές αλλαγές ή τη μείωση της στάθμης του νερού (Randolph et al., 2005).

Ωστόσο, η εφαρμογή της τεχνολογικής προόδου στον τομέα της συντήρησης των μνημείων απαιτεί προσεκτική εξέταση. Ενώ οι δυνατότητες είναι τεράστιες, οι επεμβάσεις πρέπει να γίνονται με σεβασμό στην ιστορική ακεραιότητα της κατασκευής. Η απλή ενίσχυση της στατικής συμπεριφοράς ή της σεισμικής αντοχής μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω ζημιές, όπως αποδεικνύεται από περιπτώσεις όπως ο μιναρές της Μοσούλης στο Ιράκ (Lee & Basu, 2018).

Εικόνα 4: Επισκευή του μιναρέ της Μοσούλης (https://saudigazette.com.sa/article/594511/World/Mena/Al-Nuri-Mosque-restoration-sign-of-UAEs-preservation-of-human-heritage)

Στην ιδανική περίπτωση, η γεωτεχνική μηχανική θα πρέπει να συμβάλλει σε μια ολιστική κατανόηση του μνημείου και του περιβάλλοντός του, συμπεριλαμβανομένων των επιλογών των αρχικών σχεδιαστών, των μεταγενέστερων τροποποιήσεων και των αιτιών της φθοράς.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Αυτή η προσέγγιση ευθυγραμμίζεται με την τρέχουσα άποψη ότι η συντήρηση των μνημείων περιλαμβάνει τη διατήρηση όλων των δομικών στοιχείων, ακόμη και εκείνων που δεν είναι ορατά, ως υλικό δείγμα της ιστορίας του. Η συνεργασία μεταξύ εμπειρογνωμόνων από διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων των γεωτεχνικών μηχανικών, των αρχαιολόγων και των ιστορικών, είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη αυτού του στόχου (Ferentinou & Simpson, 2019).

Η γεωτεχνική μηχανική, πέρα από την τεχνική της διάσταση, έχει έναν ουσιαστικό ρόλο στη διατήρηση της ιστορικής γνώσης που ενσωματώνουν τα αρχαία κτίρια. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των κτιρίων και του εδάφους θεμελίωσής τους μπορεί να αποκαλύψει πληροφορίες σχετικά με τις επιλογές των αρχικών σχεδιαστών, τις αλλαγές που έγιναν με την πάροδο του χρόνου, τις αιτίες των ζημιών και τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές και υλικά, τοποθετώντας τα όλα αυτά στο ιστορικό τους πλαίσιο (Han, 2015).

Ωστόσο, η υπερβολική έμφαση στην τεχνολογική παρέμβαση μπορεί να βλάψει την ιστορική ακεραιότητα ενός μνημείου. Οι προσπάθειες βελτίωσης της στατικής συμπεριφοράς ή της σεισμικής αντοχής, αν και γίνονται με καλή πρόθεση, μπορεί να οδηγήσουν σε μη αναστρέψιμες ζημιές. Ο μιναρές της Μοσούλης, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, όπου οι βαριές, επεμβατικές παρεμβάσεις επιδείνωσαν την κατάστασή του αντί να τον προστατεύσουν (Martinez et al., 2022).

Η τρέχουσα φιλοσοφία της συντήρησης δίνει έμφαση στη διατήρηση όλων των δομικών στοιχείων ενός μνημείου, ακόμη και εκείνων που δεν είναι ορατά, όπως τα θεμέλια. Αυτά τα στοιχεία θεωρούνται υλικά τεκμήρια της ιστορίας του και η αντικατάσταση ή η τροποποίησή τους θα μπορούσε να αλλοιώσει την αυθεντικότητά του. Η περίπτωση του Πύργου της Πίζας καταδεικνύει αυτή τη μετατόπιση της νοοτροπίας. Οι αρχικές προτάσεις επικεντρώνονταν στη δημιουργία νέων, βαθύτερων θεμελίων, αλλά τελικά υιοθετήθηκε μια λιγότερο επεμβατική λύση που στόχευε στη διατήρηση της αρχικής δομής του πύργου (Alfaro et al., 2008).

Στην ουσία, ο ρόλος της γεωτεχνικής μηχανικής στη διατήρηση των μνημείων είναι διττός. Αφενός, μπορεί να αποκαλύψει πολύτιμες ιστορικές γνώσεις μέσω της μελέτης της αλληλεπίδρασης των κτιρίων με το έδαφος. Αφετέρου, η τεχνολογική της εργαλειοθήκη, όταν χρησιμοποιείται με σύνεση και σεβασμό στην ιστορική αυθεντικότητα, μπορεί να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρηση αυτών των πολιτιστικών θησαυρών. Η ισορροπία μεταξύ αυτών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

των δύο πτυχών αποτελεί τη βασική πρόκληση για τους γεωτεχνικούς μηχανικούς σε αυτόν τον τομέα (Kanwar & Shukla, 2020).

Η διεπιστημονική συνεργασία είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διατήρηση των μνημείων. Η γεωτεχνική μηχανική, σε συνδυασμό με άλλες επιστήμες όπως η αρχαιολογία, η ιστορία και η αρχιτεκτονική, μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της ιστορίας, της κατάστασης και των πιθανών κινδύνων που αντιμετωπίζει ένα μνημείο (Chowdhury & Flentje, 2007).

Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, αναλύοντας το έδαφος και τα θεμέλια, μπορούν να αποκαλύψουν τις τεχνικές κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν, τις μεταβολές στο περιβάλλον με την πάροδο του χρόνου και τους παράγοντες που συμβάλλουν σε τυχόν ζημιές. Αυτές οι πληροφορίες είναι ανεκτίμητες για τους αρχαιολόγους και τους ιστορικούς, καθώς συμπληρώνουν την κατανόησή τους για τις προηγούμενες εποχές και τους πολιτισμούς (Randolph et al., 2005).

Επιπλέον, η διεπιστημονική προσέγγιση επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κινδύνων που αντιμετωπίζει ένα μνημείο. Για παράδειγμα, οι γεωτεχνικοί μηχανικοί μπορούν να εντοπίσουν πιθανές αστοχίες εδάφους ή θεμελίωσης, ενώ οι σεισμολόγοι μπορούν να αξιολογήσουν την ευπάθεια σε σεισμούς. Αυτή η συλλογική τεχνογνωσία είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών μέτρων διατήρησης που αντιμετωπίζουν όλες τις πιθανές απειλές (Kolathayar et al., 2023).

Η μελέτη της Κοιλάδας των Ναών στο Αγκριτζέντο αποτελεί ένα παράδειγμα επιτυχημένης διεπιστημονικής συνεργασίας. Οι γεωτεχνικές μελέτες όχι μόνο συνέβαλαν στην κατανόηση της τεχνικής κουλτούρας των αρχαίων Ελλήνων, αλλά αποκάλυψαν και τη λογική διάταξη της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και τη σεισμικότητα της περιοχής (DeGroot & DeJong, 2020).

Η διεπιστημονική συνεργασία διασφαλίζει ότι η διατήρηση των μνημείων δεν είναι απλώς μια τεχνική άσκηση, αλλά μια ολιστική προσπάθεια που σέβεται την ιστορική, πολιτιστική και τεχνική σημασία αυτών των κατασκευών. Ενσωματώνοντας τις γνώσεις και τις προοπτικές από διάφορους τομείς, Μπορούν να αναπτυχθούν λύσεις για την συντήρηση που είναι αποτελεσματικές, ασφαλείς και, το σημαντικότερο, σέβονται την πλούσια κληρονομιά που ενσωματώνουν αυτά τα μνημεία (Martinez et al., 2022).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Η ενσωμάτωση της αρχής της αυθεντικότητας στη γεωτεχνική μηχανική απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση που εκτιμά όχι μόνο τις ορατές πτυχές ενός μνημείου, αλλά και τα κρυμμένα θεμέλια, τις αλληλεπιδράσεις του με το περιβάλλον και τα πολιτιστικά του χαρακτηριστικά. Αυτή η ολιστική άποψη διασφαλίζει ότι οι προσπάθειες διατήρησης σέβονται και διατηρούν την αυθεντικότητα του μνημείου στο σύνολό του (Ciancia, 2019).

Η αρχή της αυθεντικότητας, όπως ορίζεται στο «Έγγραφο της Νάρα για την Αυθεντικότητα», υπογραμμίζει τη σημασία του σεβασμού της πολιτιστικής και κληρονομικής ποικιλομορφίας κατά τον καθορισμό της αυθεντικότητας. Αυτό σημαίνει ότι η αυθεντικότητα ενός μνημείου δεν πρέπει να περιορίζεται σε μια άκαμπτη ερμηνεία, αλλά θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις περιφερειακές παραδόσεις και τις πολιτισμικές αποχρώσεις που συνδέονται με την κατασκευή του. Στην περίπτωση των μνημείων, η αυθεντικότητα επεκτείνεται πέρα από τα φυσικά συστατικά που αξιοποιήθηκαν στην κατασκευή τους για να συμπεριλάβει την ιστορική, πολιτιστική και κοινωνική τους αξία (Lee & Basu, 2018).

Στο πλαίσιο της γεωτεχνικής μηχανικής, η διατήρηση της αυθεντικότητας παραδοσιακά επικεντρώθηκε στις υπερκατασκευές των ιστορικών μνημείων, όπως φράγματα, αναχώματα και τοίχοι. Το πρακτικό αποτέλεσμα ήταν ότι οι θεμελιώσεις αυτών των κατασκευών συχνά παραβλέπονταν. Οι επεμβάσεις στα θεμέλια ή στα αναχώματα στα οποία έχουν κατασκευαστεί ορισμένα μνημεία δεν θεωρούνταν συνήθως απαραίτητες. Αυτό παραβλέπει το γεγονός ότι η μέθοδος θεμελίωσης ή το ίδιο το ανάχωμα μπορεί να είναι σημαντικά από ιστορική ή πολιτιστική άποψη. Αναγνωρίζοντας αυτή την παράβλεψη, η Διεθνής Επιστημονική Επιτροπή για την Ανάλυση και Αποκατάσταση Κατασκευών Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς διεύρυνε την έννοια της δομής ώστε να συμπεριλάβει τα θεμέλια ως αναπόσπαστο μέρος. Επιπλέον, τονίζει τη σημασία της αναγνώρισης της αυθεντικότητας και των στοιχείων που καθορίζουν το χαρακτήρα των θεμελίων κατά την αξιολόγηση και την αποκατάστασή τους (Han, 2015).

Οι βασικές αρχές που διέπουν την συντήρηση των ιστορικών κτιρίων πηγάζουν από την ανάγκη διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς και διασφάλισης της μακροζωίας αυτών των πολύτιμων δομών. Η ακεραιότητα και η αυθεντικότητα αποτελούν ακρογωνιαίους λίθους στη συντήρηση των ιστορικών κτιρίων. Η ακεραιότητα αναφέρεται στη διατήρηση της αρχικής δομής και των υλικών του κτιρίου, διασφαλίζοντας ότι οι τυχόν τροποποιήσεις ή επισκευές εναρμονίζονται με το αρχικό σχέδιο και τα υλικά. Η αυθεντικότητα, από την άλλη πλευρά, εστιάζει στη διατήρηση της ιστορικής, πολιτιστικής και καλλιτεχνικής αξίας του κτιρίου,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

διατηρώντας τα αρχικά χαρακτηριστικά και την πατίνα του χρόνου που αντικατοπτρίζουν την ιστορία του (Martinez et al., 2022).

Η τρωτότητα είναι μια κρίσιμη πτυχή που πρέπει να αντιμετωπιστεί στη συντήρηση των ιστορικών κτιρίων. Η εγγενής τρωτότητα αναφέρεται στις αδυναμίες που υπάρχουν στο αρχικό σχέδιο ή την κατασκευή του κτιρίου, ενώ η επαγόμενη τρωτότητα προκύπτει από παράγοντες όπως οι φυσικές καταστροφές, η ανθρώπινη παρέμβαση ή η φθορά με την πάροδο του χρόνου. Η κατανόηση και ο μετριασμός αυτών των τρωτών σημείων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της μακροζωίας του μνημείου (Budhu, 2010).

Η παρακολούθηση και η συντήρηση αποτελούν ουσιαστικές πρακτικές για τη διατήρηση της των ιστορικών κτιρίων σε καλή κατάσταση. Η τακτική παρακολούθηση περιλαμβάνει οπτικούς ελέγχους, μετρήσεις οργάνων και λεπτομερείς επιτόπιες επιθεωρήσεις για την ανίχνευση τυχόν σημείων φθοράς ή πιθανών κινδύνων. Η συντήρηση περιλαμβάνει τόσο την καθημερινή φροντίδα όσο και έκτακτες παρεμβάσεις για την αντιμετώπιση τυχόν ζημιών ή φθορών που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης. Αυτές οι πρακτικές διασφαλίζουν ότι το κτίριο παραμένει σε καλή κατάσταση και τυχόν προβλήματα αντιμετωπίζονται άμεσα, με στόχο την αποτροπή της επιβάρυνσης του μνημείου (Alfaro et al., 2008).

Οι μέθοδοι γεωτεχνικής αποκατάστασης μνημείων μπορούν να χωριστούν σε δύο ευρείες κατηγορίες, τις σκληρές και τις μαλακές μεθόδους με βάση την τυπολογία του Ulitsky (2005). Οι σκληρές μέθοδοι περιλαμβάνουν την τροποποίηση των θεμελίων του μνημείου ή την εφαρμογή άμεσης δύναμης στα θεμέλια. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την επισκευή ή την ενίσχυση των υπαρχόντων θεμελίων, την παροχή πρόσθετων στηριγμάτων ή την υποστύλωση των θεμελίων με πασσάλους. Επιπλέον, οι σκληρές μέθοδοι μπορούν να περιλαμβάνουν την επέκταση των πεδίλων ή των βάθρων σε περιπτώσεις θεμελίωσης με πασσάλους, ή την εφαρμογή δύναμης με αγκύρια, πρόσθετη φόρτιση ή ανύψωση των θεμελίων για την αντιμετώπιση ανομοιόμορφων καθιζήσεων (Ulitsky, 2005).

Από την άλλη πλευρά, οι μαλακές μέθοδοι επικεντρώνονται στη βελτίωση του υπεδάφους ή στην πρόκληση διορθωτικών κινήσεων στα θεμέλια, προκαλώντας κατάλληλες κινήσεις στο έδαφος. Τέτοιες μέθοδοι περιλαμβάνουν την εξαγωγή εδάφους και την υποσκαφή, την αποστράγγιση ή την πρόκληση αλλαγών στις πιέσεις των πόρων του νερού με έγχυση νερού ή ηλεκτρο-ώσμωση. Επιπλέον, οι μαλακές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν ενέματα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

αντιστάθμισης, αφαίρεση του εδαφικού υποστρώματος, βελτίωση του υπεδάφους μέσω διαφόρων τεχνικών (π.χ. τσιμεντενέσεις, εγχυτήσεις), καθώς και την κατασκευή τάφρων απομόνωσης μεταξύ νέων και υφιστάμενων κτιρίων ή μνημείων. Οι σκληρές μέθοδοι αλλοιώνουν το σύστημα θεμελίωσης, ενώ οι άλλες μαλακές μέθοδοι μεταβάλλουν τις συνθήκες του υπεδάφους. Συνολικά, η επιλογή μεταξύ σκληρών και μαλακών μεθόδων εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις και τους περιορισμούς του έργου αποκατάστασης (Ulitsky, 2005).

2.2 Το Έδαφος στη Γεωτεχνική Μηχανική

Η συμπεριφορά ενός τεχνικού έργου εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τις ιδιότητες των εδαφικών υλικών στα οποία στηρίζεται. Οι μηχανικοί, επομένως, εξετάζουν όλες τις οργανικές και ανόργανες ύλες που βρίσκονται πάνω από τον φλοιό του βράχου. Αυτά τα υλικά προέρχονται από πετρώματα, των οποίων οι ιδιότητες ποικίλλουν ανάλογα με το αν είναι εκρηξιγενή (π.χ. ηφαιστειακή τέφρα), ιζηματογενή (π.χ. ψαμμίτης, σχιστόλιθος και ασβεστόλιθος) ή μεταμορφωμένα (π.χ. σχιστόλιθος, μάρμαρο και γνεύσιος) (Roy & Bhalla, 2017).

Τα εδαφικά υλικά αποτελούνται από κόκκους ορυκτών που έχουν προκύψει από τη φυσική αποσάθρωση ή και τη χημική αποσύνθεση των πετρωμάτων. Τα μεγέθη των κόκκων εδάφους κυμαίνονται από χαλίκια έως πολύ μικρά σωματίδια αργίλου. Με βάση το μέγεθος των κόκκων τους, τα εδάφη ταξινομούνται σε χαλίκια, άμμο, ιλύ και άργιλο. Η άργιλος είναι το πιο ενεργό μέρος του εδάφους λόγω της υψηλής ειδικής επιφάνειάς της και της χημικής της σύστασης (Gens, 2010).

Τα εδάφη μπορούν επίσης να χωριστούν σε δύο μεγάλες ομάδες, τα υπολειμματικά εδάφη, προερχόμενα από την επιτόπια αποσάθρωση πετρώματος τα οποία παραμένουν στη θέση σχηματισμού τους και τα μεταφερόμενα εδάφη, τα οποία έχουν μεταφερθεί μακριά από τον τόπο σχηματισμού τους από παγετώνες, άνεμο ή νερό. Τα μεταφερόμενα εδάφη μπορεί να είναι χαλαρά και μαλακά σε βάθος αρκετών εκατοντάδων ποδιών, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες στην κατασκευή (Χατζηγώγος, 2015).

Ο προσανατολισμός των σωματιδίων στο έδαφος, ο οποίος ονομάζεται δομή του εδάφους, επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες της εδαφικής μάζας. Η συμπεριφορά μιας εδαφικής μάζας εξαρτάται από τη συμπεριφορά των μεμονωμένων σωματιδίων που αποτελούν τη μάζα, καθώς και από τον τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα σωματίδια. Το νερό παίζει σημαντικό

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

ρόλο σε όλες αυτές τις περιπτώσεις. Η συμπεριφορά της εδαφικής μάζας επηρεάζεται βαθιά από τις σχέσεις μεταξύ των σωματιδίων και του νερού, την ικανότητα των εδαφικών σωματιδίων να προσροφούν εναλλάξιμα κατιόντα και την ποσότητα του νερού που υπάρχει (Brinkgreve, 2005).

2.3 Προληπτική Συντήρηση

Η προληπτική συντήρηση μνημείων αποτελεί μια ολιστική προσέγγιση που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της φθοράς και την αποτροπή μελλοντικών ζημιών, εξασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η γεωτεχνική μηχανική, ως κλάδος που ασχολείται με τη μελέτη του εδάφους και των θεμελίων, διαδραματίζει καίριο ρόλο στην προληπτική συντήρηση, εστιάζοντας στην αλληλεπίδραση των μνημείων με το γεωλογικό περιβάλλον τους (Lee & Basu, 2018).

Η προληπτική συντήρηση μνημείων στηρίζεται σε τρεις βασικές αρχές, την έγκαιρη ανίχνευση, την τακτική επιθεώρηση και τις προληπτικές ενέργειες. Η έγκαιρη ανίχνευση σημείων φθοράς αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματική συντήρηση. Επιτυγχάνεται μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής συστημάτων παρακολούθησης, τα οποία αξιοποιούν τεχνολογίες αιχμής για την καταγραφή και ανάλυση δεδομένων που αφορούν την κατάσταση των μνημείων. Η γεωτεχνική μηχανική συμβάλλει σε αυτήν την προσπάθεια με τη διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών, την ανάλυση των ιδιοτήτων του εδάφους και την αξιολόγηση της σταθερότητας των θεμελίων (Han, 2015).

Συμπληρωματικά, η διενέργεια τακτικών επιθεωρήσεων επιτρέπει την αξιολόγηση της κατάστασης των μνημείων και την αναγνώριση πιθανών προβλημάτων σε πρώιμο στάδιο. Τέλος, η λήψη προληπτικών μέτρων αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της προληπτικής συντήρησης. Αυτά τα μέτρα, όπως η στεγανοποίηση και η προστασία από τη διάβρωση αποσκοπούν στην πρόληψη ή την επιβράδυνση της φθοράς, διασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των μνημείων (Alfaro et al., 2008).

Η πρόληψη αποτελεί κεντρικό πυλώνα της προληπτικής συντήρησης. Με την εφαρμογή γεωτεχνικών πρακτικών, όπως η σταθεροποίηση του εδάφους, η ενίσχυση των θεμελίων και η αποστράγγιση, οι μηχανικοί μπορούν να αντιμετωπίσουν προληπτικά τους παράγοντες που απειλούν τη σταθερότητα και την ακεραιότητα των μνημείων. Επιπλέον, η χρήση συμβατών υλικών επισκευής και η εφαρμογή ήπιων μεθόδων αποκατάστασης συμβάλλουν στην

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

ελαχιστοποίηση της παρέμβασης και στη διατήρηση της αυθεντικότητας των μνημείων (Martinez et al., 2022).

Η προληπτική συντήρηση δεν περιορίζεται στην αντιμετώπιση των υφιστάμενων προβλημάτων, αλλά επεκτείνεται και στην πρόληψη μελλοντικών ζημιών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των μέτρων συντήρησης. Η γεωτεχνική μηχανική συμβάλλει στην διαχείριση των μνημείων με την ανάπτυξη ολοκληρωμένων σχεδίων που λαμβάνουν υπόψη τις γεωλογικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές της συντήρησης των μνημείων (Chowdhury & Flentje, 2007).

Η ελαχιστοποίηση της φθοράς και η αποτροπή μελλοντικών ζημιών αποτελούν πρωταρχικούς στόχους της προληπτικής συντήρησης μνημείων. Η επιλογή συμβατών υλικών επισκευής και συντήρησης, που είναι χημικά, φυσικά και μηχανικά συμβατά με τα αρχικά υλικά των μνημείων, διασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη ακεραιότητα και αυθεντικότητα των κατασκευών. Επιπλέον, η εφαρμογή της αρχής της ελάχιστης παρέμβασης, προτιμώντας αναστρέψιμες και ήπιες μεθόδους αποκατάστασης, ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο πρόκλησης περαιτέρω ζημιών και διατηρεί την ιστορική αξία των μνημείων (Randolph et al., 2005).

2.4 Επεμβατική Συντήρηση

Η επεμβατική συντήρηση στη γεωτεχνική μηχανική αναφέρεται σε ένα σύνολο μεθόδων και τεχνικών που εφαρμόζονται για την αποκατάσταση και ενίσχυση των μνημείων όταν η φθορά έχει ήδη συμβεί. Στόχος της είναι η διατήρηση της αυθεντικότητας και της ιστορικής αξίας των μνημείων, διασφαλίζοντας παράλληλα τη στατική τους επάρκεια και την ασφάλεια των επισκεπτών (Holt et al., 2010).

Οι μέθοδοι επεμβατικής συντήρησης ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση και την έκταση της φθοράς, καθώς και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε μνημείου. Συνήθως περιλαμβάνουν την ενίσχυση των θεμελίων, την αποκατάσταση των δομικών στοιχείων, την αντιμετώπιση των προβλημάτων υγρασίας και την προστασία από τις περιβαλλοντικές φορτίσεις (Ferentinou & Simpson, 2019).

Η ενίσχυση των θεμελίων μπορεί να περιλαμβάνει την έγχυση ειδικών υλικών στο έδαφος, την τοποθέτηση πρόσθετων υποστυλωμάτων ή την εφαρμογή τεχνικών αντιστήριξης. Η αποκατάσταση των δομικών στοιχείων μπορεί να περιλαμβάνει την αντικατάσταση

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

φθαρμένων υλικών, την ανακατασκευή κατεστραμμένων τμημάτων ή την ενίσχυση των υφιστάμενων δομών με σύγχρονες τεχνικές (Kanwar & Shukla, 2020).

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων υγρασίας είναι κρίσιμη για τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των μνημείων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν την εγκατάσταση συστημάτων αποστράγγισης, την εφαρμογή στεγανωτικών υλικών και την εξασφάλιση επαρκούς αερισμού. Η προστασία από τις περιβαλλοντικές φορτίσεις, όπως η βροχή, ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία, επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ειδικών επιστρώσεων, την τοποθέτηση προστατευτικών κατασκευών και τη δημιουργία κατάλληλου μικροκλίματος γύρω από το μνημείο (Lee & Basu, 2018).

Η επεμβατική συντήρηση στη γεωτεχνική μηχανική απαιτεί τη συνεργασία πολλών ειδικοτήτων, όπως γεωτεχνικών μηχανικών, αρχιτεκτόνων, συντηρητών και αρχαιολόγων. Η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων και υλικών γίνεται με γνώμονα την ελαχιστοποίηση της παρέμβασης στο μνημείο και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης διατήρησής του. Η επεμβατική συντήρηση αποτελεί μια δυναμική διαδικασία που απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες (Alfaro et al., 2008).

2.5 Εφαρμογές Γεωτεχνικής Μηχανικής στη Συντήρηση Μνημείων

Η γεωτεχνική μηχανική παρέχει ένα ευρύ φάσμα πρακτικών εφαρμογών για τη συντήρηση των μνημείων. Η αποκατάσταση των αρχικών στοιχείων θεμελίωσης, η προσθήκη έρματος και η υποσκαφή είναι μερικές από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας των μνημείων. Η αποκατάσταση των αρχικών στοιχείων θεμελίωσης ενός μνημείου είναι ένα μόνιμο μέτρο που χρησιμοποιείται συνήθως προληπτικά. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την επέκταση ή την αντικατάσταση των υπαρχόντων θεμελίων με νέα υλικά, διατηρώντας παράλληλα τη σύνδεση με την υπερκείμενη κατασκευή (Budhu, 2010). Η προσθήκη έρματος είναι ένα διορθωτικό μέτρο που αντισταθμίζει τις κλίσεις και τις καθιζήσεις. Αυτό μπορεί να είναι προσωρινό ή μόνιμο και περιλαμβάνει την τοποθέτηση αντίβαρων στην λιγότερο βυθισμένη πλευρά της κατασκευής. Η υποσκαφή είναι μια προσωρινή ή μόνιμη τεχνική που χρησιμοποιείται για την επαναφορά των διαφορικών καθιζήσεων. Περιλαμβάνει την αφαίρεση μικρών όγκων εδάφους από τις υπερυψωμένες περιοχές προκειμένου να προκληθεί διορθωτική καθίζηση (Ciancia, 2019).

Η προσθήκη στοιχείων βαθιάς θεμελίωσης, όπως οι μικροπάσσαλοι, οι πάσσαλοι ελέγχου και οι πάσσαλοι με μηχανικό έλεγχο, είναι μια μόνιμη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

πρόληψη ή τη διόρθωση των διαφορικών καθιζήσεων. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την εισαγωγή πρόσθετων στοιχείων θεμελίωσης, συνήθως στην πλευρά με τη μικρότερη καθίζηση ενός μνημείου, για να αποτραπεί η περαιτέρω καθίζηση της περιοχής. Αυτά τα πρόσθετα στοιχεία θεμελίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση των υφιστάμενων θεμελίων ή για την πλήρη αναδόμηση του μνημείου (Martinez et al., 2022).

Οι μικροπάσσαλοι, ειδικότερα, είναι μικροί πάσσαλοι από σκυρόδεμα που συνδέονται με την υπερκείμενη κατασκευή, μεταφέροντας δυνάμεις εφελκυσμού και βασικής διάτμησης. Μπορούν να εγκατασταθούν κατακόρυφα ή υπό κλίση και αποτελούνται από έναν χαλύβδινο σωλήνα με πλευρικές οπές που εισάγεται σε μια προ-τρυπημένη οπή. Στη συνέχεια εγχέεται τσιμεντοκονία μέσω των πλευρικών οπών για να σχηματιστεί ο μικροπάσσαλος (Randolph et al., 2005).

Οι πάσσαλοι ελέγχου διαθέτουν μια συσκευή που ρυθμίζει το φορτίο που ασκείται στην κεφαλή τους, καθώς και την κατακόρυφη μετατόπιση της υπερκείμενης κατασκευής. Αυτοί οι πάσσαλοι δεν συνδέονται με τα θεμέλια, αλλά τα φορτία στην κεφαλή τους εφαρμόζονται μέσω ενός πλαισίου αντίδρασης. Οι πάσσαλοι με μηχανικό έλεγχο και/ή με θήκη έχουν σχεδιαστεί για να αποτρέπουν τη μετάδοση αρνητικής τριβής. Η χρήση χαλύβδινου περιβλήματος επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση της φέρουσας ικανότητας της αιχμής σε πασσάλους που στηρίζονται σε σκληρά στρώματα ή βαθιές αποθέσεις, αποφεύγοντας παράλληλα τις επιπτώσεις της αρνητικής τριβής (Katsigiannis, 2017).

Η γεωτεχνική μηχανική παρέχει ένα ευρύ φάσμα τεχνικών για την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως η διάβρωση και η αποσάθρωση. Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν την έγχυση ρητινών, την ενίσχυση του εδάφους με διάφορες μεθόδους και την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης. Η έγχυση ρητινών είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους και τη μείωση της διαπερατότητάς του. Οι ρητίνες εγχέονται στο έδαφος μέσω οπών που έχουν ανοιχτεί στο μνημείο ή στο περιβάλλον έδαφος, γεμίζοντας τους πόρους και τις ρωγμές του εδάφους (Han, 2015).

Η ενίσχυση του εδάφους μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους, όπως η συμπίεση, η χρήση γεωσυνθετικών υλικών, η κατάψυξη του εδάφους και η χρήση βιολογικών μεθόδων. Οι μέθοδοι αυτές έχουν ως στόχο τη βελτίωση της αντοχής και της σταθερότητας του εδάφους, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση των μνημείων. Οι τοίχοι αντιστήριξης χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη πρανών ή εδαφικών επιφανειών που κινδυνεύουν από κατολίσθηση. Οι

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

τοίχοι αυτοί κατασκευάζονται από διάφορα υλικά, όπως σκυρόδεμα, πέτρα ή χάλυβα (Kanwar & Shukla, 2020).

Η βελτίωση του εδάφους είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν από την χαμηλή αντοχή, την υψηλή συμπιεστότητα και τη χαμηλή διαπερατότητα των εδαφών. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την αλλαγή των ιδιοτήτων του εδάφους για τη μείωση του κινδύνου αστοχίας των θεμελίων ή για την πρόληψη απαράδεκτων καθιζήσεων. Οι τεχνικές βελτίωσης του εδάφους που χρησιμοποιούνται συνήθως περιλαμβάνουν το jet grouting, την βαθιά ανάμειξη, την κατάψυξη του εδάφους και την έγχυση κονιαμάτων με υδραυλική θραύση (Rehman, 2023).

Το jet grouting και η βαθιά ανάμειξη είναι μέθοδοι επιτόπιας επεξεργασίας του εδάφους που περιλαμβάνουν την έγχυση υλικών με βάση το τσιμέντο για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους. Η κατάψυξη του εδάφους είναι μια προσωρινή τεχνική που χρησιμοποιείται για τη στήριξη των εκσκαφών και την πρόληψη της ροής του νερού. Η έγχυση κονιαμάτων με υδραυλική θραύση χρησιμοποιείται σε μαλακά εδάφη για τη βελτίωση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών μέσω της έγχυσης μείγματος τσιμέντου και μπεντονίτη (DeGroot & DeJong, 2020).

Οι άκαμπτες εγκλείσεις είναι μια άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μείωση των ολικών και διαφορικών καθιζήσεων, καθώς και για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την τοποθέτηση στοιχείων υψηλής αντοχής και ακαμψίας στο έδαφος, τα οποία δεν συνδέονται δομικά με τα θεμέλια του κτιρίου (Martinez et al., 2022).

Οι γεωτεχνικές λύσεις που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως προληπτικές ή διορθωτικές. Οι διορθωτικές λύσεις εφαρμόζονται για τον μετριασμό των επιπτώσεων των διαφορικών καθιζήσεων, όπως οι κλίσεις και οι δομικές βλάβες (Budhu, 2010). Αυτές οι λύσεις είναι απαραίτητες όταν υπάρχουν άγνωστοι παράγοντες που μπορούν να μεταβάλλουν τις συνθήκες στο χώρο, όπως η απώλεια νερού από δεξαμενές ή σωλήνες και η αφαίρεση ή η εισαγωγή δέντρων. Οι προληπτικές λύσεις, από την άλλη πλευρά, στοχεύουν στην πρόληψη των επιβλαβών επιπτώσεων των διαφορικών καθιζήσεων ή των μελλοντικών ζημιών. Αυτές οι λύσεις μπορούν να εφαρμοστούν όταν οι συνθήκες στο χώρο έχουν τροποποιηθεί, για παράδειγμα από κοντινές εκσκαφές, ανασκαφές και κατασκευή σηράγγων. Σε πολλές περιπτώσεις, η επιλογή προληπτικών μέτρων μπορεί επίσης να εξαλείψει τον αιτιώδη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

παράγοντα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στην αντιμετώπιση των σεισμικών κινδύνων πρέπει να επιδιώκονται τόσο προληπτικά όσο και διορθωτικά μέτρα (Αλαμανής, Ν. Ο. 2017).

2.6 Συντήρηση και Επισκευή

Ο σχεδιασμός του έργου για τη δομική αποκατάσταση των ιστορικών μνημείων θα είναι παρόμοιος με το σχεδιασμό των νέων κτιρίων, που θα αποτελείται από γραπτά έγγραφα και σχέδια που θα επιτρέπουν την εκτέλεση των έργων. Ο σχεδιασμός μπορεί να αναπτυχθεί σε φάσεις, όπως και για τα νέα κτίρια (προκαταρκτικός σχεδιασμός, σχεδιασμός εκτέλεσης κ.λπ.), αλλά γενικά θα αναπτυχθεί σε μία μόνο φάση, μετά και ως συνέπεια της δομικής αξιολόγησης που έχει πραγματοποιηθεί στο μνημείο (Kolathayar et al., 2023).

Τα έργα που προτείνονται για την επέμβαση θα πρέπει να συνοδεύονται από λεπτομερείς προδιαγραφές για την εκτέλεσή τους, δηλαδή σχετικά με τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν και τους όρους εφαρμογής τους, τις φάσεις εκτέλεσης και τον απαραίτητο εξοπλισμό. Θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνεται μια εκτίμηση του κόστους κάθε εργασίας, που θα έχει καθοριστεί με ρεαλιστικό τρόπο. Στην περίπτωση των μνημείων που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση των εργασιών, το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καθορισμό των φάσεων της εκτέλεσης και στην εκτίμηση του κόστους (Holt et al., 2010).

Η επισκευή της υποβάθμισης των δομικών υλικών επιτυγχάνεται, γενικά, μέσω της αποκατάστασης της γεωμετρίας των δομικών στοιχείων. Όταν η απώλεια μιας διατομής δεν είναι πολύ σημαντική, αρκεί η λήψη προστατευτικών μέτρων των υπαρχόντων υλικών. Κατά την αποκατάσταση της γεωμετρίας των στοιχείων, ως βασική αρχή θα πρέπει να χρησιμοποιούνται υλικά πανομοιότυπα με τα αρχικά. Η χρήση νέων υλικών θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον τύπο του αρχικού υλικού και τα ελαττώματα που συνδέονται με αυτό (Alfaro et al., 2008).

Η επισκευή των στοιχείων τοιχοποιίας επιτυγχάνεται, γενικά, με την επανατοποθέτηση των ρωγμών με κονίαμα ή την έγχυση κατάλληλου ενέματος. Μερικές φορές, η κατάλληλη λύση αναγκαστικά περιλαμβάνει την αντικατάσταση των φθαρμένων μονάδων τοιχοποιίας. Η σύνθεση του κονιάματος ή του ενέματος που θα χρησιμοποιηθεί (τσιμέντο, ρητίνη κ.λπ.) θα εξαρτηθεί από τα χαρακτηριστικά της ίδιας της τοιχοποιίας. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη συμβατότητα των υλικών επισκευής και της υπάρχουσας τοιχοποιίας. Για την επιφανειακή επισκευή ενός στοιχείου τοιχοποιίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν χημικά γαλακτώματα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

(πυριτικά άλατα κ.λπ.). Η κατάλληλη λύση θα πρέπει να αναλύεται σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες (Chowdhury & Flentje, 2007).

Για την εξάλειψη της βιολογικής φθοράς στα στοιχεία τοιχοποιίας, υπάρχουν επίσης σήμερα αρκετές λύσεις (βιοκτόνα, λέιζερ κ.λπ.). Η κατάλληλη λύση θα πρέπει επίσης να αναλύεται σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Η εξάλειψη της διείσδυσης του νερού και η άνοδος με τριχοειδή δράση της υγρασίας στην τοιχοποιία, που προέρχεται από τα θεμέλια, είναι γενικά δύσκολο να επιτευχθεί. Η έγχυση υδροδραστικών ενέσεων, με βάση ρητίνες πολυουρεθάνης, είναι μερικές φορές επαρκής. Όταν είναι δυνατόν, η καλύτερη λύση θα είναι πάντα η εξάλειψη της πηγής της μόλυνσης, μέσω της κατάλληλης αποστράγγισης και αφαλάτωσης του εδάφους (Lee & Basu, 2018).

Όσον αφορά τη δράση των οργανισμών που φθείρουν το ξύλο, υπάρχουν σήμερα συντηρητικά υλικά με εντομοκτόνες ιδιότητες και είναι κατάλληλα για την προστασία του ξύλου. Όσον αφορά την επίδραση της υγρασίας στο εξωτερικό των στοιχείων των επικαλύψεων και των δαπέδων που είναι ενσωματωμένα σε τοίχους, μια επαρκής λύση θα ήταν η προστασία τους από τη διείσδυση του βρόχινου νερού. Όταν τα στοιχεία αυτά έχουν υποστεί σημαντική φθορά, θα πρέπει να αντικαθίστανται με νέα (Han, 2015).

Για το πρόβλημα της ύπαρξης διαμήκων ρωγμών στα ξύλινα στοιχεία, υπάρχουν επίσης ορισμένες λύσεις, όπως η χρήση πλευρικών συνδετήρων ή δεσμών ή η έγχυση με ειδικά προϊόντα (συνθετικές ρητίνες κ.λπ.). Όταν χρησιμοποιούνται χαλύβδινα στοιχεία σε αυτή την ενίσχυση, θα πρέπει να προστατεύονται επαρκώς από τη διάβρωση. Όταν χρησιμοποιούνται υλικά στερεοποίησης στο ξύλο, θα πρέπει επίσης να επαληθεύεται η συμβατότητά τους (Katsigiannis, 2017).

Το κύριο πρόβλημα με τα χαλύβδινα ή σιδερένια στοιχεία είναι η διάβρωση. Η επισκευή τους απαιτεί, πρώτον, την εξάλειψη της σκουριάς, για την οποία υπάρχουν διάφορες τεχνικές (αμμοβολή κ.λπ.), και στη συνέχεια την κάλυψη των επιφανειών με κατάλληλα προϊόντα, συνήθως μπογιά. Όταν υπάρχει σημαντική μείωση των διατομών τους, τα δομικά στοιχεία θα πρέπει να αντικαθίστανται με νέα. Ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες, οι μειώσεις άνω του 20% θεωρούνται, κατ' αρχήν, σημαντικές (Randolph et al., 2005).

Η επισκευή και η ενίσχυση των δομικών στοιχείων που έχουν πληγεί από μηχανικές δράσεις απαιτεί συνήθως την εισαγωγή πρόσθετων στοιχείων για την αποκατάσταση ή την αύξηση της αντοχής τους. Σε ειδικές περιπτώσεις, η μερική κατεδάφιση και η ανακατασκευή των

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

στοιχείων, με τη χρήση, όσο το δυνατόν περισσότερο, τεχνικών πανομοιότυπων με τις αρχικές, μπορεί επίσης να είναι επαρκής (DeGroot & DeJong, 2020).

Σχετικά με τους τοίχους, για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των κάθετων φορτίων, τα πιο αποτελεσματικά μέτρα είναι η ενοποίηση του ίδιου του υλικού, μέσω έγχυσης ή επανατοποθέτησης. Στην περίπτωση των σύνθετων τοίχων, με δύο εξωτερικούς φλοιούς και έναν εσωτερικό πυρήνα (συνήθως, χαμηλής ποιότητας), οι χαλύβδινοι σύνδεσμοι που συνδέονται στους εξωτερικούς φλοιούς, αποτελούν ένα αποτελεσματικό μέτρο για τη διασφάλιση της ακεραιότητάς τους, εμποδίζοντας τον διαχωρισμό τους από τον εσωτερικό πυρήνα. Όταν οι τοίχοι είναι ραγισμένοι λόγω φόρτισης στο επίπεδο, μια κατάλληλη λύση θα είναι η τοποθέτηση αγκυρίων στο πάχος του τοίχου, που να διασχίζουν τις ρωγμές. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να είναι επαρκής η απλή σύσφιξη των ρωγμών με κατάλληλους σφιγκτήρες, που τοποθετούνται στην επιφάνεια του τοίχου. Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των πλευρικών φορτίων στους τοίχους, αυτοί μπορούν να ενισχυθούν με μεταλλικό οπλισμό ή ταινίες από σύνθετα υλικά όπως ίνες άνθρακα (CFRP), γυάλινες ίνες (GRC) κ.λπ., που εφαρμόζονται στις όψεις τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αντηρίδα μπορεί επίσης να είναι επαρκής (Chowdhury & Flentje, 2007).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Εικόνα 5: Επίστεγη αντηρίδα (https://el.wiktionary.org/wiki/%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%AF%CE%B4%CE%B1)

Στην περίπτωση μνημείων με ξύλινα δάπεδα, ένα σημαντικό μέτρο είναι η βελτίωση των συνδέσεων των τοίχων με τα δάπεδα με μεταλλικά στοιχεία, με στόχο ιδίως τη σεισμική ενίσχυση. Τα μεταλλικά αυτά στοιχεία θα πρέπει να προστατεύονται επαρκώς από τη διάβρωση. Όσον αφορά τους κίονες, η έγχυση, η εφαρμογή δεσμών και ο πλευρικός περιορισμός με περιτύλιξη με μεταλλικά φύλλα ή σύνθετα υλικά (CFRP, GRC κ.λπ.) είναι τα μέτρα που χρησιμοποιούνται συνήθως. Η καλύτερη λύση θα εξαρτηθεί από τις ειδικές συνθήκες (Rehman, 2023).

Για αυτόν τον τύπο στοιχείου, εκτός από την έγχυση και την επανατοποθέτηση, μπορούν να ληφθούν και άλλα μέτρα, όπως η εισαγωγή συνδετήρων, γενικά από χάλυβα, για την αντιστάθμιση της ώθησης που προκαλείται στις στηρίξεις. Οι σύνδεσμοι πρέπει να τοποθετούνται, κατά προτίμηση, στο επίπεδο της έδρασης (σε τόξα και θόλους) ή κατά μήκος παράλληλων κύκλων (σε τρούλους). Θα πρέπει να εγκαθίστανται με ελαφρύ βαθμό προέντασης, προκειμένου να διασφαλίζεται ότι θα βρίσκονται πάντα υπό τάση (Ciancia, 2019).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Όταν είναι δυνατή η εγκατάσταση, μια άλλη λύση θα ήταν η επένδυση του εξωτερικού των θόλων με ταινίες από κολλημένα σύνθετα υλικά. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στο φαινόμενο φραγμού που δημιουργείται κατά μήκος του θόλου. Μια εναλλακτική λύση, πολύ χρήσιμη σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, συνίσταται στην εισαγωγή ενισχυτικών στοιχείων (από χάλυβα ή ξύλο), κολλημένων στο εξωτερικό της τοιχοποιίας, τα οποία παρέχουν ακαμψία στο θόλο και στα οποία το φαινόμενο φραγμού είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητο (Lee & Basu, 2018).

Όταν τα μπλοκ έχουν βγει από τη θέση τους, μια κατάλληλη λύση θα ήταν η αποσυναρμολόγηση, ακολουθούμενη από την ανοικοδόμηση στη σωστή θέση. Σε πολύ σοβαρές καταστάσεις, όταν το σχήμα του στοιχείου έχει αλλάξει πολύ, μπορεί να είναι πιο κατάλληλη η κατεδάφιση του στοιχείου, ακολουθούμενη από την ανακατασκευή του με υλικά παρόμοια με τα αρχικά. Στην περίπτωση των γεμιστών θόλων, μια πιθανή λύση θα ήταν η μείωση του βάρους ή, εάν είναι σκόπιμο, η προσαρμογή της κατανομής του. Στην περίπτωση των δαπέδων που κατασκευάζονται με πλινθόκτιστους θόλους που στηρίζονται σε χαλύβδινες δοκούς, ένα επαρκές μέτρο για τον περιορισμό του πλευρικού διαχωρισμού τους θα συνίσταται στην τοποθέτηση συνδετήρων, από χάλυβα, συγκολλημένων στην κάτω φλάντζα των δοκών (Budhu, 2010).

Όσον αφορά την ενίσχυση ή την υποστήριξη των θεμελίων τοίχων ή κιόνων, η παραδοσιακή τεχνική κατασκευής προβόλων σε λάκκους είναι ακόμη συνηθισμένη. Η χρήση μικροπασσάλων και η βελτίωση του εδάφους μέσω έγχυσης με jet-grouting ή με υδροδραστικά ενέματα είναι λύσεις που γίνονται επίσης όλο και πιο δημοφιλείς. Ωστόσο, όταν υιοθετούνται τέτοιου είδους μέτρα, θα πρέπει να επεκτείνονται σε ολόκληρο το μνημείο, προκειμένου να αποφευχθεί η διαφορική παραμόρφωση του μνημείου. Η έγχυση έχει το πλεονέκτημα της δημιουργίας ενός φραγμού για την προστασία από την τριχοειδή άνοδο του νερού στο μνημείο (Alfaro et al., 2008).

Μια άλλη λύση, που μερικές φορές είναι δυνατή, είναι η διεύρυνση του θεμελίου, συνήθως με πρόσθετα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε αυτή την περίπτωση, θα είναι απαραίτητο να συνδεθούν αποτελεσματικά τα παλιά και τα νέα στοιχεία. Για να αποφευχθεί η ρηγμάτωση των μνημείων κατά τη διάρκεια των εκσκαφών (για την εκτέλεση σηράγγων, για παράδειγμα), μπορούν να κατασκευαστούν δοκοί από οπλισμένο σκυρόδεμα κάτω από τους τοίχους και τους κίονες, προκειμένου να μεταφερθεί το βάρος του μνημείου στο περιβάλλον έδαφος, κατά την εκτέλεση των εργασιών (Kanwar & Shukla, 2020).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Όσον αφορά τις καμάρες, τους θόλους και τους τρούλους, όταν αυτοί υποβάλλονται σε διαφορική καθίζηση των θεμελίων, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί υποστήριξη, χρησιμοποιώντας λύσεις πανομοιότυπες με αυτές που αναφέρονται για τους τοίχους και τους κίονες. Όταν οι πύργοι και οι καμινάδες υποβάλλονται σε διαφορικές καθιζήσεις, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν οι λύσεις που αναφέρονται παραπάνω. Μερικές φορές, η κατάλληλη λύση θα είναι η αύξηση της παραμορφωσιμότητας του εδάφους στη ζώνη όπου είναι πιο άκαμπτο, για παράδειγμα, μέσω της εκτέλεσης οριζόντιων οπών στο έδαφος (όπως έχει γίνει στον πύργο της Πίζας, για παράδειγμα). Η αναβάθμιση των θεμελίων για τα στοιχεία με πλαίσιο μπορεί επίσης να επιτευχθεί με τη χρήση λύσεων πανομοιότυπων με αυτές που αναφέρονται παραπάνω για τους τοίχους και τους κίονες (Ferentinou & Simpson, 2019).

Η βελτίωση της ασφάλειας των ιστορικών μνημείων έναντι των σεισμών μπορεί να επιτευχθεί με παρέμβαση, τουλάχιστον σε έναν από τους δύο ακόλουθους τομείς: την αντοχή ή την ολκιμότητα. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι οι επεμβάσεις αυτού του τύπου είναι, γενικά, πολύ παρεμβατικές και επίσης πολύ δαπανηρές. Στην περίπτωση των μνημείων στα οποία απαιτείται η ενίσχυση των στοιχείων, μια επαρκής λύση θα ήταν η τοπική ενίσχυση αυτών των στοιχείων (Lee & Basu, 2018).

Μια άλλη πιθανή λύση θα ήταν η εισαγωγή πρόσθετων πολύ άκαμπτων στοιχείων στο μνημείο, όπως τοιχία διάτμησης ή διαγώνια στοιχεία αντιστήριξης, αλλά αυτές οι λύσεις είναι γενικά πολύ παρεμβατικές. Μια εναλλακτική λύση θα συνίστατο στην κατασκευή ενός πρόσθετου, αυτόνομου, ανθεκτικού συστήματος (π.χ. από χάλυβα), συνδεδεμένου με το υπάρχον μνημείο, προκειμένου να διασφαλιστεί η συνδυασμένη συμπεριφορά των δύο συστημάτων υπό σεισμική δράση (Holt et al., 2010).

Στην περίπτωση μνημείων μεγάλης σπουδαιότητας, μπορεί να είναι σκόπιμο να εισαχθούν διατάξεις απορρόφησης ενέργειας, όπως η απομόνωση του μνημείου στη βάση του, μέσω εδράνων που απορροφούν ενέργεια στα θεμέλια. Μια άλλη δυνατότητα θα ήταν η εγκατάσταση ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων στις συνδέσεις μεταξύ των κύριων τμημάτων του μνημείου ή η εισαγωγή πρόσθετων διαγώνιων στοιχείων (Han, 2015).

Η εξάλειψη των υπαρχουσών ανωμαλιών στο κτίριο, δηλαδή της κατανομής της δυσκαμψίας, της αντοχής ή της μάζας, θα αποτελούσε επίσης ένα θετικό μέτρο, αλλά θα ήταν δυνατή μόνο σε κτίρια χωρίς σημαντική πολιτιστική αξία. Σε κάθε περίπτωση, η μείωση υλικών που

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

επιβαρύνουν άσκοπα δάπεδα και οροφές (ντουλάπια αρχειοθέτησης κ.λπ.), όταν είναι δυνατόν, είναι συνήθως ωφέλιμη για το κτίριο (Chowdhury & Flentje, 2007).

Υπάρχουν επίσης σχετικά απλά μέτρα που, αν και δεν επιλύουν πλήρως το πρόβλημα, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ασφάλεια ενός μνημείου έναντι των σεισμών. Πρόκειται για μέτρα που αποσκοπούν στη διασφάλιση ότι το μνημείο συμπεριφέρεται ως σύνολο, μέσω της πραγματοποίησης καλής αλληλεπίδρασης μεταξύ τοίχων και δαπέδων, προκειμένου να επιτευχθεί το "box-effect" στο μνημείο (DeGroot & DeJong, 2020).

Η πιο συνηθισμένη λύση είναι η εισαγωγή συνδετήρων, είτε μεταλλικών είτε από άλλο υλικό, που τοποθετούνται στις δύο κύριες κατευθύνσεις του μνημείου, στο επίπεδο των διαφραγμάτων του δαπέδου και αντιστοιχούν σε φέροντες τοίχους, αγκυρωμένους στην τοιχοποιία με πλάκες. Μια άλλη πιθανή λύση συνίσταται στην εισαγωγή διατάξεων, συνήθως από χάλυβα, για την πραγματοποίηση αποτελεσματικής σύνδεσης μεταξύ των τοίχων και των τοίχων και των δαπέδων, στις γωνίες (Martinez et al., 2022).

Μια άλλη λύση θα ήταν η εγκατάσταση δοκών δακτυλίου στην περιφέρεια των δαπέδων, που συνδέονται με τους τοίχους από λιθοδομή με καρφίτσες. Όταν τα δάπεδα έχουν περιορισμένη ακαμψία για να λειτουργήσουν ως διαφράγματα, θα πρέπει επίσης να ενισχυθούν, για παράδειγμα, μέσω της τοποθέτησης ενός άλλου σανιδένιου δαπέδου πάνω από το υπάρχον (Rehman, 2023).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κτίσματα που ακουμπούν το ένα στο άλλο, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως σύνολο, διότι η σεισμική συμπεριφορά του καθενός εξαρτάται από τη συμπεριφορά όλων, αλλά οι συνέπειες για το καθένα μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές (Ferentinou & Simpson, 2019).

2.7 Έλεγχος Ποιότητας Εργασιών

Οι εργασίες παρέμβασης για τη δομική αποκατάσταση των ιστορικών μνημείων θα πρέπει να σχεδιάζονται και να εκτελούνται συνοδευόμενες από ένα σχέδιο ποιοτικού ελέγχου, το οποίο θα εφαρμόζεται κατά την εκτέλεση των εργασιών. Το σχέδιο ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να περιγράφει το στόχο κάθε εργασίας ελέγχου και να αναφέρει τον εξοπλισμό ελέγχου που θα χρησιμοποιηθεί. Κατά την παρέμβαση για τη δομική αποκατάσταση, θα πρέπει να υιοθετούνται μόνο λύσεις των οποίων η ποιότητα μπορεί να επαληθευτεί ή να ελεγχθεί επιτόπου (Ciancia, 2019).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να δικαιολογείται η διενέργεια δοκιμών εκτέλεσης στο πεδίο, προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων ενίσχυσης που έχουν ληφθεί, καθώς και η επάρκεια της μοντελοποίησης που υιοθετήθηκε στη δομική αξιολόγηση του μνημείου. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να δικαιολογείται η εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης για την παρατήρηση της απόκρισης του μνημείου κατά την εκτέλεση των εργασιών ή για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του με την πάροδο του χρόνου (Kolathayar et al., 2023).

Κατά κανόνα, όλες οι ενέργειες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε παρέμβασης δομικής αποκατάστασης θα πρέπει να τεκμηριώνονται. Μετά την παρέμβαση, το κτίριο θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο ενός σχεδίου συντήρησης, με τη διενέργεια περιοδικών επιθεωρήσεων, προκειμένου να εντοπιστεί οποιαδήποτε ανωμαλία που έχει προκύψει στο μεταξύ. Το κτίριο θα πρέπει επίσης να αποτελεί αντικείμενο περιοδικών εργασιών συντήρησης (καθαρισμός κ.λπ.), προκειμένου να εμποδιστεί η εξέλιξη οποιασδήποτε φθοράς που μπορεί να προκύψει, και έτσι να αποφευχθεί η υποβάθμιση του κτιρίου. Όπως έχει ειπωθεί παραπάνω, η στρατηγική αυτή μπορεί να διασφαλίσει τη δομική ασφάλεια του κτιρίου με λιγότερο παρεμβατικές και χαμηλότερου κόστους επεμβάσεις (Randolph et al., 2005).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η παρέμβαση της δομικής αποκατάστασης των ιστορικών μνημείων έχει πολλές και ποικίλες επιπτώσεις, δηλαδή αρχιτεκτονικές, δομικές, οικονομικές, ιστορικές και κοινωνικές, και αποτελεί συνδυασμό τεχνικής και πολιτισμού. Η παρέμβαση της δομικής αποκατάστασης των ιστορικών μνημείων θα πρέπει, επομένως, να πραγματοποιείται από διεπιστημονικές ομάδες, υπό την καθοδήγηση εμπειρογνωμόνων που διαθέτουν τόσο μεγάλη τεχνική ικανότητα όσο και πολιτιστική ευαισθησία. Οι ομάδες για την επιθεώρηση, το σχεδιασμό και την εκτέλεση των έργων θα πρέπει επίσης να στελεχώνονται από εξειδικευμένους τεχνικούς, με ειδικές γνώσεις στους τομείς αυτούς. Ειδικότερα, ο μηχανικός σχεδιασμού, εκτός από την υψηλή τεχνική του κατάρτιση, θα πρέπει να έχει μεγάλη ευαισθησία για τις πολιτιστικές πτυχές των ιστορικών μνημείων (Han, 2015).

2.8 Ηθικά Ζητήματα και Προβληματισμοί

Η βιωσιμότητα συνδέεται στενά με την πολιτιστική κληρονομιά και συμβάλλει στην κατανόηση των κοινωνικοπολιτισμικών συστημάτων. Οι άυλες αξίες που συνδέονται με την αυθεντικότητα και την ακεραιότητα της πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελούν αναπόσπαστο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

κομμάτι της κοινωνικής βιωσιμότητας. Η κοινωνική βιωσιμότητα ορίζεται ως η διαφύλαξη της ευημερίας των σημερινών και των μελλοντικών γενεών μέσω της αναγνώρισης του δικαιώματος κάθε ατόμου να ανήκει και να συμμετέχει ως ένα πολύτιμο μέλος στην κοινότητά του (Kanwar & Shukla, 2020).

Η κοινωνική βιωσιμότητα είναι ένα ισχυρό σύμβολο των παραδοσιακών αξιών της κληρονομιάς, που αποτελεί τον πυρήνα της διατήρησης της ιστορικής κληρονομιάς. Ωστόσο, η κοινωνική αντίληψη σχετικά με την αξία των μνημείων μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο στη βιωσιμότητα της διαχείρισης της κληρονομιάς. Η αποτίμηση των κοινωνικών αξιών της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως οι πολιτιστικές, πνευματικές, ιστορικές, παραδοσιακές χειροτεχνίες και ο συναισθηματικός δεσμός, είναι νομικά δύσκολη. Το νομικό κενό γίνεται συχνά αντικείμενο εκμετάλλευσης με σκοπό την προώθηση αναλύσεων που εστιάζουν στη σχέση κόστους-οφέλους για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας στη διατήρηση της κληρονομιάς, αγνοώντας την πολιτιστική και κοινωνική αξία της (Holt et al., 2010).

Οι κοινωνικές αξίες είναι ρευστές, καθώς για παράδειγμα η νεότερες γενιές τείνουν χαρακτηριστικά να προτιμούν την κατασκευή νέων κτιρίων από τη διατήρηση των υπαρχόντων. Ωστόσο, τόσο από ιστορική όσο και από κοινωνιολογική πλευρά θεωρείται σημαντικό να διατηρηθεί η ακεραιότητα και η αυθεντικότητα ενός τόπου, διασφαλίζοντας ότι οι κοινωνικές ομάδες μπορούν να κληρονομήσουν κληρονομήσουν την αλήθεια και όχι μια κατασκευασμένη εκδοχή της. Προς αυτή την κατεύθυνση, η τεχνολογία 3D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αρχειοθέτηση των στοιχείων της πολιτιστικής κληρονομιάς που απειλούνται με εξαφάνιση (Kanwar & Shukla, 2020).

Προκύπτει συνεπώς ότι η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, συμπεριλαμβανομένων των μνημείων, εγείρει ηθικά διλήμματα και προβληματισμούς. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η ισορροπία μεταξύ της διατήρησης της αυθεντικότητας και της προσαρμογής στις σύγχρονες ανάγκες. Για παράδειγμα, η ανοικοδόμηση της Παναγίας των Παρισίων μετά από μια καταστροφική πυρκαγιά εγείρει ερωτήματα σχετικά με τη χρήση νέων υλικών, ενδεχομένως σε βάρος της αυθεντικότητας, αλλά διατηρώντας παράλληλα τη σημασία της για το κοινό (DeGroot & DeJong, 2020).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Εικόνα 6: Ανοικοδόμηση της Παναγίας των Παρισίων (https://www.lapresse.ca/international/europe/2020-11-24/notre-dame-de-paris/l-echafaudage-demonte-la-restauration-se-prepare.php)

Ένα άλλο ηθικό δίλημμα προκύπτει από την αναγνώριση ότι η κληρονομιά μπορεί να έχει διαφορετικές έννοιες για διαφορετικές ομάδες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η απομάκρυνση των μνημείων των Συνομόσπονδων Πολιτειών αναδεικνύει τον αντίκτυπο που μπορούν να έχουν οι ιστορικοί δείκτες στις περιθωριοποιημένες κοινότητες. Παρομοίως, στην Αυστραλία, οι επιγραφές στο άγαλμα του Captain Cook έχουν επικριθεί επειδή διαιωνίζουν επιβλαβείς αφηγήσεις και αποτελούν πρόκληση για την ιστορία των Αβορίγινων. Αυτά τα παραδείγματα αναδεικνύουν την πρόκληση της διατήρησης της κληρονομιάς μιας ομάδας, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζονται οι αρνητικές επιπτώσεις στην ευημερία άλλων ομάδων (Holt et al., 2010).

Η βιωσιμότητα της κληρονομιάς αποτελεί επίσης κρίσιμο ζήτημα. Η άνοδος του πολιτιστικού τουρισμού, αν και οικονομικά επωφελής, μπορεί να απειλήσει τη διατήρηση των ιστορικών χώρων και των πρακτικών. Επιπλέον, η ψηφιοποίηση της κληρονομιάς, ενώ προσφέρει ευκαιρίες για συντήρηση και πρόσβαση, εγείρει ερωτήματα σχετικά με την αυθεντικότητα, την ιδιοκτησία και την πιθανή υπερβολική εξάρτηση από την τεχνολογία (Katsigiannis, 2017).

Τέλος, η απόφαση για το ποια κληρονομιά θα διατηρηθεί και ποια θα εγκαταλειφθεί αποτελεί ένα σημαντικό ηθικό δίλημμα. Η καταστροφή της Παναγίας των Παρισίων υπογραμμίζει την παγκόσμια αξία ορισμένων μνημείων, αλλά εγείρει επίσης ερωτήματα σχετικά με την κατανομή των πόρων και την προσοχή που δίνεται σε λιγότερο γνωστά, αλλά εξίσου

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

σημαντικά, μέρη πολιτιστικής κληρονομιάς. Συνολικά, η διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτεί προσεκτική εξέταση αυτών των ηθικών διλημμάτων, εξισορροπώντας την ανάγκη διατήρησης με τις ευαισθησίες των διαφόρων κοινοτήτων και διασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα της κληρονομιάς για τις μελλοντικές γενιές (Kanwar & Shukla, 2020).

3. Στρατηγικές Συντήρησης Μνημείων

3.1 Μεθοδολογία και Ανάπτυξη Σχεδίων Συντήρησης

Η αποτελεσματική συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτεί ένα καλά δομημένο πλαίσιο προληπτικής συντήρησης. Αυτό το πλαίσιο θα πρέπει να έχει σαφή και ενοποιημένη ορολογία σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των ζημιών, των δραστηριοτήτων, των αρχών, των εννοιών, των τύπων των υλικών και των συστατικών τους. Οι βάσεις δεδομένων πρέπει να υποστηρίζουν τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, συνδέοντας συμπτώματα με αιτίες, προσδιορίζοντας τα κατάλληλα διαγνωστικά εργαλεία και συνδέοντας αιτίες με διορθωτικά μέτρα. Για κάθε μνημείο, μια δυναμική βάση δεδομένων πρέπει να παρουσιάζει

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

μία λεπτομερή καταγραφή και περιγραφή κάθε γνωστής επέμβασης και συμβάντος που αφορά το μνημείο (Rehman, 2023).

Η τεκμηρίωση και η συλλογή δεδομένων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο αμερόληπτες. Οι τυποποιημένες μέθοδοι καταγραφής μπορούν να βοηθήσουν στην άμβλυνση της υποκειμενικότητας στις μεθόδους, ενώ τα σαφή πρωτόκολλα ελαχιστοποιούν τα σφάλματα. Τα δικαιώματα πρόσβασης και επεξεργασίας στη βάση δεδομένων πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια, διασφαλίζοντας την ποιότητα των δεδομένων και την κατάλληλη αλληλεπίδραση των χρηστών (Martinez et al., 2022).

Το πλαίσιο πρέπει να είναι ευέλικτο και προσαρμόσιμο σε διαφορετικά γεωγραφικά περιβάλλοντα και τύπους κατασκευών. Η λεπτομέρεια των πληροφοριών μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες και συνθήκες. Η ιεραρχική οργάνωση των επιπέδων επιτρέπει τη δυναμική προσαρμογή των υπηρεσιών συντήρησης με την πάροδο του χρόνου. Η διάγνωση θα πρέπει να παρέχει συστάσεις για μέτρα και τον επείγοντα χαρακτήρα τους, με βάση την κατάσταση, τον κίνδυνο και τα συνιστώμενα μέτρα για τα επιμέρους στοιχεία του μνημείου (Chowdhury & Flentje, 2007).

Η ψηφιοποίηση αποτελεί βασικό στοιχείο του πλαισίου, επιτρέποντας την ηλεκτρονική και σε πραγματικό χρόνο αξιοποίηση των πληροφοριών. Αυτό βοηθά στην εκπαίδευση των φορέων εκμετάλλευσης, στην επιτάχυνση των εργασιών και στη βελτίωση της ακρίβειας των επιθεωρήσεων. Επιπλέον, η ψηφιακή πλατφόρμα διευκολύνει τον σαφή καθορισμό των δικαιωμάτων πρόσβασης και επεξεργασίας. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών ενισχύεται περαιτέρω μέσω συγκεκριμένων πρωτοκόλλων που διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα της τεκμηρίωσης για διάφορους σκοπούς, όπως η ενεργειακή απόδοση, η διαχείριση δραστηριοτήτων και η εκτίμηση της ποσότητας (Han, 2015).

Η κεντρική διαχείριση των πληροφοριών επιτρέπει τη στατιστική ανάλυση πολλών περιπτώσεων και σχετικών στοιχείων, βοηθώντας τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να μάθουν από προηγούμενες εμπειρίες και να θεσπίσουν βέλτιστες πρακτικές. Αυτή η ανάλυση σε υψηλότερο επίπεδο παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την εμφάνιση παθολογιών, την αξιοπιστία των διαγνωστικών τεχνικών και την αποτελεσματικότητα των διορθωτικών μέτρων (Lee & Basu, 2018).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

3.2 Διάγνωση

Η διαδικασία της διάγνωσης ξεκινά με την τεκμηρίωση, η οποία περιλαμβάνει τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με την ιστορία του κτιρίου, όπως αρχεία, φωτογραφίες και σχέδια, καθώς και την αποτύπωση της τρέχουσας κατάστασής του. Στη συνέχεια, ακολουθούν επιτόπιες παρατηρήσεις για την καταγραφή των φαινομένων φθοράς, οι οποίες μπορεί να είναι μακροσκοπικές, χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις, ή να περιλαμβάνουν μη καταστρεπτικές μετρήσεις για τη χαρτογράφηση των υλικών και της φθοράς. Παράλληλα, γίνεται παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν τη φθορά, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και οι ρύποι (Randolph et al., 2005).

Έπειτα, γίνεται η ταυτοποίηση και ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων των αυθεντικών και των νεότερων υλικών από προηγούμενες επεμβάσεις. Αυτό το βήμα είναι σημαντικό για την κατανόηση της συμπεριφοράς των υλικών στη φθορά. Επιπλέον, γίνεται μελέτη της φθοράς στο εργαστήριο μέσω ανάλυσης δειγμάτων, με στόχο τον προσδιορισμό της σύστασης, της μικροδομής και των ιδιοτήτων των υλικών, καθώς και των προϊόντων φθοράς (Han, 2015).

Στη συνέχεια, τα δεδομένα από τις επιτόπιες παρατηρήσεις και τις εργαστηριακές αναλύσεις συσχετίζονται για την κατανόηση των αιτιών και των μηχανισμών της φθοράς. Τέλος, πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση του προβλήματος μέσω προσομοίωσης των συνθηκών φθοράς στο εργαστήριο, με στόχο την επιβεβαίωση των αρχικών εκτιμήσεων και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας πιθανών επεμβάσεων συντήρησης (Ciancia, 2019).

3.3 Διαδικασία Λήψης Αποφάσεων

Η λήψη αποφάσεων είναι μια διαδικασία επιλογής του βέλτιστου τρόπου δράσης από μια σειρά εναλλακτικών, με σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Παλαιότερα, οι αποφάσεις βασίζονταν κυρίως στην εμπειρία και τη διαίσθηση του ατόμου που έπαιρνε την απόφαση. Ωστόσο, η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των προβλημάτων οδήγησε στην ανάγκη για μια πιο επιστημονική προσέγγιση. Έτσι, αναπτύχθηκαν τα Συστήματα Αποφάσεων, τα οποία χρησιμοποιούν επιστημονικές μεθόδους και μαθηματικά μοντέλα για την προετοιμασία των αποφάσεων (Martinez et al., 2022).

Στον τομέα της προστασίας των μνημείων, η λήψη αποφάσεων είναι ζωτικής σημασίας. Οι αποφάσεις αυτές αφορούν την προστασία, τη συντήρηση και την αποκατάσταση των

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

μνημείων. Στο παρελθόν, οι αποφάσεις αυτές συχνά βασιζόντουσαν σε εμπειρισμό και παραδοσιακές τεχνικές, με αποτέλεσμα πολλές φορές να λαμβάνονται λανθασμένες αποφάσεις. Η πρόοδος της τεχνολογίας, ιδίως στον τομέα των μη καταστρεπτικών μεθόδων ανάλυσης υλικών, επέτρεψε τη συστηματική υποστήριξη της λήψης αποφάσεων, αξιοποιώντας την εμπειρία και τα δεδομένα (Katsigiannis, 2017).

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος λήψης αποφάσεων για τη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι περίπλοκη. Ο αριθμός των διαθέσιμων επιλογών είναι μεγάλος και η καταλληλότητα κάθε συστήματος εξαρτάται από τις τοπικές ιδιαιτερότητες και τους περιορισμούς. Επιπλέον, η αξιολόγηση των διαφόρων επιλογών απαιτεί την εξέταση πολλών αντικρουόμενων παραμέτρων. Για την αντιμετώπιση αυτής της πολυπλοκότητας, απαιτείται η χρήση αναλυτικών πλαισίων που ενσωματώνουν τις αρχές που έχουν συμφωνηθεί, ώστε να αποφευχθούν οι διαφωνίες και να ληφθούν οι βέλτιστες αποφάσεις (Chowdhury & Flentje, 2007).

Η επικινδυνότητα των μνημείων, που καθορίζεται από την τρωτότητά τους και τους κινδύνους που τα απειλούν, αποτελεί κεντρικό παράγοντα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων στη γεωτεχνική μηχανική. Η τρωτότητα ενός μνημείου αντικατοπτρίζει την κατάσταση διατήρησής του, τόσο σε επίπεδο φέροντος οργανισμού όσο και δομικών υλικών. Παράγοντες όπως ο αρχιτεκτονικός τύπος, τα χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, η μηχανική συμπεριφορά και η κατάσταση των υλικών είναι καθοριστικοί για την αξιολόγηση της τρωτότητας (Alfaro et al., 2008).

Οι κίνδυνοι που απειλούν τα μνημεία, όπως τα στατικά φορτία, τα τυχαία φαινόμενα και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, αλληλεπιδρούν με την τρωτότητα του μνημείου και καθορίζουν την επικινδυνότητά του. Η κατανόηση του είδους, της βαρύτητας, της πιθανότητας και της συχνότητας εμφάνισης αυτών των κινδύνων είναι απαραίτητη για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την προστασία και την αποκατάσταση του μνημείου. Επιπλέον, η αξία του μνημείου, είτε ιστορική, αρχιτεκτονική, καλλιτεχνική ή άλλη, επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Η μοναδικότητα ενός μνημείου μπορεί να προκρίνει την ανάγκη για άμεση επέμβαση, ανεξάρτητα από το κόστος. Τέλος, κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες, όπως το κόστος των εργασιών και η αποδοχή τους από την κοινωνία, επηρεάζουν τον βαθμό και την έκταση των επεμβάσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν (Lee & Basu, 2018).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Οι παράμετροι δομικής ακεραιότητας είναι κρίσιμοι παράγοντες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την προστασία και αποκατάσταση μνημείων. Οι παράμετροι αυτοί, όπως η θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, η ελαστικότητα, το ειδικό βάρος και η διατμητική αντοχή, παρέχουν πληροφορίες για τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών και τη φέρουσα ικανότητα του μνημείου. Με την αξιολόγηση αυτών των παραμέτρων, οι μηχανικοί μπορούν να εκτιμήσουν την ανθεκτικότητα του μνημείου σε και να εντοπίσουν πιθανές αδυναμίες ή περιοχές που χρήζουν ενίσχυσης (Budhu, 2010).

Επιπλέον, η τρωτότητα των κατασκευών από τοιχοποιία, που αποτελεί βασικό δομικό στοιχείο πολλών μνημείων, επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Παράγοντες όπως το είδος και η ποιότητα της τοιχοποιίας, η σύνδεση μεταξύ των τοίχων, η ηλικία του κτιρίου και το επίπεδο συντήρησης είναι καθοριστικοί για την αξιολόγηση της τρωτότητας (DeGroot & DeJong, 2020).

3.4 Παράγοντες που Διαμορφώνουν τις Στρατηγικές Συντήρησης

Η γεωτεχνική μηχανική παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση των μνημείων, καθώς η αλληλεπίδραση του κτιρίου με το έδαφος επηρεάζει σημαντικά τη δομική του ακεραιότητα. Η γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης είναι απαραίτητη για την κατανόηση των ιδιοτήτων του εδάφους, την επιλογή του κατάλληλου τύπου θεμελίωσης και την εκτίμηση των κινδύνων που σχετίζονται με το υπέδαφος, όπως η παρουσία υδροφόρου ορίζοντα (Kolathayar et al., 2023).

Οι παράγοντες που διαμορφώνουν τις στρατηγικές συντήρησης των μνημείων στη γεωτεχνική μηχανική είναι πολυάριθμοι και ποικίλοι. Οι στατικοί παράγοντες, όπως τα μόνιμα και μεταβαλλόμενα φορτία που ασκούνται στο κτίριο, καθορίζουν τις απαιτήσεις αντοχής και ευστάθειας της θεμελίωσης. Διάφορα τυχαία γεγονότα, όπως οι σεισμοί, οι πυρκαγιές και οι βανδαλισμοί, αποτελούν σημαντικούς κινδύνους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό των μέτρων συντήρησης (Randolph et al., 2005).

Οι περιβαλλοντικές φορτίσεις, όπως η βροχόπτωση, η χιονόπτωση, οι πλημμύρες και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, επηρεάζουν τη φθορά των υλικών του μνημείου και απαιτούν ειδικές στρατηγικές προστασίας. Η συχνότητα και η ένταση των ανέμων, οι θερμοκρασιακές μεταβολές και η υγρασία είναι επίσης παράγοντες που επηρεάζουν τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των μνημείων (Han, 2015).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Η γεωτεχνική μηχανική συμβάλλει στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών συντήρησης των μνημείων, λαμβάνοντας υπόψη όλους αυτούς τους παράγοντες. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών, η εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών ενίσχυσης και η συνεχής παρακολούθηση της κατάστασης του μνημείου είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση της μακροβιότητάς του (Katsigiannis, 2017).

3.5 Το Ιστορικό του Μνημείου και η Αξιοποίηση του

Κάθε επέμβαση για τη δομική αποκατάσταση ενός μνημείου χρειάζεται πληροφορίες για το παρελθόν του, δηλαδή για την ιδέα του μνημείου, καθώς και για τα φαινόμενα στα οποία έχει υποβληθεί το μνημείο. Αυτή η ιστορική έρευνα, που καλύπτει ολόκληρη τη ζωή του μνημείου, στοχεύει στην κατανόηση της κεντρικής ιδέας και του σκοπού που κρύβεται πίσω από την κατασκευή του μνημείου, των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του, των αλλαγών που έγιναν σε αυτό και στο περιβάλλον του, καθώς και των γεγονότων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στη δομή, όπως το σεισμικό ιστορικό του (Chowdhury & Flentje, 2007).

Στην ανάλυση των εγγράφων σχετικά με το παρελθόν του μνημείου, θα δοθεί προσοχή σε τυχόν αναφορές σχετικά με υποβάθμιση, ανακατασκευή, προσθήκες, δομικές τροποποιήσεις κ.λπ. ή σε οποιοδήποτε άλλο γεγονός που μπορεί να περιγράψει την πραγματική κατάσταση του μνημείου. Ωστόσο, είναι εξίσου σημαντικό να διερευνηθεί και η ποιότητα των χρησιμοποιούμενων εγγράφων. Στην πραγματικότητα, τα υπάρχοντα έγγραφα τυπικά συντάσσονται για διαφορετικούς σκοπούς από αυτούς της γεωτεχνικής μηχανικής, επομένως μπορεί να περιλαμβάνουν πληροφορίες που περιγράφονται εσφαλμένα ή να παραλείπουν σημαντικά γεγονότα ή συμβάντα που μπορεί να έχουν επηρεάσει τη δομική συμπεριφορά του μνημείου. Οι πηγές πληροφοριών θα πρέπει να αξιολογούνται ανάλογα με την ποιότητα που παρουσιάζουν και την εμπιστοσύνη που εμπνέουν (Ciancia, 2019).

Τα δεδομένα σχετικά με τους προηγούμενους και τους τρέχοντες τρόπους χρήσης ή αξιοποίησης του μνημείου είναι επίσης σημαντικές πτυχές που πρέπει να επαληθευτούν. Θα αναγνωριστεί επίσης η ενδεχόμενη δράση σημαντικών περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως κλιματικά φαινόμενα, ξαφνικές αλλαγές θερμοκρασίας, πυρκαγιά ή τυχόν τυχαία φορτία (κρούσεις κ.λπ.) (Budhu, 2010).

Η έρευνα των υπαρχόντων ελαττωμάτων στο μνημείο ονομάζεται συνήθως προκαταρκτική επιθεώρηση του μνημείου. Αυτή η έρευνα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω οπτικής

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

επιθεώρησης του μνημείου, ενδεχομένως με τη βοήθεια απλών οπτικών συσκευών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να κριθεί απαραίτητο το άνοιγμα της επιφάνειας των στοιχείων του μνημείου (Rehman, 2023).

Στην περίπτωση ψηλών μνημείων ή στοιχείων με δύσκολη πρόσβαση, η επιθεώρηση αυτή μπορεί να απαιτήσει την εγκατάσταση κατάλληλων μέσων πρόσβασης (σκαλωσιές, γερανοί κ.λπ.). Η επιθεώρηση των στεγών μπορεί να απαιτεί ιδιαίτερα μέτρα ασφαλείας. Τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής επιθεώρησης θα δοθούν σε μια έκθεση, στην οποία θα παρουσιάζονται τα διάφορα υλικά και οι υποβαθμίσεις τους, καθώς και η ζημιά στα δομικά στοιχεία (Kolathayar et al., 2023).

Τα παρατηρούμενα ελαττώματα πρέπει να ταξινομηθούν ποιοτικά, ανάλογα με το επίπεδο σπουδαιότητάς τους ως προς την ασφάλεια του μνημείου. Τα ελαττώματα στη συνέχεια παρουσιάζονται σε κατάλληλα σχέδια ή με τη μορφή λιστών ελέγχου, κατάλληλων για τους διαφορετικούς τύπους δομικών στοιχείων. Οι καταγραφές συνοδεύονται από λεπτομερείς φωτοαναφορές, οι οποίες μπορούν να επιτρέψουν την αναγνώριση σημαντικών λεπτομερειών, οι οποίες, μερικές φορές, δεν παρατηρούνται. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μια βιντεοσκόπηση, η οποία μπορεί να επιτρέψει ακόμα πιο λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση στο μνημείο (Randolph et al., 2005).

Στην προκαταρκτική επιθεώρηση είναι επίσης σημαντικό να επαληθευτεί εάν οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες υποβαθμίζουν το μνημείο με συγκεκριμένο τρόπο. Στην πραγματικότητα, οι επιπτώσεις αυτές επιδεινώνονται συχνά εάν δεν έχουν ληφθεί επαρκή μέτρα κατά την κατασκευή (π.χ. επαρκής αποστράγγιση) ή εάν δεν έχει υπάρξει αποτελεσματική συντήρηση του μνημείου. Εναι επίσης σημαντικό να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με τις γεωτεχνικές συνθήκες του εδάφους που στηρίζει τα θεμέλια του μνημείου, δηλαδή την ύπαρξη επιχωμάτων. Εάν υπάρχουν υποβαθμίσεις στο κάτω μέρος του μνημείου, είναι σκόπιμο να ληφθούν δείγματα του εδάφους, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν υπάρχει μόλυνση από επιθετικές ουσίες (θειικά άλατα κ.λπ.) (DeGroot & DeJong, 2020).

Μετά την προκαταρκτική επιθεώρηση και λαμβάνοντας υπόψη τις τεκμηριωμένες πληροφορίες, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια προκαταρκτική εκτίμηση της κατάστασης του μνημείου. Αυτή η προκαταρκτική εκτίμηση στοχεύει στη λήψη απόφασης σχετικά με την ανάγκη συνέχισης (ή μη) των ερευνών και σχετικά με την ενδεχόμενη ανάγκη λήψης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

επειγόντων μέτρων, που σχετίζονται δηλαδή με τη συνέχιση της χρήσης του μνημείου ή με την εγκατάσταση προσωρινών στηριγμάτων (Alfaro et al., 2008).

Εάν οι διαθέσιμες πληροφορίες δεν επαρκούν για την επεξεργασία της διάγνωσης της κατάστασης του μνημείου, η προκαταρκτική εκτίμηση θα πρέπει να συμπληρωθεί με λεπτομερή αξιολόγηση, μέσω της διενέργειας δοκιμών και μετρήσεων στο μνημείο (λεπτομερής επιθεώρηση). Αυτές οι μετρήσεις μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν τη γεωμετρική έρευνα της σύστασης του μνημείου, προκειμένου να μοντελοποιηθεί (Rehman, 2023).

Τα ελαττώματα στο μνημείο μπορεί να προκύψουν από την υποβάθμιση των δομικών υλικών ή από τη ζημιά των δομικών στοιχείων λόγω μηχανικών δράσεων. Η υποβάθμιση των δομικών υλικών είναι μια διαδικασία που εξελίσσεται φυσικά με την πάροδο του χρόνου και μπορεί να επιταχυνθεί από χημικές, φυσικές ή βιολογικές δράσεις. Οι κύριες επιπτώσεις είναι η φθορά των επιφανειών των στοιχείων, η απώλεια υλικού και η μείωση της αντοχής τους. Τα φαινόμενα υποβάθμισης είναι διαφορετικά ανάλογα με τον τύπο του δομικού υλικού δηλαδή τοιχοποιία, ξύλο ή χάλυβας. Η βλάβη στα δομικά στοιχεία λόγω μηχανικών δράσεων συμβαίνει όταν οι δράσεις σε ορισμένες ζώνες του δομικού στοιχείου υπερβαίνουν την αντοχή των υλικών τους. Μπορούν να προκληθούν ή να επιδεινωθούν από ενέργειες ή από ανεπαρκή αντοχή. Οι αλλοιώσεις στη σύσταση του μνημείου μπορούν επίσης να αποτελέσουν πηγή βλάβης αυτού του τύπου. Η εκδήλωση βλάβης στα δομικά στοιχεία λόγω μηχανικών δράσεων θα εξαρτηθεί από τον τύπο της δράσης, τον τύπο του δομικού υλικού και τον τύπο του δομικού στοιχείου (Han, 2015).

Όταν οι διαθέσιμες πληροφορίες δεν επαρκούν για να διαγνωστεί η κατάσταση του μνημείου, η προκαταρκτική εκτίμηση συμπληρώνεται από μια λεπτομερή αξιολόγηση. Αυτή περιλαμβάνει λεπτομερή επιθεώρηση, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει δοκιμές επί τόπου, εργαστηριακές δοκιμές, δοκιμές πεδίου, αξιολόγηση των θεμελίων και μετρήσεις πεδίου (Lee & Basu, 2018).

Καθώς οι δοκιμές είναι γενικά πολύ δαπανηρές και η διεξαγωγή τους μπορεί να επηρεάσει την πολιτιστική αξία του μνημείου, ο αριθμός και ο τόπος όπου σχεδιάζεται να πραγματοποιηθούν θα πρέπει να εξεταστούν με ευαισθησία. Κατά κανόνα, οι δοκιμές που θα διεξαχθούν θα βασίζονται σε μια σαφή εικόνα των φαινομένων για τα οποία η περιγραφή ή η κατανόηση είναι σημαντική (Budhu, 2010). Κατά τον σχεδιασμό του προγράμματος των δοκιμών εξετάζονται

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

γενικά δύο φάσεις, η πρώτη στην οποία στόχος είναι η απόκτηση των πρωτογενών πληροφοριών και η δεύτερη, στην οποία στόχος είναι η βελτίωση των πληροφοριών που ελήφθησαν κατά την πρώτη φάση, πραγματοποιώντας έναν πρόσθετο αριθμό δοκιμών με επικαιροποιημένους και πιο συγκεκριμένους στόχους. Μετά τη διεξαγωγή των δοκιμών, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν αναλύονται με προσοχή. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές μέθοδοι δοκιμών και τα αποτελέσματά τους να συγκριθούν, για βαθμονόμηση (Chowdhury & Flentje, 2007).

Οι δοκιμές μπορεί να είναι μη καταστροφικές (ή ελαφρώς παρεμβατικές), όταν έχουν αμελητέα επίδραση στο κτίριο, ή καταστροφικές (με οποιονδήποτε τρόπο), διαφορετικά. Οι μη καταστροφικές δοκιμές είναι προφανώς οι προτιμότερες για τα ιστορικά κτίρια. Εάν οι μη καταστροφικές δοκιμές δεν επαρκούν, μπορούν να εξεταστούν οι καταστροφικές δοκιμές, οι οποίες είναι καλό να διεξάγονται μόνο μετά από ανάλυση κόστους-οφέλους. Σε αυτή την ανάλυση, το συνολικό κόστος θα είναι το κόστος των δοκιμών συν την ενδεχόμενη απώλεια της πολιτιστικής αξίας του μνημείου λόγω της διενέργειας των δοκιμών και το όφελος θα είναι η ενδεχόμενη μείωση του μεγέθους της επέμβασης λόγω της βελτίωσης της ποιότητας των πληροφοριών (Holt et al., 2010).

Η παρακολούθηση του μνημείου για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα μπορεί να είναι ένα επαρκές μέτρο για να βοηθήσει στην επεξεργασία της διάγνωσης, ιδίως όταν μπορεί να υπάρχουν μη σταθεροποιημένα φαινόμενα, επιτρέποντας την εμφάνιση της εξέλιξής τους. Η παρακολούθηση του μνημείου συνίσταται στη μέτρηση παραμέτρων, όπως παραμορφώσεις, κινήσεις ρωγμών, επίπεδα, μεταβολές θερμοκρασίας κ.λπ., σε στρατηγικά σημεία του μνημείου, σε ορισμένες στιγμές, κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου (Ciancia, 2019).

Οι τεχνικές παρακολούθησης μπορεί να κυμαίνονται από την απλή τοποθέτηση γύψινων "tell-tales" ή ρωγμόμετρων σε ρωγμές, μέχρι τα σύγχρονα συστήματα παρακολούθησης με αισθητήρες: ηλεκτρικά τενσιόμετρα, μετατροπείς μετατόπισης, θερμόμετρα, επιταχυνσιόμετρα κ.λπ., συνδεδεμένα με μια συσκευή συλλογής δεδομένων, η οποία μπορεί να συλλέγει δεδομένα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η φωτογραμμετρική τεχνική μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος παρακολούθησης (Randolph et al., 2005).

Η παρακολούθηση του μνημείου μπορεί επίσης να γίνει και κατά τη φάση της αποκατάστασης, στην οποία τα δεδομένα που λαμβάνονται χρησιμοποιούνται ως βάση για μεταγενέστερες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

αποφάσεις, επιτρέποντας, μερικές φορές τη μείωση του μεγέθους της επέμβασης. Η συνεχής παρακολούθηση του μνημείου μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη μετά τις εργασίες αποκατάστασης ή όταν εξακολουθούν να υπάρχουν αμφιβολίες σχετικά με την ανάγκη για περισσότερα μέτρα επέμβασης (μακροπρόθεσμη παρακολούθηση) (Holt et al., 2010).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την παρακολούθηση του μνημείου με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τη μοντελοποίησή του, είναι επίσης δυνατή η βελτίωση της μοντελοποίησης. Τα συστήματα παρακολούθησης επιτρέπουν την αποθήκευση των αποκτηθέντων δεδομένων και τη μετάδοσή τους μέσω επίγειων γραμμών ή μέσω του διαδικτύου. Μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως μηχανισμός προειδοποίησης, γεγονός που μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε ορισμένες περιπτώσεις (Rehman, 2023).

Επειδή η εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης στο κτίριο είναι γενικά πολύ δαπανηρή, πρέπει να αποτελεί αντικείμενο ανάλυσης κόστους-οφέλους και να καταγράφονται μόνο οι πληροφορίες που σχετίζονται με την εξέλιξη των φαινομένων. Θα πρέπει επίσης να διασφαλίζεται η επακόλουθη αποτελεσματική επεξεργασία των πληροφοριών που αποκτώνται (Kolathayar et al., 2023).

Η διάγνωση της κατάστασης του μνημείου είναι η διαδικασία προσδιορισμού ή καθορισμού της φύσης και της αιτίας των ελαττωμάτων του μνημείου. Η διάγνωση είναι ένα πολύ λεπτό έργο, διότι τα διαθέσιμα δεδομένα αναφέρονται στις επιπτώσεις (συμπτώματα), ενώ οι αιτίες που είναι η αρχή τους (ή, όπως συμβαίνει συνήθως, οι διάφορες ταυτόχρονες αιτίες) είναι αυτές που πρέπει να προσδιοριστούν. Η διαίσθηση και η εμπειρία είναι ουσιαστικά συστατικά της διάγνωσης (DeGroot & DeJong, 2020).

Για την επεξεργασία της διάγνωσης, πρέπει να δημιουργηθεί ένα ερμηνευτικό μοντέλο (σενάριο) που ερμηνεύει τα υπάρχοντα ελαττώματα στο μνημείο, με βάση τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής επιθεώρησης. Όταν οι πληροφορίες αυτές δεν επαρκούν, πρέπει να συμπληρωθούν με λεπτομερή επιθεώρηση και, ενδεχομένως, με τη μοντελοποίηση του κτιρίου. Σε αυτή τη μοντελοποίηση χρησιμοποιούνται συνήθως απλοποιημένα μοντέλα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστούν εξελιγμένα μοντέλα. Οι ιδιότητες των δομικών υλικών και οι τιμές των δράσεων που θα υιοθετηθούν σε αυτή τη μοντελοποίηση θα είναι οι ονομαστικές, που θα προκύπτουν απευθείας από τις δοκιμές ή από τις μετρήσεις πεδίου, χωρίς τη χρήση συντελεστών ασφαλείας (Han, 2015).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Αυτές οι πηγές πληροφοριών θα επιβεβαιώσουν (ή όχι) το ερμηνευτικό μοντέλο (σενάριο) που έχει προταθεί. Στην τελευταία περίπτωση, θα καθοριστεί ένα εναλλακτικό σενάριο και, ενδεχομένως, θα επιβεβαιωθεί. Εάν η κατάσταση δεν γίνει απολύτως σαφής, η καλύτερη λύση θα είναι να διατηρηθεί το μνημείο υπό παρατήρηση (παρακολούθηση) για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο θα επιτρέψει την εξέλιξη των φαινομένων και, στη συνέχεια, την καλύτερη κατανόηση του τι πραγματικά συμβαίνει στο μνημείο (Randolph et al., 2005).

4. Μελέτη Γεωλογικών Παραμέτρων

4.1 Ταξινόμηση Εδάφους

Η ταξινόμηση του εδάφους είναι η ομαδοποίηση διαφορετικών τύπων εδαφών που έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Διάφορα συστήματα ταξινόμησης έχουν αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο για την κάλυψη των τοπικών αναγκών. Το σύστημα ταξινόμησης εδάφους AASHTO αναπτύχθηκε αρχικά το 1928 από το Γραφείο Δημοσίων Δρόμων των ΗΠΑ για χρήση από τους μηχανικούς αυτοκινητοδρόμων. Το αναθεωρημένο σύστημα περιλαμβάνει επτά ομάδες ανόργανων εδαφών, A-1 έως A-7. Το σύστημα βασίζεται στην κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, στο όριο ρευστότητας και στον δείκτη πλαστικότητας. Εισάγεται ένας δείκτης ομάδας για την περαιτέρω διαφοροποίηση των εδαφών που περιέχουν αξιόλογα λεπτόκοκκα υλικά. Ο δείκτης ομάδας είναι ένας τρόπος για να αξιολογηθεί η τιμή ενός εδάφους ως υλικό

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

υποβάθρου μέσα στη δική του ομάδα. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη ομάδας, τόσο χειρότερη είναι η ποιότητα του υλικού (Roy & Bhalla, 2017).

Το σύστημα ενοποιημένης ταξινόμησης εδάφους (USCS) αναπτύχθηκε από τον Casagrande για χρήση σε έργα που σχετίζονται με την κατασκευή αεροδρομίων κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Αργότερα, το σύστημα αυτό τροποποιήθηκε και υιοθετήθηκε από το Γραφείο Αποκατάστασης των Ηνωμένων Πολιτειών και το Μηχανικό Σώμα Στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών. Το USCS ταξινομεί τα εδάφη σε τρεις μεγάλες ομάδες: χονδρόκοκκα εδάφη, λεπτόκοκκα εδάφη και οργανικά εδάφη (Brinkgreve, 2005). Για την ταξινόμηση ενός εδάφους, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί αν το έδαφος είναι χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο. Αυτό μπορεί να γίνει με βάση το ποσοστό του υλικού που περνά από κόσκινο συγκεκριμένων προδιαγραφών. Τα εδάφη που έχουν περισσότερο από 50% του υλικού να περνά από το κόσκινο ταξινομούνται ως λεπτόκοκκα εδάφη. Τα εδάφη που έχουν λιγότερο από 50% του υλικού να περνά από το κόσκινο ταξινομούνται ως χονδρόκοκκα εδάφη (Ameratunga et al., 2016).

Τα χονδρόκοκκα εδάφη ταξινομούνται περαιτέρω σε χαλίκια (G) και άμμους (S). Τα χαλίκια και οι άμμοι ταξινομούνται περαιτέρω με βάση τη διαβάθμιση και την περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκο υλικό. Τα σύμβολα W και P χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν καλά και κακώς διαβαθμισμένα εδάφη, αντίστοιχα. Τα σύμβολα M και C χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν ιλύες και αργιλώδη εδάφη, αντίστοιχα. Τα λεπτόκοκκα εδάφη ταξινομούνται σε ιλύες (M), αργίλους (C) και οργανικά εδάφη (O). Η ταξινόμηση των λεπτόκοκκων εδαφών βασίζεται στα όρια Atterberg (Schofield, 2005). Τα όρια Atterberg είναι η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το έδαφος αλλάζει από τη μία κατάσταση στην άλλη. Τα όρια Atterberg που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση του εδάφους είναι το όριο ρευστότητας (LL), το πλαστικό όριο (PL) και το όριο συρρίκνωσης (SL). Τα οργανικά εδάφη ταξινομούνται με βάση την περιεκτικότητά τους σε οργανική ύλη. Η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη καθορίζεται με τη μέτρηση της απώλειας βάρους κατά την καύση ενός δείγματος εδάφους. Τα εδάφη που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη ταξινομούνται ως τύρφη (Pt). Το USCS είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ταξινόμηση των εδαφών. Παρέχει ένα τυποποιημένο σύστημα για την περιγραφή των εδαφών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους (Yin et al., 2018).

Τα διάφορα συστήματα ταξινόμησης που περιγράφηκαν προηγουμένως βασίζονται στις ιδιότητες των κόκκων του εδάφους και τις ιδιότητες που ισχύουν για τα αναδιαμορφωμένα εδάφη. Τα συστήματα δεν λαμβάνουν υπόψη τις ιδιότητες των άθικτων υλικών όπως

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

βρίσκονται στη φύση. Δεδομένου ότι τα υλικά θεμελίωσης των περισσότερων τεχνικών έργων είναι αδιατάρακτα, οι ιδιότητες των άθικτων υλικών καθορίζουν μόνο τη συμπεριφορά του εδάφους κατά τη διάρκεια και μετά την κατασκευή (Uzielli et al., 2007). Η ταξινόμηση ενός εδάφους σύμφωνα με οποιοδήποτε από τα αποδεκτά συστήματα δεν επιτρέπει από μόνη της να παραλειφθούν εντελώς οι λεπτομερείς μελέτες των εδαφών. Η επίλυση προβλημάτων ροής, συμπίεσης και ευστάθειας μόνο με βάση την ταξινόμηση του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά αποτελέσματα. Ωστόσο, η ταξινόμηση των εδαφών έχει αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο για τον μηχανικό. Βοηθά τον μηχανικό παρέχοντας γενική καθοδήγηση μέσω της εμπειρικής διάθεσης των αποτελεσμάτων της εμπειρίας πεδίου (Carter & Bentley, 2016).

4.2 Ιδιότητες του Εδάφους

Οι ιδιότητες του εδάφους που μπορούν να θεωρηθούν ως ιδιότητες δείκτη είναι το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων και η σχετική πυκνότητα ή η συνοχή του εδάφους. Οι ιδιότητες δείκτη του εδάφους μπορούν να μελετηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες, ιδιότητες κόκκων εδάφους και ιδιότητες συσσωματώματος εδάφους. Οι κύριες ιδιότητες των κόκκων του εδάφους είναι το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων, καθώς και ο ορυκτολογικός χαρακτήρας των λεπτότερων κλασμάτων. Η πιο σημαντική ιδιότητα του συσσωματώματος για τα μη συνεκτικά εδάφη είναι η σχετική πυκνότητα, ενώ για τα συνεκτικά εδάφη είναι η συνοχή. Η περιεκτικότητα σε νερό μπορεί επίσης να μελετηθεί ως ιδιότητα συσσωματώματος, όπως εφαρμόζεται στα συνεκτικά εδάφη (Wu, 2013).

Το σχήμα των σωματιδίων, όπως γίνεται αντιληπτό με την οπτική επιθεώρηση, δίνει μόνο μια ποιοτική ιδέα για τη συμπεριφορά μιας εδαφικής μάζας που αποτελείται από τέτοια σωματίδια. Τα χονδρόκοκκα κλάσματα αποτελούνται από χαλίκια και άμμο. Οι μεμονωμένοι κόκκοι χαλικιού και άμμου μπορεί να είναι γωνιώδεις, υπογωνιώδεις, υποστρογγυλεμένοι, στρογγυλεμένοι ή καλά στρογγυλεμένοι. Το χαλίκι μπορεί να περιέχει κόκκους που μπορεί να είναι επίπεδοι. Ορισμένες άμμοι περιέχουν ένα αρκετά υψηλό ποσοστό νιφάδων μαρμαρυγία που τους δίνει την ιδιότητα της ελαστικότητας (Das, 2011).

Η ταξινόμηση ανάλογα με το μέγεθος χωρίζει τα εδάφη σε δύο ευρείες ομάδες, δηλαδή τα χονδρόκοκκα και τα λεπτόκοκκα. Δεδομένου ότι οι ιδιότητες των χονδρόκοκκων εδαφών βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην κατανομή του μεγέθους των κόκκων, η ταξινόμηση των χονδρόκοκκων εδαφών ανάλογα με το μέγεθος είναι χρήσιμη. Τα λεπτόκοκκα εδάφη επηρεάζονται τόσο πολύ από τη δομή, το σχήμα των κόκκων, τη γεωλογική προέλευση και

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

άλλους παράγοντες, ώστε η κατανομή του μεγέθους των κόκκων από μόνη της δεν αποκαλύπτει σημαντικά στοιχεία για τις φυσικές τους ιδιότητες. Ωστόσο, μπορεί κανείς να εκτιμήσει τη φύση ενός μικτού εδάφους με βάση το ποσοστό του λεπτόκοκκου εδάφους που υπάρχει σε αυτό. Είναι, επομένως, απαραίτητο να ταξινομηθεί το έδαφος ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων (Ghasabkolaei et al., 2017).

Ο φυσικός διαχωρισμός ενός δείγματος εδάφους με οποιαδήποτε μέθοδο σε δύο ή περισσότερα κλάσματα, το καθένα από τα οποία περιέχει μόνο σωματίδια ορισμένων μεγεθών, ονομάζεται κλασματοποίηση. Ο προσδιορισμός της μάζας του υλικού σε κλάσματα που περιέχουν μόνο σωματίδια ορισμένων μεγεθών ονομάζεται μηχανική ανάλυση. Η μηχανική ανάλυση είναι μια από τις παλαιότερες και πιο συνηθισμένες μορφές ανάλυσης εδάφους. Παρέχει τις βασικές πληροφορίες για την αποκάλυψη της ομοιομορφίας ή της διαβάθμισης των υλικών εντός καθιερωμένων περιοχών μεγέθους και για υφικές ταξινομήσεις (Yin et al., 2018).

4.3 Σχέσεις Φάσεων Εδάφους

Η μηχανική του εδάφους περιλαμβάνει την ποσοτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών συστατικών του εδάφους. Το έδαφος θεωρείται γενικά ως ένα σύστημα τριών φάσεων που αποτελείται από στερεά, υγρά και αέρια. Στην πράξη, το υγρό είναι συνήθως νερό και το αέριο είναι αέρας. Οι σχέσεις μεταξύ αυτών των φάσεων ποσοτικοποιούνται είτε με όρους μάζας-όγκου είτε με όρους βάρους-όγκου (Ameratunga et al., 2016).

Οι σχέσεις μάζας-όγκου καθορίζονται με αναφορά σε ένα μπλοκ εδάφους. Ο όγκος των στερεών λαμβάνεται ως ενότητα, από την οποία προκύπτουν οι όγκοι των κενών και του νερού σε σχέση με τον όγκο των στερεών. Υπάρχουν τρεις ογκομετρικοί λόγοι που χρησιμοποιούνται συνήθως στη γεωτεχνική μηχανική. Ο λόγος κενών ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των στερεών. Ο λόγος αυτός εκφράζεται πάντα ως δεκαδικός αριθμός. Ο πορώδης ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών προς τον συνολικό όγκο του δείγματος εδάφους. Εκφράζεται πάντα ως ποσοστό. Ο βαθμός κορεσμού ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του νερού προς τον όγκο των κενών. Εκφράζεται επίσης ως ποσοστό (Murthy, 2002).

Οι σχέσεις μάζας-όγκου μπορούν επίσης να εκφραστούν με αναφορά σε ένα μπλοκ εδάφους. Η περιεκτικότητα σε νερό ενός εδαφικού υλικού ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του νερού προς τη μάζα των στερεών. Η περιεκτικότητα σε νερό, η οποία συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό, μπορεί να κυμαίνεται από 0% (για ξηρό έδαφος) έως και αρκετές εκατοντάδες τοις εκατό. Η

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

πυκνότητα ορίζεται ως η μάζα ανά μονάδα όγκου. Υπάρχουν αρκετές συνήθεις πυκνότητες που χρησιμοποιούνται στη γεωτεχνική μηχανική. Η συνολική πυκνότητα είναι η συνολική μάζα του δείγματος εδάφους προς τον συνολικό όγκο. Η ξηρή πυκνότητα είναι η μάζα των στερεών προς τον συνολικό όγκο. Η πυκνότητα κορεσμού είναι η συνολική μάζα του δείγματος εδάφους προς τον συνολικό όγκο όταν ο βαθμός κορεσμού είναι 100%. Η πυκνότητα των στερεών είναι η μάζα των στερεών προς τον όγκο των στερεών. Η πυκνότητα του νερού είναι η μάζα του νερού προς τον όγκο του νερού (Brinkgreve, 2005).

Η ειδική βαρύτητα μιας ουσίας ορίζεται ως ο λόγος της μάζας της στον αέρα προς τη μάζα ίσου όγκου νερού σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C. Η ειδική βαρύτητα μιας μάζας εδάφους (συμπεριλαμβανομένου του αέρα, του νερού και των στερεών) ονομάζεται ειδική βαρύτητα όγκου. Η ειδική βαρύτητα των στερεών (εξαιρουμένου του αέρα και του νερού) είναι ο λόγος της μάζας των στερεών προς τη μάζα ίσου όγκου νερού (Uzielli et al., 2007).

Οι σχέσεις βάρους-όγκου μπορούν να προσδιοριστούν από τις σχέσεις μάζας-όγκου αντικαθιστώντας το βάρος με τη μάζα και το ειδικό βάρος με την πυκνότητα. Ο όγκος των στερεών σε ένα δείγμα εδάφους λαμβάνεται ως ενότητα και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των σχέσεων (Wu, 2013).

4.4 Καμπύλες Κατανομής Μεγέθους Κόκκων Εδάφους και Όρια Atterberg

Οι καμπύλες κατανομής μεγέθους κόκκων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση ορισμένων χαρακτηριστικών του μεγέθους των κόκκων των εδαφών. Το σχήμα των καμπυλών υποδηλώνει τη φύση του εδάφους που ελέγχεται. Με βάση τα σχήματα, τα εδάφη μπορούν να ταξινομηθούν ως ομοιόμορφα διαβαθμισμένα, καλά διαβαθμισμένα ή με κενά. Τα ομοιόμορφα διαβαθμισμένα εδάφη έχουν σωματίδια σχεδόν του ίδιου μεγέθους. Ένα καλά διαβαθμισμένο έδαφος διαθέτει ένα ευρύ φάσμα μεγεθών σωματιδίων, που κυμαίνονται από χαλίκια έως σωματίδια μεγέθους αργίλου. Ένα κενό διαβαθμισμένο έδαφος έχει ορισμένα μεγέθη σωματιδίων που λείπουν (Roy & Bhalla, 2017).

Οι καμπύλες κατανομής των κόκκων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση της διαπερατότητας των καθαρών άμμων φίλτρων σε χαλαρή κατάσταση, η οποία μπορεί να συσχετιστεί με αριθμητικές τιμές με το μέγεθος των κόκκων. Για τον προσδιορισμό του κατά πόσον ένα υλικό είναι ομοιόμορφα διαβαθμισμένο ή καλά διαβαθμισμένο, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής ομοιομορφίας (Uzielli et al., 2007). Ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

περίπου ένας αν η καμπύλη κατανομής του μεγέθους των κόκκων είναι σχεδόν κάθετη και η τιμή αυξάνεται με τη διαβάθμιση. Υπάρχει ένα ακόμη βήμα στη διαδικασία για τον προσδιορισμό της διαβάθμισης των σωματιδίων. Αυτό βασίζεται στον όρο που ονομάζεται συντελεστής καμπυλότητας. Το έδαφος λέγεται ότι είναι καλά διαβαθμισμένο εάν ο συντελεστής καμπυλότητας βρίσκεται μεταξύ 1 και 3 για χαλίκια και άμμους (Murthy, 2002).

Η συνοχή είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να δηλώσει το βαθμό σταθερότητας των συνεκτικών εδαφών. Η συνοχή των φυσικών συνεκτικών εδαφικών αποθέσεων εκφράζεται ποιοτικά με όρους όπως πολύ μαλακό, μαλακό, σκληρό και πολύ σκληρό. Οι φυσικές ιδιότητες των αργίλων διαφέρουν σημαντικά σε διαφορετικές περιεκτικότητες σε νερό. Ένα έδαφος που είναι πολύ μαλακό σε υψηλότερο ποσοστό περιεκτικότητας σε νερό γίνεται πολύ σκληρό με τη μείωση της περιεκτικότητας σε νερό (Murthy, 2002). Ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι στην ίδια περιεκτικότητα σε νερό, δύο δείγματα αργίλου διαφορετικής προέλευσης μπορεί να έχουν διαφορετική συνοχή. Ο ένας πηλός μπορεί να είναι σχετικά μαλακός, ενώ ο άλλος μπορεί να είναι σκληρός. Επιπλέον, η μείωση της περιεκτικότητας σε νερό μπορεί να έχει μικρή επίδραση σε ένα δείγμα αργίλου, αλλά μπορεί να μετατρέψει το άλλο δείγμα από σχεδόν υγρό σε πολύ σταθερή κατάσταση. Επομένως, η περιεκτικότητα σε νερό από μόνη της δεν αποτελεί επαρκή δείκτη συνοχής (Das, 2011).

Ο Atterberg, ένας Σουηδός επιστήμονας, εξέτασε τη συνοχή των εδαφών το 1911 και πρότεινε μια σειρά δοκιμών για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των συνεκτικών εδαφών. Αυτές οι δοκιμές υποδεικνύουν το εύρος της πλαστικής κατάστασης (η πλαστικότητα ορίζεται ως η ιδιότητα των συνεκτικών εδαφών που έχουν την ικανότητα να υφίστανται αλλαγές σχήματος χωρίς ρήξη) και άλλων καταστάσεων. Έδειξε ότι αν η περιεκτικότητα σε νερό ενός παχύρρευστου εναιωρήματος αργίλου μειωθεί σταδιακά, το μείγμα αργίλου-νερού υφίσταται αλλαγές από την υγρή κατάσταση μέσω μιας πλαστικής κατάστασης και τελικά σε μια στερεή κατάσταση. Οι διαφορετικές καταστάσεις από τις οποίες διέρχεται το δείγμα εδάφους με τη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία ονομάζονται Όρια Atterberg και οι δοκιμές που απαιτούνται για τον προσδιορισμό των ορίων είναι οι Δοκιμές Ορίων Atterberg. Η μεταβατική κατάσταση από την υγρή κατάσταση στην πλαστική κατάσταση ονομάζεται όριο ρευστότητας. Η μετάβαση από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση ονομάζεται πλαστικό όριο. Η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το δείγμα δεν μπορεί να μειώσει περαιτέρω τον όγκο του ονομάζεται όριο συρρίκνωσης. Το εύρος της περιεκτικότητας σε νερό μεταξύ των ορίων

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

ρευστότητας και πλαστικότητας, το οποίο αποτελεί σημαντικό μέτρο της πλαστικής συμπεριφοράς, ονομάζεται δείκτης πλαστικότητας (Yin et al., 2018).

Πολλές ιδιότητες των αργίλων και των ιλύων, όπως η ξηρή τους αντοχή, η συμπιεστότητα και η συνοχή τους κοντά στο πλαστικό όριο, μπορούν να συσχετιστούν με τα όρια Atterberg μέσω ενός διαγράμματος πλαστικότητας. Το διάγραμμα πλαστικότητας χρησιμεύει για την ταξινόμηση των λεπτόκοκκων εδαφών (αργίλων και ιλύων) με βάση τα όρια Atterberg (όριο ρευστότητας, πλαστικό όριο και δείκτη πλαστικότητας). Παρέχει μια οπτική αναπαράσταση των σχέσεων μεταξύ αυτών των ορίων και επιτρέπει την εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους σε διαφορετικές συνθήκες υγρασίας (Carter & Bentley, 2016). Επιπλέον, το διάγραμμα πλαστικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση άλλων ιδιοτήτων του εδάφους, όπως η ξηρή αντοχή, η συμπιεστότητα και η συνοχή. Σε αυτό το διάγραμμα, οι τιμές του δείκτη πλαστικότητας αντιστοιχούν στις τιμές του ορίου ρευστότητας. Το διάγραμμα χωρίζεται σε έξι περιοχές, με βάση τα όρια Atterberg και τον αν η άργιλος είναι οργανική ή ανόργανη. Η ανώτερη γραμμή στο διάγραμμα πλαστικότητας παρέχει τη σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας και του ορίου ρευστότητας (Ameratunga et al., 2016).

4.5 Διαπερατότητα και Διήθηση Εδάφους

Η διαπερατότητα του εδάφους έχει αποφασιστική επίδραση στην ευστάθεια των θεμελίων, στην απώλεια διήθησης μέσω αναχωμάτων δεξαμενών, στην αποστράγγιση υποβάθρων, στην εκσκαφή ανοιχτών τομών σε αμμώδη υδροφόρα στρώματα, στον ρυθμό ροής του νερού σε φρέατα και σε πολλά άλλα. Όλα τα υλικά, όπως οι βράχοι, το σκυρόδεμα, τα εδάφη κ.λπ. είναι διαπερατά. Η ροή του νερού μέσω όλων αυτών υπακούει περίπου στους ίδιους νόμους. Ως εκ τούτου, η διαφορά μεταξύ της ροής του νερού μέσω του βράχου ή του σκυροδέματος είναι θέμα βαθμού. Όταν το νερό ρέει μέσα από μια κορεσμένη μάζα εδάφους, υπάρχει μια ορισμένη αντίσταση στη ροή λόγω της παρουσίας στερεάς ύλης. Καθώς το νερό ρέει, υπάρχει απώλεια ενέργειας. Η απώλεια κεφαλής ανά μονάδα μήκους ροής μπορεί να εκφραστεί ως υδραυλική κλίση (Wu, 2013).

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τη ροή των ρευστών γενικά μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες, σε εκείνα στα οποία η ροή είναι στρωτή και εκείνα στα οποία η ροή είναι τυρβώδης. Ο Darcy το 1856 εξήγαγε έναν εμπειρικό τύπο για τη συμπεριφορά της ροής μέσω κορεσμένων εδαφών. Ο Darcy διαπίστωσε ότι η ποσότητα νερού που ρέει μέσω μιας διατομής εδάφους υπό υδραυλική κλίση μπορεί να εκφραστεί με έναν τύπο που είναι γνωστός ως νόμος

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

του Darcy. Ο νόμος του Darcy είναι αυστηρά έγκυρος για λεπτόκοκκους τύπους εδαφών. Η υδραυλική αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία το νερό ρέει μέσα από διαπερατά υλικά (Roy & Bhalla, 2017).

Η ταχύτητα με την οποία το νερό ρέει μέσα από τα κενά ενός εδάφους ονομάζεται ταχύτητα διήθησης. Η μέση ταχύτητα σε μια διατομή του εδάφους ονομάζεται ταχύτητα εκφόρτισης. Η ταχύτητα διήθησης είναι πάντα μεγαλύτερη από την ταχύτητα εκφόρτισης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαπερατότητας μπορούν να ταξινομηθούν σε εργαστηριακές και επιτόπιες μεθόδους. Οι εργαστηριακές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη μέθοδο της σταθερής κεφαλής και τη μέθοδο της πτώσης της κεφαλής. Οι μέθοδοι πεδίου περιλαμβάνουν τις δοκιμές άντλησης και τις δοκιμές γεωτρήσεων. Οι εμπειρικοί συσχετισμοί έχουν αναπτυχθεί σε σχέση με το μέγεθος των κόκκων και τον λόγο κενών με την υδραυλική αγωγιμότητα (Brinkgreve, 2005).

Ο συντελεστής διαπερατότητας ενός διαταραγμένου δείγματος μπορεί να διαφέρει από αυτόν του αδιατάρακτου δείγματος, ακόμη και αν ο λόγος κενών είναι ο ίδιος. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε αλλαγή στη δομή ή στη στρωματοποίηση του αδιατάρακτου εδάφους ή σε συνδυασμό αυτών των δύο παραγόντων. Σε στρωματοποιημένα εδάφη, οι μηχανικοί επιθυμούν να έχουν τη μέση διαπερατότητα είτε στην οριζόντια είτε στην κάθετη κατεύθυνση. Η μέση διαπερατότητα μπορεί να υπολογιστεί αν οι διαπερατότητες κάθε στρώματος προσδιοριστούν στο εργαστήριο (Ghasabkolaei et al., 2017).

4.6 Ενεργός Πίεση και Πίεση Πόρων Νερού

Η πίεση που μεταδίδεται μέσω κόκκου προς κόκκο στα σημεία επαφής μέσω μιας εδαφικής μάζας ονομάζεται ενεργός πίεση. Είναι γνωστή ως ενεργός πίεση επειδή αυτή η πίεση είναι υπεύθυνη για τη μείωση του λόγου κενών ή την αύξηση της αντοχής σε τριβή μιας εδαφικής μάζας. Εάν οι πόροι μιας εδαφικής μάζας είναι γεμάτοι με νερό και εάν μια πίεση που προκαλείται στο νερό των πόρων προσπαθεί να διαχωρίσει τους κόκκους, η πίεση αυτή ονομάζεται πίεση πόρων νερού ή ουδέτερη τάση. Το αποτέλεσμα αυτής της πίεσης είναι η αύξηση του όγκου ή η μείωση της αντοχής σε τριβή της εδαφικής μάζας (Das, 2011).

Τα αποτελέσματα της ενεργούς πίεσης και των πιέσεων του νερού των πόρων σε μια εδαφική μάζα μπορούν να αποδειχθούν με απλά πρακτικά παραδείγματα. Όταν ένα φορτίο εφαρμόζεται στην επιφάνεια ενός ξηρού δείγματος εδάφους, το φορτίο μεταφέρεται στους κόκκους του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

εδάφους στο καλούπι μέσω των σημείων επαφής τους. Εάν το φορτίο είναι αρκετά σημαντικό, θα έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίεση της εδαφικής μάζας στο καλούπι. Η συμπίεση αυτή μπορεί να οφείλεται εν μέρει στην ελαστική συμπίεση των κόκκων στα σημεία επαφής τους και εν μέρει στην σχετική ολίσθηση μεταξύ των σωματιδίων. Δεδομένου ότι αυτή η τάση είναι υπεύθυνη για την παραμόρφωση της εδαφικής μάζας, ονομάζεται ενδοκοκκώδης ή ενεργός τάση (Ameratunga et al., 2016).

Εάν το έδαφος στο καλούπι είναι πλήρως κορεσμένο και το καλούπι είναι εντελώς υδατοστεγές, το εξωτερικό φορτίο θα μεταδοθεί στο νερό στους πόρους. Η πίεση αυτή που αναπτύσσεται στο νερό ονομάζεται ουδέτερη τάση. Αυτή η πίεση του νερού των πόρων εμποδίζει τη συμπίεση της εδαφικής μάζας. Εάν ανοίξει μια βαλβίδα στο έμβολο, θα υπάρξει άμεση αποβολή νερού μέσω της οπής στο έμβολο. Η αποβολή νερού από τους πόρους μειώνει την πίεση του νερού των πόρων και αντιστοίχως αυξάνει την ενδοκοκκώδη πίεση. Σε οποιοδήποτε στάδιο, η συνολική πίεση κατανέμεται μεταξύ του νερού και των σημείων επαφής των κόκκων. Η τελική ισορροπία θα επιτευχθεί όταν δεν υπάρχει πλέον αποβολή νερού. Σε αυτό το στάδιο, η πίεση του νερού πόρων είναι μηδέν. Όλη η πίεση θα μεταφερθεί από τους κόκκους του εδάφους (Schofield, 2005).

Η πίεση του νερού μπορεί να προκληθεί στους πόρους μιας εδαφικής μάζας από μια στάθμη νερού πάνω από αυτήν. Όταν δεν υπάρχει ροή νερού μέσω των πόρων της μάζας, η ενδοκοκκώδης πίεση παραμένει σταθερή σε οποιοδήποτε επίπεδο. Αλλά αν υπάρχει ροή, η ενδοκοκκώδης πίεση αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής (Yin et al., 2018).

Η πίεση που ασκεί μια μάζα εδάφους σε έναν τοίχο αντιστήριξης ονομάζεται πίεση εδάφους. Η πίεση εδάφους μπορεί να είναι ενεργός ή παθητική. Η ενεργός πίεση εδάφους εμφανίζεται όταν ο τοίχος αντιστήριξης τείνει να απομακρυνθεί από την εδαφική μάζα, επιτρέποντας στο έδαφος να παραμορφωθεί και να υποστεί πλευρική διαστολή. Η παθητική πίεση εδάφους εμφανίζεται όταν ο τοίχος ωθείται προς την εδαφική μάζα, προκαλώντας τη συμπίεση του εδάφους (Brinkgreve, 2005).

Η ενεργός πίεση εδάφους μπορεί να είναι είτε πίεση εδάφους σε ηρεμία είτε πίεση εδάφους κατά την αστοχία. Η πίεση εδάφους σε ηρεμία είναι η πίεση που ασκείται από μια μάζα εδάφους σε έναν τοίχο αντιστήριξης που δεν έχει υποστεί καμία κίνηση. Η πίεση εδάφους κατά

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

την αστοχία είναι η πίεση που ασκείται από μια μάζα εδάφους σε έναν τοίχο αντιστήριξης που έχει υποστεί κίνηση και έχει φτάσει σε κατάσταση αστοχίας (Das, 2011).

Η ενεργός πίεση εδάφους μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους, όπως η μέθοδος Rankine και η μέθοδος Coulomb. Η μέθοδος Rankine βασίζεται στην υπόθεση ότι το έδαφος είναι ομοιογενές, ισότροπο και ιδανικό υλικό. Η μέθοδος Coulomb λαμβάνει υπόψη την αντοχή σε τριβή του εδάφους και τη γωνία κλίσης του τοίχου αντιστήριξης (Wu, 2013).

4.7 Συμπίεση Εδάφους

Η συμπίεση του εδάφους είναι η διαδικασία κατά την οποία μια μάζα εδάφους μειώνεται σε όγκο. Η συμπίεση του εδάφους μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η αύξηση του φορτίου, η μείωση της πίεσης του νερού των πόρων και η αλλαγή της θερμοκρασίας (Carter & Bentley, 2016).

Η συμπίεση του εδάφους μπορεί να είναι είτε άμεση είτε ερπυστική. Η άμεση συμπίεση συμβαίνει όταν εφαρμόζεται ένα φορτίο σε μια μάζα εδάφους και το έδαφος συμπιέζεται αμέσως. Η ερπυστική συμπίεση συμβαίνει όταν ένα φορτίο εφαρμόζεται σε μια μάζα εδάφους και το έδαφος συνεχίζει να συμπιέζεται με την πάροδο του χρόνου, ακόμη και μετά την απομάκρυνση του φορτίου (Uzielli et al., 2007).

Η συμπίεση του εδάφους μπορεί να είναι είτε πρωτογενής είτε δευτερογενής. Η πρωτογενής συμπίεση είναι η συμπίεση που οφείλεται στην αποβολή του νερού από τους πόρους του εδάφους. Η δευτερογενής συμπίεση είναι η συμπίεση που οφείλεται στην αναδιάταξη των σωματιδίων του εδάφους (Schofield, 2005).

Η συμπίεση του εδάφους μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας διάφορες θεωρίες, όπως η θεωρία της ελαστικότητας και η θεωρία της ελαστοπλαστικότητας. Η θεωρία της ελαστικότητας βασίζεται στην υπόθεση ότι το έδαφος είναι ένα ελαστικό υλικό που μπορεί να ανακτήσει το αρχικό του σχήμα και τον όγκο του μετά την απομάκρυνση του φορτίου. Η θεωρία της ελαστοπλαστικότητας λαμβάνει υπόψη τόσο την ελαστική όσο και την πλαστική συμπεριφορά του εδάφους (Brinkgreve, 2005).

4.8 Κατανομή Τάσεων στο Έδαφος Λόγω Επιφανειακών Φορτίων

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κατακόρυφης τάσης σε οποιοδήποτε σημείο σε μια ημι-άπειρη μάζα εδάφους λόγω ενός σημειακού φορτίου στην επιφάνεια είναι ο τύπος του Boussinesq. Εφαρμόζοντας την αρχή της θεωρίας του, μπορούν να ληφθούν οι τάσεις σε οποιοδήποτε σημείο της μάζας λόγω γραμμικού φορτίου άπειρης έκτασης που ενεργεί στην επιφάνεια. Η κατακόρυφη τάση σε ένα σημείο μπορεί να γραφτεί σε ορθογωνικές συντεταγμένες ως το γινόμενο του παράγοντα επιρροής και του φορτίου ανά μονάδα μήκους διαιρούμενο με το βάθος του σημείου (Roy & Bhalla, 2017).

Η κατάσταση τάσης που συναντάται στην περίπτωση λωρίδων φορτίων είναι αυτή μιας επίπεδης κατάστασης παραμόρφωσης. Τέτοιες συνθήκες εντοπίζονται σε κατασκευές που εκτείνονται πολύ προς μία κατεύθυνση, όπως οι θεμελιώσεις λωρίδων και τοίχων, οι θεμελιώσεις τοίχων αντιστήριξης, τα αναχώματα, τα φράγματα και τα παρόμοια (Schofield, 2005). Για τέτοιες κατασκευές, η κατανομή των τάσεων σε οποιαδήποτε τομή (εκτός από τα ακραία τμήματα από 2 έως 3 φορές το πλάτος των κατασκευών από το άκρο της) θα είναι η ίδια με εκείνη των γειτονικών τμημάτων, υπό τον όρο ότι το φορτίο δεν αλλάζει σε κατευθύνσεις κάθετες προς το επίπεδο που εξετάζεται. Η συνολική τάση σε ένα σημείο λόγω ενός φορτίου λωρίδας που κατανέμεται σε ένα πλάτος μπορεί να γραφτεί ως η διαφορά δύο όρων που περιέχουν την αντίστροφη εφαπτομένη του πλάτους διαιρούμενο με το βάθος του σημείου (Uzielli et al., 2007).

Η αύξηση της κατακόρυφης τάσης λόγω του φορτίου που κατανέμεται σε ορθογώνιο μπορεί να ληφθεί με ολοκλήρωση. Υπάρχουν διάφορες μορφές λύσης για την εξίσωση που προκύπτει. Η μία που χρησιμοποιείται συνήθως είναι μια μορφή που περιέχει την αντίστροφη εφαπτομένη του πλάτους διαιρούμενο με το βάθος του σημείου. Υπάρχουν αρκετές μορφές λύσης για την εξίσωση που προκύπτει. Αυτή που χρησιμοποιείται συνήθως είναι μια μορφή που περιλαμβάνει την αντίστροφη εφαπτομένη του πλάτους διαιρούμενο με το βάθος του σημείου. Η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί σε μια πιο βολική μορφή χρησιμοποιώντας δύο γωνίες (Yin et al., 2018).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τάσεων κάτω από φορτισμένες περιοχές ακανόνιστου σχήματος είναι πιο πρακτική από τις μεθόδους που εξηγήθηκαν προηγουμένως όταν η θεμελίωση αποτελείται από μεγάλο αριθμό υποστυλωμάτων ή όταν οι φορτισμένες πλάκες ή οι πεδιλοδοκοί δεν έχουν κανονικό σχήμα. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην κατακόρυφη τάση κάτω από το κέντρο μιας κυκλικής περιοχής που φέρει ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο (Murthy, 2002).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Οι τάσεις κάτω από μια ομοιόμορφα φορτισμένη κυκλική θεμελίωση σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος του άξονα είναι η κατακόρυφη τάση. Η κατακόρυφη τάση σε ένα σημείο λόγω του σημειακού φορτίου μπορεί να εκφραστεί ως το γινόμενο του συντελεστή τάσης Boussinesq και του σημειακού φορτίου διαιρούμενο με το τετράγωνο του βάθους του σημείου. Η ολοκληρωμένη μορφή της εξίσωσης για ολόκληρη την κυκλική περιοχή μπορεί να γραφεί ως το γινόμενο του συντελεστή επιρροής και της πίεσης επαφής. Η τάση σε οποιοδήποτε σημείο στον άξονα συμμετρίας μιας κυκλικής φορτισμένης περιοχής μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση που αναπτύχθηκε. Οι κατακόρυφες τάσεις μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας διάγραμμα του συντελεστή επιρροής (Ameratunga et al., 2016).

4.9 Φορτία Αναχωμάτων και Ισοβαρές Πίεσης

Πολλές φορές μπορεί να είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η κατακόρυφη τάση κάτω από δρόμους και σιδηροδρομικά αναχώματα, καθώς και κάτω από χωμάτινα φράγματα. Η κατακόρυφη τάση κάτω από τα αναχώματα μπορεί να προσδιοριστεί είτε με τη μέθοδο της υπέρθεσης κάνοντας χρήση του τύπου για την κατακόρυφη τάση σε οποιοδήποτε σημείο σε μια μάζα λόγω ενός γραμμικού φορτίου στην επιφάνεια, είτε κάνοντας χρήση ενός μόνο τύπου που μπορεί να αναπτυχθεί από τις πρώτες αρχές (Wu, 2013).

Μια γραμμή που συνδέει όλα τα σημεία ίσων τάσεων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ονομάζεται ισοβαρής. Με άλλα λόγια, μια ισοβαρής γραμμή είναι ένα περίγραμμα τάσης. Μπορούμε να σχεδιάσουμε οποιονδήποτε αριθμό ισοβαρών για οποιοδήποτε δεδομένο σύστημα φορτίων. Κάθε ισοβαρής αντιπροσωπεύει ένα κλάσμα του φορτίου που εφαρμόζεται στην επιφάνεια. Δεδομένου ότι αυτές οι ισοβαρείς σχηματίζουν κλειστές φιγούρες και μοιάζουν με τη μορφή βολβού, ονομάζονται επίσης βολβοί πίεσης. Συνήθως, οι ισοβαρείς σχεδιάζονται για κατακόρυφες, οριζόντιες και διατμητικές τάσεις. Αυτή που είναι πιο σημαντική στον υπολογισμό των καθιζήσεων των υποστυλωμάτων είναι η ισοβαρής κατακόρυφης πίεσης (Das, 2011).

Το βάθος αυτής της ζώνης τάσης μπορεί να ονομαστεί σημαντικό βάθος και είναι υπεύθυνο για την καθίζηση της κατασκευής. Εάν αρκετά φορτισμένα υποστυλώματα είναι τοποθετημένα αρκετά κοντά μεταξύ τους, οι μεμονωμένες ισοβαρείς γραμμές κάθε εν λόγω υποστυλώματος θα συνδυαστούν και θα συγχωνευθούν σε μία μεγάλη ισοβαρή γραμμή. Το συνδυασμένο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

σημαντικό βάθος είναι περίπου 1,5 φορές το πλάτος των υποστυλωμάτων (Carter & Bentley, 2016).

Δύο προσεγγιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται γενικά για τον υπολογισμό των τάσεων σε μια εδαφική μάζα κάτω από φορτισμένες περιοχές. Αυτές είναι η χρήση των τύπων σημειακών φορτίων, όπως η εξίσωση του Boussinesq, και η μέθοδος 2:1, η οποία δίνει μια μέση κατακόρυφη τάση σε οποιοδήποτε βάθος. Η μέθοδος του σημειακού φορτίου, εάν εφαρμοστεί σωστά, δίνει την τάση του σημείου σε οποιοδήποτε βάθος, η οποία συγκρίνεται αρκετά καλά με τις ακριβείς μεθόδους, ενώ η δεύτερη δεν δίνει καμία τάση σημείου αλλά μόνο μια μέση τάση σε οποιοδήποτε βάθος. Η μέση τάση που υπολογίζεται με τη δεύτερη μέθοδο έχει βρεθεί ότι είναι εσφαλμένη, ανάλογα με το βάθος στο οποίο απαιτείται η τάση (Roy & Bhalla, 2017).

5. Κλιματικές και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Εικόνα 7: Κλιματικές φθορές στην αρχαία Βαβυλώνα (https://www.businesslive.co.za/bd/world/asia/2022-10-29-iraqs-babylon-under-threat-from-salt/)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

5.1 Η Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση είναι μια από τις κύριες αιτίες πρόκλησης ζημιών στα υλικά που χρησιμοποιούνται στα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Η αύξηση της βροχόπτωσης μπορεί να προκαλέσει κορεσμό των εδαφών και υπερφόρτωση των υδρορροών και των σωληνώσεων, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος διείσδυσης υγρασίας στα ιστορικά υλικά. Η αυξημένη βροχόπτωση μπορεί επίσης να προκαλέσει αυξημένη εναπόθεση ρύπων στις επιφάνειες και να συμβάλει στη διείσδυσή τους στους πόρους του δομικού υλικού. Οι επιπτώσεις των βροχοπτώσεων περιλαμβάνουν επίσης την αύξηση της βιολογικής δραστηριότητας και την αύξηση του κινδύνου πλημμύρας, η οποία αναμφίβολα βλάπτει την πολιτιστική κληρονομιά (Phoon & Ching, 2015).

Σχετικά με την επίδραση των βροχοπτώσεων στην πολιτιστική κληρονομιά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορεί να προκληθεί ζημιά. Ο πρώτος είναι η άμεση ζημιά, όπως η μηχανική αποξήρανση ή το μούλιασμα, και ο δεύτερος είναι η έμμεση ζημιά, όπως οι κύκλοι παγώματος-απόψυξης, η χημική διάβρωση και η βιολογική αποικοδόμηση. Με άλλα λόγια, η ψύξη μπορεί να αυξήσει την εσωτερική τάση που δημιουργείται από το νερό μέσα στο πορώδες υλικό και να βλάψει τη δομή του πολιτιστικού μνημείου. Η αύξηση των βροχοπτώσεων, ιδίως σε θερμότερο κλίμα, μπορεί να επιταχύνει την επιφανειακή υποχώρηση των υαλωδών υλικών και των ανθρακικών λίθων. Οι διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας μπορούν να επιταχύνουν την ανάπτυξη μικροβίων στις επιφάνειες των λίθινων ή ξύλινων υλικών (Mitchell, & Santamarina, 2005). Τα έντονα φαινόμενα βροχοπτώσεων, συμπεριλαμβανομένων των όμβριων υδάτων, των καταιγίδων και των πλημμυρών, μπορούν να καταστρέψουν εύθραυστες υπαίθριες τοποθεσίες προκαλώντας ζημιές στα μνημεία Ακόμη και οι φυσιολογικές βροχοπτώσεις έχουν αργή αλλά παρατεταμένη αρνητική επίδραση στη δομή της κληρονομιάς μέσω των κύκλων αλατιού και της τριχοειδούς υγρασίας (Phoon & Ching, 2015).

Η ζημιά που προκαλείται από τις βροχοπτώσεις εξαρτάται από την αντοχή στο νερό, τη δομή των πόρων, τη σύνθεση του υλικού και άλλα χαρακτηριστικά των υλικών. Όσον αφορά τις ζημιές, όπως η διάβρωση των λίθων, η υποχώρηση των επιφανειών των ανθρακικών λίθων οφείλεται στις βροχοπτώσεις και στην εναπόθεση ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως το Διοξείδιο του θείου (SO_2) και τα Οξείδια του αζώτου (NOx), καθώς και στην αύξηση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και στην αύξηση των συγκεντρώσεων όξινων βροχών που επηρεάζουν άμεσα την πολιτιστική κληρονομιά. Ένας άλλος μηχανισμός που προκαλεί

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

διάφορους τύπους ζημιών, όπως η συσσώρευση βιομάζας, η αποσύνθεση των φυκών και η αποσύνθεση των λειχήνων στις πέτρες, είναι η βιολογική ανάπτυξη, η οποία σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις, την υγρασία και τη θερμοκρασία. Σε γενικές γραμμές, η ζημιά προκαλείται από βιολογικό αποικισμό που συνίσταται σε οπτική απόφραξη και επικάλυψη από φυτά, φύκια, μούχλες, βρύα και λειχήνες (Mitchell, & Santamarina, 2005).

5.2 Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τα δομικά υλικά. Εκτός από τις σημαντικές επιπτώσεις της διάβρωσης που σχετίζονται με τα αέρια, τα οποία αυξάνουν τη διαβρωτικότητα της ατμόσφαιρας, οι περισσότεροι τύποι των ρύπων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της διάβρωσης της πέτρας είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2) και η αλληλεπίδραση με το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το όζον (O_3), το νιτρικό οξύ (HNO_3) και η λεπτή σκόνη (PM) (Fang & Daniels, 2017).

Σε πολλές μελέτες, το SO_2 έχει θεωρηθεί ο πιο σχετικός ρύπος για τη μέτρηση της φθοράς των υλικών, ιδίως της επιφανειακής υποχώρησης των λίθων και της διάβρωσης των μετάλλων, που προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων και άλλων υλικών που περιέχουν θείο. Το SO_2 μπορεί να βλάψει τα υλικά όταν έρχεται σε επαφή με το νερό, το οποίο μετατρέπεται σε θειικό άλας. Υπό αυτή την έννοια, το SO_2 επηρεάζει επίσης σε μεγάλο βαθμό τις διαδικασίες αποσύνθεσης της πέτρας, ιδίως για τις ανθρακικές πέτρες, καθώς τείνει να αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο, προκαλώντας το σχηματισμό διαλυτών γύψινων κρουστών. Αυτό μπορεί να προκαλέσει όχι μόνο υποχώρηση της επιφάνειας της πέτρας αλλά και ρύπανση, ανάλογα κυρίως με τη συχνότητα της βροχόπτωσης (Fang & Daniels, 2017).

Παρόλο που οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές του SO_2, τα επίπεδα HNO_3 έχουν παραμείνει αμετάβλητα, ενώ τα επίπεδα SO_2 έχουν μειωθεί τα τελευταία χρόνια. Το HNO_3 είναι ένα ισχυρό οξύ με πολύ υγροσκοπικά άλατα και υψηλό ρυθμό εναπόθεσης. Ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει ρυθμούς διάβρωσης και ταχύτητες εναπόθεσης HNO_3 σε ασβεστολιθικές πέτρες και υπό χαμηλή σχετική υγρασία, εγείροντας ανησυχία σε θερμά και ξηρά κλίματα (Fang & Daniels, 2017).

Η λεπτή σκόνη, γενικά υγροσκοπική, αυξάνει την πιθανότητα να συμβεί διάβρωση. Τα σωματίδια μπορούν επίσης να είναι διαβρωτικά όταν περιέχουν διαβρωτικές χημικές ουσίες και λαμβάνοντας υπόψη τον καταλυτικό ρόλο των ανθρακούχων σωματιδίων στο σχηματισμό νιτρικού και θειικού οξέος (Fang & Daniels, 2017).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), παρά το γεγονός ότι δεν περιλαμβάνεται στους τύπους δοσοαπόκρισης, σχετίζεται άμεσα με την αύξηση ή τη μείωση της όξινης βροχής. Το CO_2 δεν είναι μόνο ρύπος αλλά και αέριο που μεταβάλλει το κλίμα. Το CO_2 από τον αέρα που διαλύεται στο νερό της βροχής κάνει τη βροχή ελαφρώς πιο όξινη [ανθρακικό οξύ ($H2CO_3$)]. Εάν η βροχή γίνει πιο όξινη, συμβάλλει στη διάβρωση των υλικών. Το νερό της βροχής αντιδρά με υλικά που είναι σε μεγάλο βαθμό κατασκευασμένα από ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$), το πιο κοινό παράδειγμα είναι ο ασβεστόλιθος, μετατρέποντας το ελαφρώς διαλυτό ανθρακικό ασβέστιο σε πιο διαλυτό όξινο ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$). Αυτό ξεπλένεται, προκαλώντας τη φθορά του υλικού, η οποία ονομάζεται φαινόμενο καρστ (Fang & Daniels, 2017).

5.3 Η Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στη φθορά των μνημείων. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας και μεταξύ των εποχών προκαλούν μεταβολές όγκου, όπως διαστολή και συρρίκνωση στα υλικά κατασκευής των μνημείων. Επιπλέον, οι συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας προκαλούν ρωγμές και θραύσεις στις πέτρες ως αποτέλεσμα της κόπωσης του υλικού. Οι διαφορές στις ποσότητες διαστολής είναι μια άλλη επίδραση της θερμοκρασίας στο υλικό της πέτρας λόγω των διαφορών θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του υλικού της πέτρας. Οι θερμικές διαστολές δεν συμβαίνουν μόνο λόγω του ζεστού καιρού, αλλά και λόγω της ψύξης που παίζει μεγάλο ρόλο στη διαστολή. Δεδομένου ότι ο όγκος του νερού αυξάνεται μετά τη διαδικασία της ψύξης, το παγωμένο νερό στις ρωγμές παρουσιάζει ένα φαινόμενο σφηνώματος, διευρύνει τις ρωγμές και προκαλεί τη θραύση του υλικού της πέτρας. Όταν αυτό το φαινόμενο συμβεί αρκετές φορές, θα παρατηρηθούν θραύσματα στα ανώτερα στρώματα των λίθων (Fenton & Griffiths, 2008).

Η διαδικασία ψύξης-απόψυξης έχει σημαντική επίδραση στη φθορά των λίθων που χρησιμοποιούνται σε περιοχές που αντιμετωπίζουν ημερήσιες και εποχιακές διαφορές θερμοκρασίας. Οι αλλαγές στο χρώμα των λίθων είναι επίσης ένα αποτέλεσμα των διαφορών θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας. Η ξεθωριασμένη επιφάνεια της πέτρας αποκτά μια ματ και χλωμή εμφάνιση, η οποία παρατηρείται συχνότερα στις φυσικές πέτρες κατασκευών. Μερικές φορές οι αλλαγές χρώματος εμφανίζονται ως σκούρες κηλίδες σε σχήμα φλέβας (Fang & Daniels, 2017).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

5.4 Ο Άνεμος

Ο άνεμος είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στη φθορά. Η μεταφορά και η τοποθέτηση σπόρων στις κοιλότητες και τις ενώσεις των στεγών και των τοίχων με τη βοήθεια του ανέμου προκαλεί μερικές φορές την ανάπτυξη βλάστησης (π.χ. αΐλανθος κ.λπ.) στις προσόψεις πολλών παραμελημένων ιστορικών κτιρίων. Αυτό το γεγονός επιταχύνει τις φθορές στα μνημειακά κτίρια (Papafotiou et al., 2016). Επιπλέον, εάν ο άνεμος συνδυάζει τις βλαβερές του συνέπειες μαζί με θαλάσσια άλατα και άμμο, οι σοβαρές επιφανειακές φθορές στα μνημεία θα είναι αναπόφευκτες (Gens, 2010).

Η βροχή με οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας που δίνεται από τον άνεμο είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που ευθύνονται για τη διάβρωση της επιφάνειας. Συνήθως προκαλεί διάβρωση της επιφάνειας των λίθινων υλικών, κατάρρευση ή και ζημιές σε κτίρια και αρχαιολογικές κατασκευές και αιολική τριβή. Η διάβρωση της επιφάνειας είναι η πιο μελετημένη από τις επιπτώσεις του ανέμου, καθώς είναι ένας προοδευτικός και σωρευτικός τύπος κρούσης. Η απώλεια επιφανειακών υλικών μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με μια πιθανοτική προσέγγιση για να καταστεί δυνατή η μεταβολή και η αβεβαιότητα και να οριστεί ως συνάρτηση πιθανότητας της αξίας (πολιτιστική, κοινωνική και ιστορική), του κινδύνου, της ευπάθειας και της έκθεσης. Όσον αφορά τον κίνδυνο, λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής, ορισμένα ακραία φαινόμενα που σχετίζονται με τις βροχοπτώσεις τείνουν να είναι πιο συχνά και επομένως, μια αύξηση των βροχοπτώσεων που προκαλούνται από τον άνεμο μπορεί να προστεθεί στις άλλες ζημιές (Gens, 2010).

5.5 Η Βιοεπιδείνωση

Η ανάπτυξη βιολογικού υλικού προκαλείται από μικροοργανισμούς που παίζουν πιθανό ρόλο στις διαδικασίες βιοεπιδείνωσης των ανόργανων υλικών, όπως τα αυτοτροφικά και ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες, τα φύκια και οι λειχήνες. Οι μικροβιακές βιομεμβράνες αλληλεπιδρούν με τα ανόργανα υλικά με διάφορους τρόπους όπως φυσική αλλοίωση, όπου η δομή του υλικού επηρεάζεται από την ανάπτυξη μικροβίων (π.χ. φυσικό ή μηχανικό σπάσιμο), αισθητική αλλοίωση λόγω ρύπανσης και χημική αλλοίωση και μετασχηματισμοί ορυκτών και μετάλλων λόγω της απέκκρισης μεταβολιτών ή άλλων ουσιών όπως οξέα που επηρεάζουν δυσμενώς τις δομικές ιδιότητες του υλικού (π.χ. αύξηση του πορώδους, αποδυνάμωση του ορυκτού πλέγματος, διάλυση ορυκτών και σχηματισμός βιο-ορυκτών και βιοδιάβρωση μετάλλων και κραμάτων). Η λεγόμενη βιο-ορυκτοποίηση ή βιολογικά επαγόμενη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

ορυκτοποίηση είναι η διαδικασία με την οποία η βιολογική δραστηριότητα προκαλεί την καθίζηση και τη συσσώρευση ορυκτών. Είναι το αποτέλεσμα του μεταβολισμού των οργανισμών. Τα ορυκτά που παράγονται από βιομεμβράνες και λειχήνες περιλαμβάνουν υδροξείδια του σιδήρου, μαγνητίτη, οξείδια του μαγγανίου, άργιλο, άμορφο διοξείδιο του πυριτίου, ανθρακικά άλατα, φωσφορικά άλατα, οξαλικά άλατα κ.λπ (Mitchell, & Santamarina, 2005).

Οι λειχήνες και τα βρύα που εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες με την αυξημένη υγρασία που σχετίζεται με το κλίμα επιταχύνουν τις φθορές στα μνημειακά κτίρια. Η αδυναμία απομάκρυνσης του βρόχινου νερού από τις κατεστραμμένες στέγες ή από οποιεσδήποτε αρμούς του κτιρίου θέτει τις βάσεις για την ανάπτυξη βρύων και φυτών στο κτίριο. Η εξάλειψη αυτών των σοβαρών ζημιών είναι δυνατή μόνο με τη τακτική συντήρηση του μνημείου (Mitchell, & Santamarina, 2005).

5.6 Η Κρυστάλλωση του Αλατιού

Η κρυστάλλωση του αλατιού είναι μια φυσική διαδικασία που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές ιδιαίτερα σε κατασκευές από πέτρα και τούβλο. Όταν το νερό, που περιέχει διαλυτά άλατα, διεισδύει σε αυτά τα υλικά και στη συνέχεια εξατμίζεται, τα άλατα κρυσταλλώνονται. Αυτή η διαδικασία κρυστάλλωσης οδηγεί σε αύξηση του όγκου των αλάτων, ασκώντας πίεση στους πόρους και τις ρωγμές των υλικών κατασκευής. Με την πάροδο του χρόνου, αυτή η πίεση μπορεί να προκαλέσει ρωγμές, θρυμματισμό και αποσύνθεση της πέτρας ή του τούβλου (Gens, 2010).

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει το πρόβλημα της κρυστάλλωσης των αλάτων. Η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των βροχοπτώσεων, σε συνδυασμό με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη διείσδυση νερού σε αυτά τα ευάλωτα υλικά. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή μπορούν να επιταχύνουν τους κύκλους διαβροχής-ξήρανσης, εντείνοντας τη διαδικασία κρυστάλλωσης. Οι επιπτώσεις της κρυστάλλωσης αλατιού στα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς είναι ιδιαίτερα ανησυχητικές. Πολλά ιστορικά κτίρια, μνημεία και αρχαιολογικοί χώροι είναι κατασκευασμένα από πέτρα ή τούβλο, καθιστώντας τα ευάλωτα σε αυτόν τον τύπο φθοράς. Η ζημιά που προκαλείται από την κρυστάλλωση αλατιού μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ιστορικών λεπτομερειών, δομική αστάθεια και τελικά στην υποβάθμιση των μνημείων (Fang & Daniels, 2017).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

5.7 Η Πλημμύρα

Οι πλημμύρες αποτελούν σημαντική απειλή για τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, προκαλώντας άμεση και έμμεση ζημία. Οι πλημμύρες μπορούν να διαβρώσουν τα θεμέλια, να αποδυναμώσουν τις δομές και να οδηγήσουν σε κατάρρευση κτιρίων. Η υγρασία από τις πλημμύρες μπορεί να προκαλέσει ανάπτυξη μούχλας και μυκήτων, οι οποίοι αποσυνθέτουν τα δομικά υλικά και βλάπτουν τα έργα τέχνης και τα αντικείμενα. Επιπλέον, οι πλημμύρες μπορούν να μεταφέρουν ρύπους και συντρίμμια που λερώνουν και φθείρουν τα μνημεία (Gens, 2010).

Ένα παράδειγμα πλημμύρας αφορά ένα παλιό κυνηγετικό καταφύγιο στο Σβάλμπαρντ, όπου το λιώσιμο του μόνιμα παγωμένου εδάφους λόγω της κλιματικής αλλαγής οδήγησε σε διείσδυση νερού στο κτίριο, προκαλώντας ζημιές από μούχλα και μύκητες αποσύνθεσης του ξύλου. Αυτές οι περιπτώσεις καταδεικνύουν την ευπάθεια των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς στις πλημμύρες και την ανάγκη για προληπτικά μέτρα και στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου. Ωστόσο η πλημμύρα μπορεί να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη ακόμα και αν δεν πλημμυρίσει η ίδια η κατασκευή. Μπορεί να προκαλέσει αύξηση της υγρασίας στο έδαφος και στα κατώτερα μέρη των τοίχων, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μούχλας και μυκήτων, με αποτέλεσμα εκτεταμένες ζημιές (Mitchell, & Santamarina, 2005).

5.8 Η Βλάστηση

Η βλάστηση, ως βιολογικός παράγοντας, αναγνωρίζεται ως ένας από τους κύριους παράγοντες που συμβάλλουν στη φθορά των μνημείων. Η παρουσία της βλάστησης στα μνημεία ποικίλλει ανάλογα με την εποχή, υποδηλώνοντας ότι η ανάπτυξη και η εξάπλωσή της επηρεάζονται από τις εποχιακές αλλαγές. Στην πραγματικότητα, διάφορες μελέτες επισημαίνουν ότι η βλάστηση είναι εμφανής σε σχεδόν 90% των μνημείων, γεγονός που υπογραμμίζει την ευρεία παρουσία της και τις πιθανές επιπτώσεις της στη διατήρηση αυτών των ιστορικών δομών (Papafotiou et al., 2016).

Έρευνες αναφέρουν επίσης ότι η βλάστηση, μαζί με άλλες μορφές φθοράς όπως τα ραγίσματα, τα κατάγματα, η δημιουργία κύστεων και ο βιολογικός αποικισμός, εμφανίζονται σε αφθονία σε περισσότερο από το 80% των κτιρίων. Αυτές οι μορφές φθοράς αποδίδονται στην υγρασία λόγω τριχοειδούς δράσης, τη χρήση ακατάλληλων υλικών και τις βροχοπτώσεις. Η υγρασία λόγω τριχοειδούς δράσης, ειδικότερα, δημιουργεί ένα περιβάλλον που ευνοεί την ανάπτυξη της βλάστησης, ενώ η χρήση ακατάλληλων υλικών μπορεί να προκαλέσουν φυσική βλάβη στις

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

επιφάνειες των μνημείων, διευκολύνοντας την ριζοβολία της βλάστησης. Επιπλέον, οι βροχοπτώσεις μπορούν να συμβάλουν στην εξάπλωση των σπόρων και να παρέχουν το απαραίτητο νερό για την ανάπτυξη της βλάστησης (Papafotiou et al., 2016).

5.9 Τα Υπόγεια Ύδατα

Τα υπόγεια ύδατα αναγνωρίζονται ως ένας σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας που συμβάλλει στη φθορά των μνημείων λόγω αύξησης της υγρασίας, η οποία μπορεί να βλάψει τα δομικά υλικά των μνημείων. Η διείσδυση των υπόγειων υδάτων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με ένα σχέδιο ετήσιας προληπτικής επιτήρησης και συντήρησης των μνημείων. Η τακτική επιτήρηση και συντήρηση μπορεί να μετριάσει τις δυσμενείς επιπτώσεις των υπόγειων υδάτων (Fang & Daniels, 2017).

5.10 Οι Φυσικές Καταστροφές

Οι φυσικές καταστροφές, όπως οι σεισμοί, τα τσουνάμι οι φωτιές και οι τυφώνες, αποτελούν σημαντικές απειλές για τα μνημεία. Η ανάλυση των τύπων κτιρίων και η ανάλυση κινδύνου ή ευπάθειας σε σεισμούς, τσουνάμι, φωτιές, πλημμύρες, τυφώνες και ανεμοστρόβιλους είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κατάστασης που θα προκύψει μετά από μια πιθανή καταστροφή. Αξίζει να αναφερθεί ότι η θερμότητα της φωτιάς μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμες αλλαγές στις πέτρες και να επηρεάσει τη ορυκτολογική σύνθεση, το πορώδες, την αντοχή στη θλίψη και τη στατική συμπεριφορά, ανάλογα με τους τύπους των λίθων (Gens, 2010).

5.11 Οι Ανθρωπογενείς Παράγοντες

Οι ανθρωπογενείς παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη φθορά των μνημείων. Διάφοροι επικίνδυνοι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η επίδραση της ρύπανσης, συνδέονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η ανάλυση αυτών των επικαθίσεων και των μαύρων κρουστών αποκαλύπτει ότι τα δείγματα με χημική προσβολή από οξείδια του θείου είναι τα πιο συνηθισμένα, και βρίσκονται στο 80% των δειγμάτων που μελετήθηκαν. Αυτό υποδηλώνει μια ισχυρή επίδραση του SO_2 στις καιρικές συνθήκες στο εξωτερικό των κτιρίων. Επιπλέον, οι πυρκαγιές, που συχνά προκαλούνται από ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως οι ένοπλες συγκρούσεις ή η ελλιπής συντήρηση των ηλεκτρικών καλωδιώσεων ή των συστημάτων αγωγών φυσικού αερίου, μπορούν να προκαλέσουν μη αναστρέψιμες αλλαγές στα μνημεία. Αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν τη ορυκτολογική σύνθεση, το πορώδες, την αντοχή

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

στη θλίψη και τη στατική συμπεριφορά των υλικών ανάλογα με τον τύπο τους (Phoon & Ching, 2015)

Η κυκλοφορία και η χρήση ακατάλληλων υλικών μπορούν να προκαλέσουν φυσική βλάβη στις επιφάνειες των μνημείων, καθιστώντας τα ευάλωτα σε άλλες μορφές φθοράς, όπως η ανάπτυξη της βλάστησης. Επιπλέον, η έλλειψη συντήρησης, ο βανδαλισμός και οι κακής ποιότητας επεμβάσεις συμβάλλουν επίσης στη φθορά των μνημείων, όπως αποδεικνύεται από την επικράτηση μορφών φθοράς όπως τμήματα που λείπουν από τα μνημεία, ο αποχρωματισμός, οι υγρές περιοχές, οι ρωγμές, η βλάστηση και οι οικοδομικές εργασίες (Gens, 2010).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

6. Διερεύνηση Συντήρησης και Δομικής Ακεραιότητας

6.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες και η Επίδρασή τους στα Μνημεία

Η στρωματογραφία και οι ιδιότητες του υπεδάφους διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων των μνημείων. Ανάλογα με τη γεωλογική διαδικασία που οδήγησε στο σχηματισμό του εδάφους ή το ιστορικό φόρτισης, τα προβλήματα που προκύπτουν μπορεί να κυμαίνονται σε σοβαρότητα. Παράγοντες όπως η ανομοιόμορφη κατανομή της συμπιεστότητας, οι διακυμάνσεις στο πάχος των στρωμάτων του εδάφους ή οι θαμμένες κατασκευές μπορεί να προκαλέσουν σημαντική διαφορική καθίζηση στις κατασκευές. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κλίσεις, ρωγμές και, σε ακραίες περιπτώσεις, σε προβλήματα που αφορούν τη φέρουσα ικανότητα, ειδικά σε εκτεταμένες κατασκευές που υπόκεινται σε διαφορετικές συνθήκες φόρτισης (Sedmak et al., 2012).

Πολλά ιστορικά κτίρια και μνημεία για παράδειγμα, επηρεάζονται από θαμμένες προϋπάρχουσες δομές. Παράλληλα, πολλές κατασκευές είναι μερικώς χτισμένες πάνω σε ερείπια παλαιότερων κατασκευών. Η σύνθετη ιστορία της φόρτισης του εδάφους Από διάφορες κατασκευές σε διάφορες χρονικές στιγμές έχει ως αποτέλεσμα την ανομοιογένεια των μηχανικών ιδιοτήτων του υπεδάφους, ιδίως όσον αφορά τη συμπιεστότητα. Αυτό έχει προκαλέσει ανησυχητικές διαφορικές καθιζήσεις σε πολλά μνημεία. Επιπλέον, η βαθιά καθίζηση αδύναμων στρωμάτων μπορεί επίσης να επηρεάσει τις κατασκευές στην επιφάνεια, όπως στην περίπτωση του Sant Chad στην Αγγλία. Η κατανόηση των γεωτεχνικών συνθηκών του χώρου είναι, επομένως, ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της συμπεριφοράς ενός κτιρίου και την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων. Αν και η απόκτηση αυτών των πληροφοριών μπορεί να είναι δαπανηρή, είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των μνημείων και την αποφυγή δαπανηρών μέτρων αποκατάστασης στο μέλλον (Vicente et al., 2018).

6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δομική ακεραιότητα των μνημείων

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Η διατήρηση της δομικής ακεραιότητας των μνημείων απαιτεί ενδελεχή διερεύνηση των συνθηκών και των παραγόντων που επηρεάζουν την κατάστασή τους. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι φυσικοί ή ανθρωπογενείς και συχνά οδηγούν σε υπερβολικές παραμορφώσεις, αστάθεια ή άλλα προβλήματα που προέρχονται από το υπέδαφος. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η καθίζηση, ιδίως η διαφορική καθίζηση, η οποία μπορεί να προκαλέσει κλίσεις, ρωγμές και τελικά να θέσει σε κίνδυνο τη σταθερότητα της κατασκευής. Οι φυσικές καταστροφές, όπως οι σεισμοί, μπορούν να επιδεινώσουν αυτά τα προβλήματα επηρεάζοντας τις υπόγειες υποδομές και μεταβάλλοντας τις συνθήκες του υπεδάφους. Επιπλέον, η ικανότητα των μνημείων να αντέχουν φορτία μπορεί να διακυβευτεί από αλλαγές στις γεωτεχνικές συνθήκες, όπως έντονες βροχοπτώσεις ή πλημμύρες (Crăciunescu, 2020).

Τα λάθη που έγιναν κατά την αρχική κατασκευή, είτε στο σχεδιασμό είτε στην κατασκευή, μπορούν επίσης να συμβάλουν σε προβλήματα καθίζησης ή αστοχίας. Αυτά τα λάθη μπορεί να οφείλονται σε αρχιτεκτονικούς, γεωμετρικούς, δομικούς ή γεωτεχνικούς παράγοντες ή σε συνδυασμό αυτών. Οι αστοχίες σχεδιασμού μπορεί να προκύψουν από την ανεπαρκή εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους ή από την ατελή γνώση των χαρακτηριστικών του υπεδάφους. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, η χρήση υλικών χαμηλής ποιότητας, οι ανεπαρκείς συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων θεμελίωσης ή η έλλειψη συνέχειας μεταξύ της ανωδομής και της υποδομής, μπορεί να οδηγήσουν σε δομικές ατέλειες (Crăciunescu, 2020).

Οι αλλαγές στη χρήση ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια της ζωής του μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη σταθερότητά του. Οι τροποποιήσεις στη δομή, όπως η προσθήκη νέων τμημάτων ή η αλλαγή υλικών, μπορούν να μεταβάλλουν τη μεταφερόμενη στο θεμέλιο και στο υπέδαφος φόρτιση. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα φέρουσας ικανότητας ή σε διαφορική καθίζηση. Για να διασφαλιστεί η μακροζωία ενός μνημείου, η σωστή συντήρηση και η προσεκτική αξιολόγηση των συνθηκών σταθερότητας πριν από τυχόν εργασίες αποκατάστασης είναι ζωτικής σημασίας (Sedmak et al., 2012).

6.3 Σεισμική Επίδραση στα Μνημεία

Οι σεισμοί αποτελούν διαχρονικά μια σημαντική απειλή για τα ιστορικά μνημεία, προκαλώντας απώλεια ζωών και καταστροφή. Παρόλο που πολλά μνημεία έχουν αντέξει σε σεισμούς χάρη στη στιβαρότητα και την εγγενή τους ανθεκτικότητα, η ευπάθειά τους σε σεισμικές δονήσεις εξακολουθεί να αποτελεί ανησυχία. Τα ιστορικά μνημεία, που είναι συχνά άκαμπτες κατασκευές από τοιχοποιία με βαριές στέγες, μπορεί να είναι λιγότερο ευάλωτα σε

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

σεισμούς σε σύγκριση με τα ψηλότερα κτίρια. Ωστόσο, οι βαριές στέγες τους μπορεί να υποστούν ζημιές και να προκαλέσουν ζημιές κατά τη διάρκεια έντονων σεισμών. Επιπλέον, οι σεισμοί μπορούν να επηρεάσουν τις υπόγειες υποδομές, οδηγώντας σε διαρροές στα συστήματα διανομής και αποχέτευσης, οι οποίες μπορούν να μεταβάλλουν τις συνθήκες του εδάφους (Roca, 2011).

Η ευπάθεια ενός μνημείου στους σεισμούς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ένταση του σεισμού, οι τοπικές συνθήκες του υπεδάφους, το μέγεθος του σεισμού, η απόσταση από το επίκεντρο και τα αποτελέσματα του χώρου. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του ίδιου του μνημείου, όπως η προσθήκη μάζας με την πάροδο του χρόνου, τα προβλήματα που σχετίζονται με τα κατασκευαστικά υλικά και τις τεχνικές, η κατάσταση συντήρησης και οι προηγούμενες καθιζήσεις, μπορούν να επηρεάσουν την ευπάθειά του (Vicente et al., 2018).

Το υπέδαφος παίζει σημαντικό ρόλο στον τρόπο με τον οποίο οι κατασκευές αντιδρούν σε έναν σεισμό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρξει υπερβολική καθίζηση ή απώλεια φέρουσας ικανότητας, όπως σε χαλαρές άμμους. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρξουν τοπικές ενισχύσεις της κίνησης του εδάφους, όπως συμβαίνει συχνά στις αργιλικές αποθέσεις. Η κατανόηση αυτών των γεωτεχνικών παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση και τη μείωση της ευπάθειας των ιστορικών μνημείων σε σεισμικές δονήσεις (Sedmak et al., 2012).

6.4 Η Μεταβολή της Περιεκτικότητας του Νερού στο Έδαφος

Η μεταβολή της περιεκτικότητας του νερού στο έδαφος μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη δομική ακεραιότητα των μνημείων. Το στέγνωμα του εδάφους, που προκαλείται από παράγοντες όπως η ηλιακή θέρμανση ή η εισαγωγή βλάστησης, μπορεί να οδηγήσει σε καθίζηση. Ενώ τα ελαφριά κτίρια είναι πιο ευάλωτα σε τέτοια καθίζηση, ακόμη και οι άκαμπτες κατασκευές όπως τα μνημεία μπορεί να επηρεαστούν. Η έντονη ξήρανση μπορεί να προκαλέσει συρρίκνωση και ρωγμές στο έδαφος. Η επακόλουθη διείσδυση του νερού της βροχής σε αυτές τις ρωγμές μπορεί να οδηγήσει σε εσωτερική διάβρωση και αστάθεια. Η βλάστηση, ιδίως τα δέντρα με εκτεταμένα ριζικά συστήματα, μπορεί να επιδεινώσει το στέγνωμα του εδάφους απορροφώντας σημαντικές ποσότητες νερού (Lourenço, 2006).

Η άντληση νερού από το έδαφος, συχνά λόγω της υπερβολικής άντλησης από τους υδροφόρους ορίζοντες, είναι μια άλλη σημαντική αιτία καθίζησης. Καθώς μειώνεται η στάθμη των

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

υπόγειων υδάτων, μειώνονται και οι πιέσεις των πόρων στο έδαφος, με αποτέλεσμα την αύξηση του αποτελεσματικού φορτίου και την αλλαγή των παραμέτρων του εδάφους, όπως η αντίσταση στη διάτμηση και η συμπιεστότητα. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως περιφερειακή καθίζηση, έχει προκαλέσει προβλήματα σε μνημεία σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως (Zaki et al., 2008).

Αντίθετα, η αύξηση της περιεκτικότητας του νερού στο έδαφος μπορεί επίσης να προκαλέσει προβλήματα. Η αποψίλωση των δέντρων, το γέμισμα μιας δεξαμενής ή οι πλημμύρες μπορούν να αυξήσουν την υγρασία του εδάφους, οδηγώντας σε άνοδο της στάθμης των υπόγειων υδάτων και σε μεταβολή των αποτελεσματικών τάσεων. Αυτό μπορεί να βλάψει τις υπόγειες κατασκευές, προκαλώντας οξείδωση, υποβάθμιση, ακόμη και την εμφάνιση κοιλοτήτων στα θεμέλια. Η άνοδος της στάθμης των υπογείων υδάτων μπορεί επίσης να αυξήσει την ευαισθησία του εδάφους σε ρευστοποίηση και να προκαλέσει ανοδική άνωση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε διείσδυση σε υπόγειες κατασκευές (Lourenço, 2006).

6.5 Επίδραση των Παρακείμενων Κατασκευών στα Μνημεία

Η αλληλεπίδραση μεταξύ ενός ιστορικού μνημείου και των γύρω κατασκευών μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα καθίζησης, συμπεριλαμβανομένης της διαφορικής καθίζησης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια. Αυτό το ζήτημα είναι συχνό σε ιστορικά μνημεία που βρίσκονται σε αστικές περιοχές που αναπτύσσονται ραγδαία. Καθώς οι πόλεις επεκτείνονται, τα παλαιότερα κτίρια μπορεί να βρεθούν δίπλα σε νεότερες κατασκευές, οι οποίες, λόγω του βάρους ή του τύπου των θεμελίων τους, μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των παλαιότερων κτιρίων προκαλώντας καθίζηση, κλίσεις ή περιστροφές (Vicente et al., 2018).

Παρόλο που το πρόβλημα των παρακείμενων κατασκευών μπορεί να μην γίνει αισθητό αμέσως μετά την ολοκλήρωση ενός νέου κτιρίου, μπορεί να γίνει σημαντικό μακροπρόθεσμα. Η κατανόηση και η αντιμετώπιση αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της σταθερότητας και της ακεραιότητας των ιστορικών μνημείων (Sedmak et al., 2022).

6.6 Εκτίμηση Δομικής Ακεραιότητας

Η δομική εκτίμηση των ιστορικών μνημείων είναι η αξιολόγηση των συλλεχθέντων δεδομένων που σχετίζονται με την ασφάλεια του μνημείου, με στόχο να αποφασιστεί αν η δομική του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

ασφάλεια είναι επαρκής ή όχι. Είναι μια ουσιαστική φάση μιας επέμβασης αποκατάστασης, διότι τότε αποφασίζεται αν είναι απαραίτητα μέτρα και σε ποια έκταση (Roca, 2011).

Η δομική εκτίμηση του μνημείου βασίζεται συνήθως στη μοντελοποίηση της δομικής του συμπεριφοράς, στην οποία, όπως και για τα νέα κτίρια, μέσω ορισμένων υποθέσεων, προσδιορίζονται και συνδυάζονται οι επιπτώσεις των δράσεων στο μνημείο, ενώ τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την αντοχή του μνημείου (ή σε στρατηγικά σημεία του μνημείου) (Zaki et al., 2008).

Ωστόσο, λόγω των ιδιαιτεροτήτων των ιστορικών μνημείων, υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στις διαδικασίες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν τόσο στη δομική μοντελοποίηση όσο και στον έλεγχο ασφαλείας, σε σύγκριση με τα νέα κτίρια. Όσον αφορά τη μοντελοποίηση του μνημείου, πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω των απλουστεύσεων που είναι γενικά αναγκαίο να υιοθετηθούν και της πιθανής έλλειψης γνώσης σχετικά με τα γεγονότα στα οποία έχει υποβληθεί το μνημείο στο παρελθόν, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι γενικά λιγότερο αξιόπιστα από ό,τι θα ήταν στην περίπτωση του σχεδιασμού νέων κτιρίων (Carpinteri & Lacidogna, 2006).

Κατά τον καθορισμό του απαιτούμενου επιπέδου ασφάλειας των ιστορικών μνημείων, θα πρέπει να υιοθετείται μια ολιστική και ευέλικτη προσέγγιση, κατά τρόπο ώστε, για να διασφαλιστεί η ασφάλειά τους, τα μέτρα ενίσχυσης που θα πραγματοποιηθούν να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο και η απώλεια της πολιτιστικής αξίας του μνημείου να ελαχιστοποιηθεί (Sedmak et al., 2022).

Έτσι, στα ιστορικά μνημεία, θα είναι αποδεκτά χαμηλότερα επίπεδα ασφάλειας από αυτά που προβλέπονται για τα νέα κτίρια, δεδομένου ότι θα είναι δυνατή η λήψη μέτρων για τη μείωση του κινδύνου που συνδέεται με τη μείωση του επιπέδου ασφάλειας, για παράδειγμα, με την υιοθέτηση περιορισμών στη χρήση του κτιρίου. Επιπλέον, στην περίπτωση που υιοθετούνται επίπεδα ασφάλειας ταυτόσημα με αυτά που προβλέπονται για τα νέα κτίρια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιμέρους συντελεστές τόσο για την αντοχή των υλικών όσο και για τις τιμές των δράσεων, χαμηλότεροι από αυτούς που προβλέπονται για τα νέα κτίρια, εάν ληφθεί υπόψη η υποτιθέμενη μείωση των αβεβαιοτήτων που συνδέονται με αυτές τις μεταβλητές (Roca, 2011).

Ο καθορισμός του επιπέδου ασφάλειας ενός ιστορικού μνημείου θα πρέπει, σε ειδικές περιπτώσεις, να υπόκειται σε ανάλυση κόστους-οφέλους, όπου το όφελος είναι η μείωση του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

κινδύνου και το κόστος είναι η πιθανή μείωση της πολιτιστικής αξίας του μνημείου που προκύπτει από την επέμβαση αποκατάστασης, εκτός από το κόστος της ίδιας της επέμβασης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην περίπτωση μνημείων με υψηλή πολιτιστική αξία, το επίπεδο ασφάλειας που θα υιοθετηθεί θα πρέπει πάντα να συμφωνείται μεταξύ του μελετητή, του ιδιοκτήτη και της αρμόδιας αρχής (Carpinteri & Lacidogna, 2006).

Το δομικό μοντέλο (ή τα μοντέλα) του μνημείου είναι το σύνολο των δομικών στοιχείων (εξαρτημάτων) που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της δομικής λειτουργίας του μνημείου. Το μοντέλο πρέπει να αναπαριστά επαρκώς τη δομική συμπεριφορά του μνημείου και τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτό, χρησιμοποιώντας μεθόδους υπολογισμού που είναι όσο το δυνατόν πιο εύκολα διαθέσιμες. Η διαδικασία μοντελοποίησης των ιστορικών μνημείων είναι παρόμοια με εκείνη των νέων κτιρίων, στην οποία, μέσω ορισμένων υποθέσεων, υπολογίζονται οι επιπτώσεις των δράσεων στο μνημείο (Lourenço, 2006).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μοντελοποίηση των ιστορικών μνημείων είναι, γενικά, πιο δύσκολη και λιγότερο αξιόπιστη από ό,τι στην περίπτωση των νέων κτιρίων. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως: η δυσκολία στην επαρκή μοντελοποίηση της δομής του, οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των υλικών που το αποτελούν σε ολόκληρο το κτίριο, η επίδραση προηγούμενων φαινομένων ή γεγονότων (όχι πάντα προφανών), καθώς και η ατελής γνώση σχετικά με τις αλλοιώσεις ή τις επισκευές που έγιναν στο παρελθόν (Zaki et al., 2008).

Εκτός από τη χαμηλότερη αξιοπιστία, τα δεδομένα που λαμβάνονται από τη μοντελοποίηση των ιστορικών μνημείων θα είναι πάντα χρήσιμα, δίνοντας τουλάχιστον τάσεις, όπως η κατεύθυνση και το μέγεθος των τάσεων, πιθανές κρίσιμες ζώνες κ.λπ. Η μοντελοποίηση θα είναι επίσης χρήσιμη στο σχεδιασμό της ενδεχόμενης ενίσχυσης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που ελήφθησαν με τη μοντελοποίηση του υφιστάμενου μνημείου με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν για το ίδιο μνημείο στο οποίο περιλαμβάνονται τα μέτρα ενίσχυσης που σχεδιάζονται (Roca, 2011).

Για τη μοντελοποίηση των ιστορικών μνημείων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα με διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας, ανάλογα με τη συγκεκριμένη κατάσταση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, και για μια προκαταρκτική αξιολόγηση, μπορούν να είναι χρήσιμα απλοποιημένα μοντέλα, βασισμένα σε απλές στατικές συνθήκες ισορροπίας, χειροκίνητοι υπολογισμοί ή γραφικές μέθοδοι. Ωστόσο, στις μέρες μας, οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι μοντελοποίησης είναι

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

οι αριθμητικές, με τη χρήση πλεγμάτων πεπερασμένων στοιχείων, κατάλληλων για την αναπαράσταση της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων του μνημείου (Zaki et al., 2008).

Υπάρχουν διάφορες υπολογιστικές μέθοδοι λογισμικού, διαθέσιμες στο εμπόριο για τη μοντελοποίηση ιστορικών μνημείων, τόσο στατικές όσο και δυναμικές, με ποικίλη πολυπλοκότητα. Για τα κοινά μνημεία, χρησιμοποιούνται σήμερα τα απλά επίπεδα (ή τρισδιάστατα) συστήματα διάτμησης πολλαπλών βαθμών ελευθερίας. Για μνημεία όπως μνημεία, εκκλησίες κ.λπ., θα είναι πιο κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί λογισμικό με πεπερασμένα στοιχεία συνεχούς μέσου (Roca, 2011).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάλυση μέσω σύνθετων μοντέλων είναι γενικά δαπανηρή, λόγω της προετοιμασίας των δεδομένων εισόδου και της εξέτασης της ποσότητας των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται. Επιπλέον, απαιτεί μεγάλη εμπειρία και διαίσθηση σχετικά με τη δομική συμπεριφορά των δομών των κτιρίων (Vicente et al., 2018).

Η δημιουργία του δομικού μοντέλου του μνημείου θα βασιστεί στην έρευνα του μνημείου και του περιβάλλοντός του. Όταν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με το μνημείο, όπως απομνημονεύματα, σχέδια, φωτογραφίες κ.λπ., μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά θα πρέπει να επιβεβαιωθούν, τουλάχιστον εν μέρει. Στην περίπτωση μνημείων που έχουν σημαντικές ρωγμές, θα είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν μοντέλα που μπορούν να προσομοιώσουν τις ρωγμές. Όταν χρησιμοποιούνται μη γραμμικά μοντέλα, οι σχέσεις των συστατικών των στοιχείων θα πρέπει να βασίζονται στα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τις μηχανικές δοκιμές που διεξάγονται για τον χαρακτηρισμό των δομικών υλικών, ακόμη και αν υπάρχουν σήμερα πολλές πληροφορίες σχετικά με τα υλικά πολιτιστικής κληρονομιάς (Carpinteri & Lacidogna, 2006).

Οι μηχανικές ιδιότητες των δομικών υλικών που θα υιοθετηθούν στη μοντελοποίηση του μνημείου θα προκύπτουν, κατ' αρχήν, από τα αποτελέσματα κατάλληλων δοκιμών. Ελλείψει αποτελεσμάτων δοκιμών, οι αντοχές μπορούν να καθοριστούν από τη σύγκριση με άλλα μνημεία ή ακόμη και από βάσεις δεδομένων, αλλά, σε αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συντηρητικές τιμές. Όταν διεξάγονται δοκιμές, ο αριθμός τους θα είναι, γενικά, πολύ περιορισμένος, οπότε θα πρέπει να διεξαχθούν δοκιμές αναγνώρισης των συνθηκών των δομικών υλικών σε στρατηγικά σημεία του μνημείου. Οι δοκιμές αναγνώρισης θα είναι επίσης απαραίτητες όταν οι μηχανικές ιδιότητες των δομικών υλικών εκτιμώνται από τη σύγκριση με άλλα μνημεία (Sedmak et al., 2012).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών, ιδίως η αντοχή, υπόκεινται σε υποβάθμιση με την πάροδο του χρόνου, λόγω χημικών, φυσικών ή βιολογικών δράσεων, και, επομένως, μπορεί να ποικίλουν από σημείο σε σημείο του μνημείου. Η υποβάθμιση αυτή μπορεί να εκδηλωθεί στην επιφάνεια, έτσι ώστε να γίνεται εμφανής κατά την οπτική επιθεώρηση (ρωγμές, διάβρωση κ.λπ.), αλλά, μερικές φορές, η φθορά μπορεί να εντοπιστεί μόνο μέσω προσεκτικών επιθεωρήσεων, όπως στην περίπτωση βλαβών σε τοίχους που καλύπτονται με σοβά ή η προσβολή από τερμίτες σε ξύλινα στοιχεία, για παράδειγμα (Roca, 2011).

Όσον αφορά την αντοχή, οι τιμές που θα ληφθούν υπόψη για τα δομικά υλικά θα είναι οι χαρακτηριστικές τιμές. Μπορούν να καθοριστούν σε τοπικό επίπεδο, για τμήματα του μνημείου, ή, συνολικά, για ολόκληρο το μνημείο. Γενικά, υποτίθεται ότι οι κατανομές είναι κανονικές, με την χαρακτηριστική τιμή να προκύπτει από τη μέση τιμή και τον συντελεστή μεταβλητότητας, λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του δείγματος. Καθώς ο αριθμός των δοκιμίων είναι γενικά πολύ μικρός, υιοθετούνται απλουστεύσεις. Σε γενικές γραμμές, η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής του δομικού υλικού θεωρείται το ελάχιστο δύο τιμών, η ελάχιστη τιμή του δείγματος ή η μέση τιμή του δείγματος, διαιρούμενη με το 1,2. Το δείγμα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον δύο τιμές. Οι τιμές σχεδιασμού θα προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές τιμές τροποποιώντας τες με μερικούς παράγοντες, που ονομάζονται συντελεστές εμπιστοσύνης. Οι συντελεστές εμπιστοσύνης σχετίζονται με την αβεβαιότητα που συνδέεται με τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αυτών τιμών, επομένως θα εξαρτώνται από την ποιότητα και την έκταση των πληροφοριών. Οι συντελεστές εμπιστοσύνης θα λαμβάνουν επίσης υπόψη την αξιοπιστία της γεωμετρικής επισκόπησης του μνημείου (Zaki et al., 2008).

Οι δράσεις που μπορούν να προκύψουν σε ιστορικά μνημεία είναι οι μηχανικές (δυνάμεις, παραμορφώσεις κ.λπ.) που παράγουν τάσεις και παραμορφώσεις στα δομικά στοιχεία του μνημείου ή τα φαινόμενα χημικής, φυσικής ή βιολογικής φύσης που μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες των υλικών. Όσον αφορά τις επιπτώσεις αυτών των φαινομένων, λαμβάνονται γενικά υπόψη μέσω κατάλληλων μειώσεων των τιμών αντοχής των προσβεβλημένων υλικών (Lourenço, 2006).

Οι τιμές των μόνιμων φορτίων προκύπτουν, κατ' αρχήν, από την αποτύπωση της γεωμετρίας και της κατασκευής του μνημείου. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες πληροφορίες, όπως σχέδια, φωτογραφίες κ.λπ., αλλά θα πρέπει να επαληθευτούν, τουλάχιστον

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

εν μέρει. Όσον αφορά τις μεταβλητές δράσεις, οι τιμές που προβλέπονται στους κώδικες για τις νέες κατασκευές θα υιοθετούνται, κατ' αρχήν. Στην περίπτωση της σεισμικής δράσης, ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλότερες τιμές. Όσον αφορά την ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς, θα αντιμετωπίζεται, κατ' αρχήν, με τον ίδιο τρόπο όπως και στο σχεδιασμό των νέων κατασκευών. Σε περίπτωση αμφιβολίας, η καλύτερη λύση θα είναι η υιοθέτηση μέτρων προστασίας των δομικών στοιχείων, αντί της ενίσχυσής τους (Sedmak et al., 2012).

Οι σεισμοί είναι οι δράσεις που συνήθως προκαλούν καταστροφικές επιπτώσεις στα ιστορικά μνημεία, όχι μόνο λόγω της έντασης της δράσης, αλλά και επειδή, γενικά, δεν έχουν ληφθεί υπόψη κατά την κατασκευή του μνημείου. Οι επιπτώσεις αυτές θα εξαρτηθούν από τη θέση του μνημείου, τα χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης και τα χαρακτηριστικά του ίδιου του μνημείου. Ωστόσο, πολλά ιστορικά μνημεία έχουν αντέξει σε σεισμούς με περιορισμένες μόνο ζημιές, ακόμη και όταν η αντοχή τους, που υπολογίζεται με βάση τις πειραματικά ληφθείσες μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας, δεν πληρούσε πλήρως τις απαιτήσεις των κωδίκων (Carpinteri & Lacidogna, 2006).

Αυτό το εύρημα επιτρέπει τη μείωση των τιμών της επιτάχυνσης του εδάφους εάν ληφθούν υπόψη η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής, η κατηγορία του κτιρίου και η χρήση του, καθώς και το πραγματικό επίπεδο σεισμικότητας του τόπου. Πρώτον, η σεισμική δράση αναφοράς θα πρέπει να βασίζεται στις πραγματικές συνθήκες του χώρου, αποφεύγοντας τον άκαμπτο τρόπο υποδιαίρεσης σε σεισμικές ζώνες, ενδεχομένως, πραγματοποιώντας τη μικροζωνοποίηση του χώρου. Επιπλέον, το επίπεδο αναφοράς της σεισμικής προστασίας θα πρέπει να επιλέγεται με βάση τη σημασία του κτιρίου και τις συνθήκες χρήσης (Sedmak et al., 2012).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

7. Παραδείγματα και εφαρμογές

7.1 Ο Πύργος του Ρολογιού στο Prilep

Ο Πύργος του Ρολογιού στο Prilep χτίστηκε το 1858, στη θέση ενός παλαιότερου ξύλινου Πύργου του Ρολογιού, ο οποίος κάηκε ολοσχερώς. Είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό κτίριο στην περιοχή των Βαλκανίων. Είναι μια μοναδική κατασκευή αυτού του είδους που έχει διατηρηθεί μέχρι σήμερα στην αυθεντική αρχιτεκτονική και δομική της μορφή (Sesov et al., 2013).

Εικόνα 8: Ο πύργος του Ρολογιού (https://www.tripadvisor.it/Tourism-g612443-Prilep_Pelagonia_Region-Vacations.html)

Ένα πρόβλημα που πρέπει να λυθεί το συντομότερο δυνατό είναι η εμφανής κλίση του πύργου, δηλαδή η μετατόπιση του κατακόρυφου άξονα ως προς την κατακόρυφο σε δυτική και νοτιοδυτική κατεύθυνση, με την οποία διαταράσσεται η υπάρχουσα σταθερότητα του πύργου σε στατικές και ιδιαίτερα δυναμικές συνθήκες. Από το 1998, έχουν πραγματοποιηθεί διαφορετικά είδη ερευνητικών εργασιών με σκοπό την ακριβή μέτρηση της έκτασης και της κατεύθυνσης της κλίσης και τον προσδιορισμό των αιτιών αυτού του προβλήματος (Sesov et al., 2013).

Προκειμένου να αναλυθεί η υπάρχουσα κατασκευή μαζί με τις εδαφικές συνθήκες, εφαρμόζεται μια πιο λεπτομερής μέθοδος που αναλύθηκε από τον Wolf το 1985. Η εφαρμογή της αρχής της υπέρθεσης, στην περίπτωση γραμμικών δηλαδή ισοδύναμων γραμμικών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

μεθόδων, επιτρέπει την δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής να αναλυθεί σε φάσεις, έτσι ώστε κάθε φάση να λύνεται ανεξάρτητα. Ως πρώτο βήμα αναλύονται τα δομικά στοιχεία του πύργου όπου το έδαφος προσομοιώνεται με ελατήρια ακαμψίας, και ως δεύτερο βήμα αναλύονται οι συνθήκες τάσης-παραμόρφωσης στο έδαφος μαζί με την θεμελίωση όπου ο πύργος προστίθεται ως συνεχές φορτίο (Sesov et al., 2013).

Το κύριο μοντέλο έχει αναλυθεί για τις επιπτώσεις του ίδιου βάρους του πύργου και των σεισμικών δυνάμεων σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς. Οι επιπτώσεις των σεισμικών δυνάμεων αυξάνουν την κλίση προς την κατεύθυνση καθώς και μειώνουν τον συνολικό συντελεστή ασφάλειας. Η γωνία κλίσης του πύργου σε αυτή την περίπτωση των επιπτώσεων έχει αυξηθεί κατά 40% σε σχέση με τις επιπτώσεις μόνο λόγω του ίδιου βάρους. Αυτή η κατάσταση δείχνει ξεκάθαρα ότι η ικανότητα της υπάρχουσας κατάστασης είναι περιορισμένη και ότι η παραμορφωτική ικανότητα του πύργου μαζί με το έδαφος θεμελίωσης εξαντλείται ως προς τη διατήρηση ενός ικανοποιητικού επιπέδου ασφάλειας. Ως εκ τούτου, ελήφθη η απόφαση για την ενίσχυση του Πύργου (Sesov et al., 2013).

Η κύρια ιδέα αυτής της τεχνικής λύσης για την ενίσχυση είναι η μείωση και η πρόληψη περαιτέρω ανεξέλεγκτης κλίσης του πύργου μέσω πρόσθετων δομικών στοιχείων (μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα, πλάκα πασσάλων και πάσσαλοι) που συνδέονται και αποτελούν ενιαία κατασκευή. Αυτή η δομική μονάδα επιτρέπει τη μεταφορά πρόσθετων φορτίων σε εδαφικά στρώματα με καλά χαρακτηριστικά αντοχής-παραμορφωσιμότητας και παρέχει, ταυτόχρονα, την απαιτούμενη σταθερότητα και ασφάλεια του Πύργου υπό σεισμικά φορτία που, στην περίπτωση της παρούσας κλίσης, μπορεί να προκαλέσουν καταστροφικές συνέπειες (Sesov et al., 2013).

7.2 Ο Καθεδρικός Ναός της Pienza

Ο καθεδρικός ναός της Pienza είναι ένα μνημείο που έχει υποστεί πολλές εργασίες ενίσχυσης και σταθεροποίησης λόγω των συνεχών καθιζήσεων του εδάφους θεμελίωσης κάτω από την αψίδα του. Το 1459, ο Πάπας Πίος Β' αποφάσισε να αναβαθμίσει την γενέτειρά του με την κατασκευή ενός καθεδρικού ναού. Οι εργασίες για την κατασκευή του νέου καθεδρικού ναού ξεκίνησαν το 1459 και ολοκληρώθηκαν σε μόλις τρία χρόνια. Για να εξασφαλιστεί ότι ο καθεδρικός ναός θα είχε τις κατάλληλες αναλογίες χωρίς να περιορίζεται το μέγεθος της κεντρικής πλατείας, ο αρχιτέκτονας Bernardo Rossellino επέκτεινε τη διάταξή του πέρα από τα τείχη του χωριού και τον πύργο από ψαμμίτη που τον οριοθετεί προς την κοιλάδα Orcia. Η

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

αψίδα, με την υποκείμενη κρύπτη, είχε τα θεμέλιά της κατηφορικά από τον γκρεμό όπου η στάθμη του εδάφους είναι περίπου 15 μέτρα χαμηλότερα (Calabresi, 2013).

Η κατασκευή της αψίδας αντιμετώπισε σημαντικές και απροσδόκητες δυσκολίες. Στα απομνημονεύματά του, ο Πάπας έγραψε ότι το επίπεδο θεμελίωσης στηρίζεται σε βραχώδεις μάζες που διασχίζονταν από μεγάλες ρωγμές και ότι μεγάλες καμάρες χτίστηκαν πάνω από αυτές για να στηρίξουν τα θεμέλια. Ορισμένες ρωγμές εμφανίστηκαν στους τοίχους της αψίδας πριν από την ολοκλήρωση των κατασκευαστικών εργασιών, αλλά ο Rossellino τις απέδωσε στη ρύθμιση του κονιάματος. Η εκκλησία εγκαινιάστηκε στις 29 Αυγούστου 1462. Σύντομα εμφανίστηκαν νέες ρωγμές μεταξύ του κυρίως ναού και της αψίδας και στην υποκείμενη κρύπτη. Από τότε, για πέντε αιώνες, υπήρξε μια αδιάκοπη διαδοχή φαινομένων αστάθειας και εργασιών σταθεροποίησης κάτω από τα θεμέλια (Calabresi, 2013).

Εικόνα 9: Ο καθεδρικός Ναός της Pienza (https://en.wikipedia.org/wiki/Pienza_Cathedral#/media/File:Dom_Fassade3-_s.jpg)

Όλα αυτά τα μέτρα κατέστησαν αναγκαία από τη συνεχή μείωση της θεμελίωσης της αψίδας κατηφορικά από τον βράχο: υπάρχουν στοιχεία ότι μεταξύ 1520 και 1530 το δάπεδο της αψίδας ήταν ήδη χαμηλότερο από αυτό του κυρίως ναού κατά περίπου 27 εκατοστά. Μια ξαφνική

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

καθίζηση περίπου 0,3 μέτρων του εδάφους κατηφορικά από τον γκρεμό σημειώθηκε τη νύχτα της 26ης Νοεμβρίου 1545 και προκάλεσε την μερική κατάρρευση της αψίδας και του καμπαναριού. Το γεγονός, που περιγράφεται στα απομνημονεύματα ενός πολίτη της Pienza, ορίζεται ως Terrae motus (κυριολεκτικά μια κίνηση της γης), αλλά υπάρχουν αμφιβολίες για το αν επρόκειτο για σεισμό ή για ξαφνικό φαινόμενο αστάθειας πλαγιάς, πιθανώς που προκλήθηκε από σεισμική δόνηση. Προς το παρόν, η συνολική υψομετρική διαφορά της αψίδας σε σχέση με τον κυρίως ναό είναι περίπου ένα μέτρο (Calabresi, 2013).

Το φαινόμενο αποδίδεται πάντα στην κακή ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης, στις πολλές ρωγμές του και στις επιπτώσεις των υπόγειων υδάτων. Η μόνη εξαίρεση είναι μια έκθεση για την αστάθεια με ημερομηνία 1604, στην οποία ένας αρχιτέκτονας, ο A. Sandrini, έχοντας παρατηρήσει ότι οι ρωγμές της επιφάνειας της γης που προκλήθηκαν από τις μετατοπίσεις του 1545 ήταν ευθυγραμμισμένες με τον γκρεμό και εκτείνονταν σε όλη τη νότια πλευρά του χωριού, δήλωσε ότι η καθίζηση της αψίδας οφειλόταν στην κίνηση της πλαγιάς. Αυτή η ερμηνεία του φαινομένου έχει αγνοηθεί συστηματικά (Calabresi, 2013).

7.3 Ο Τοίχος του Κρονίου Λόφου

Ο τοίχος αντιστήριξης των θησαυρών του Ιερού της Ολυμπίας αποτελεί το βόρειο τμήμα του περιβόλου του ιερού και συγκρατεί την πλαγιά του Κρονίου λόφου. Το υλικό κατασκευής των θόλων του τοίχου είναι ασβεστόλιθος. Ένας επαρχιακός δρόμος διέρχεται ανάντη του τείχους. Ο τοίχος κατασκευάστηκε πιθανότατα στο δεύτερο μισό του 4ου αιώνα. Πολλές κατολισθήσεις συνέβησαν και διαδοχικές επισκευές, μέχρι και τους ρωμαϊκούς αυτοκρατορικούς χρόνους. Μετά την καταστροφή του Ιερού της Ολυμπίας, πιθανώς το 426 μ.Χ., κατολισθήσεις και πλημμύρες κάλυψαν σιγά σιγά με προσχώσεις όλα τα αρχαία μνημεία, συμπεριλαμβανομένου του αναλημματικού τοίχου των Θησαυρών, που ήρθαν ξανά στο φως κατά τις ανασκαφές του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου τα έτη 1875-1881 (Tsatsanifos, 2023).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Εικόνα 10: Ο τοίχος του Κρονίου λόφου (https://shorturl.at/D1R7N)

Οι ωθήσεις της γης και οι ρίζες των δέντρων στην πλαγιά προκάλεσαν παραμόρφωση της αρχικής γεωμετρίας του τοίχου και έχουν καταστρέψει τμήματα του τοίχου. Διεξήχθη λεπτομερής επιτόπια αναγνώριση, η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει ολίσθηση (ή σχεδόν ολισθαίνουσα κατάσταση), με την επιφάνεια αστοχίας να διέρχεται κάτω από τον τοίχο, την κορυφή κάτω από τον ανάντη δρόμο και το πέλμα στο βόρειο όριο των θεμελίων των Θησαυρών (Tsatsanifos, 2023).

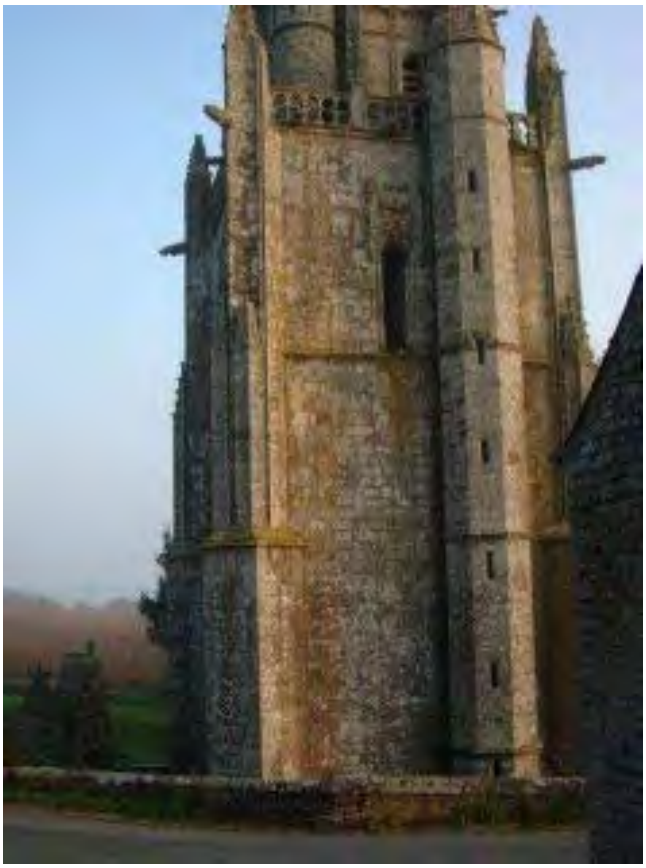
Με βάση τα ευρήματα αυτά, διεξήχθη λεπτομερής γεωτεχνική ανάλυση προκειμένου να διερευνηθεί η τρέχουσα ευστάθεια του τοίχου αντιστήριξης και της ανάντη κλίσης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η περιοχή του Κρόνιου λόφου ανάντη του δρόμου βρίσκεται σε κατάσταση επιφανειακής αστάθειας σύμφωνα με τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις. Ωστόσο, οι συντελεστές ασφαλείας για την ιστορική φόρτιση σεισμού είναι οριακά ανεπαρκείς και απολύτως ανεπαρκείς λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή στάθμη του νερού πίσω από την πλαγιά, καθώς και τον κανονιστικό σεισμό. Οι τοπικές αστάθειες ανάντη του τείχους εμφανίζονται συστηματικά για όλες τις αναλυόμενες διατομές και για όλες τις καταστάσεις φορτίου (Tsatsanifos, 2023).

7.4 Το Παρεκκλήσι του Αγίου Νικοδήμου

Το παρεκκλήσι του Αγίου Νικοδήμου στη Γαλλία, που χτίστηκε μεταξύ 1520 και 1539, υπέστη ρωγμές λόγω προβλημάτων στα θεμέλια του πύργου. Μια έρευνα το 1926 αποκάλυψε ότι το

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

χαλαρό έδαφος από σχιστόλιθο ήταν η πιθανή αιτία. Οι ενέσεις σκυροδέματος χαμηλής πίεσης έγιναν μεταξύ 1927 και 1930 για τη σταθεροποίηση του υπεδάφους, αλλά το 1972 εντοπίστηκε κλίση του παρεκκλησιού (Berengo, 2013).



Εικόνα 11: Η κλίση στο παρεκκλήσι του Αγίου Νικοδήμου (Berengo, 2013).

Λόγω της σοβαρής ζημιάς, η αποκατάσταση περιελάμβανε τόσο τη βελτίωση του εδάφους όσο και την αποκατάσταση του τοίχου μέσω ενέσεων ρητίνης. Η μέθοδος βελτίωσε το έδαφος, και γέμισε τα κενά στους τοίχους με συγκεκριμένη ρητίνη η οποία επηρέθηκε γιατί έχει παρόμοιες ιδιότητες με το κονίαμα (Berengo, 2013). Η επέμβαση, που πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις το 2009, συνοδεύτηκε και από δοκιμές πριν και μετά, οι οποίες έδειξαν σημαντική βελτίωση στις ιδιότητες του εδάφους (Berengo, 2013).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Συμπεράσματα

Η γεωτεχνική μηχανική αναδεικνύεται ως ένας κρίσιμος παράγοντας για τη διατήρηση και προστασία των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Η σημασία της έγκειται στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης των κατασκευών με το γεωλογικό περιβάλλον, καθώς και στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν από αυτήν την αλληλεπίδραση. Οι βασικές αρχές και πρακτικές της γεωτεχνικής μηχανικής συμβάλλουν καθοριστικά στην προστασία και αποκατάσταση των μνημείων.

Η μελέτη των εδαφικών ιδιοτήτων και των γεωλογικών διεργασιών επιτρέπει στους γεωτεχνικούς μηχανικούς να αξιολογήσουν τη σταθερότητα, την ανθεκτικότητα και τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των μνημείων. Η ανάλυση των γεωλογικών συνθηκών, των υπόγειων υδάτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των παραγόντων που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τη δομική ακεραιότητα των μνημείων.

Η γεωτεχνική μηχανική, εξετάζοντας τις ιδιαιτερότητες του υπεδάφους, τις ιδιότητες των πετρωμάτων και τις γεωλογικές διεργασίες που συμβαίνουν σε ένα συγκεκριμένο χώρο, μπορεί να εντοπίσει πιθανούς κινδύνους για τα μνημεία, όπως η παρουσία ασταθών εδαφών, η ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων ή η αυξημένη σεισμικότητα της περιοχής, που μπορούν να αποτελέσουν σοβαρές απειλές για τη στατικότητα και την ασφάλεια των μνημείων.

Η ολοκληρωμένη προσέγγιση της γεωτεχνικής μηχανικής, που συνδυάζει τη γεωλογική γνώση με τις αρχές της μηχανικής και της περιβαλλοντικής επιστήμης, επιτρέπει στους γεωτεχνικούς μηχανικούς να αναπτύξουν εξειδικευμένες λύσεις για την προστασία των μνημείων. Οι λύσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την ενίσχυση των θεμελίων, τη βελτίωση της αποστράγγισης, την προστασία από τη διάβρωση, ή την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών για την παρακολούθηση της κατάστασης των μνημείων σε πραγματικό χρόνο.

Η γεωτεχνική μηχανική αναδεικνύεται σε ένα σημαντικό εργαλείο στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει η κλιματική αλλαγή στη διατήρηση των μνημείων, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η αυξημένη συχνότητα και ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων και η μεταβολή των βροχοπτώσεων και των μοτίβων υγρασίας. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, μελετώντας διεξοδικά τις επιπτώσεις αυτών των φαινομένων στο έδαφος, τα υπόγεια ύδατα και τα θεμέλια των μνημείων, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για την ελαχιστοποίηση των ζημιών και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης διατήρησής τους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Τέλος, η γεωτεχνική μηχανική, πέρα από την πρόληψη και την αντιμετώπιση των κινδύνων που απειλούν τα μνημεία, αποτελεί και έναν πολύτιμο σύμμαχο στην προσπάθεια για την αποκατάσταση και την ενίσχυση των μνημείων που έχουν υποστεί ζημιές. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί, αξιοποιώντας τη βαθιά γνώση των εδαφικών ιδιοτήτων και των γεωλογικών διεργασιών, καθώς και την εξειδίκευσή τους σε ένα ευρύ φάσμα τεχνικών, μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην επαναφορά των μνημείων στην αρχική τους κατάσταση, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη μακροπρόθεσμη σταθερότητά τους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνόγλωσσες

Αλαμανής Ν. (2006). Συμπληρωματικές σημειώσεις και ασκήσεις στην εδαφομηχανική ΙΙ (Θεμελιώσεις τεχνικών έργων). Τμήμα Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας.

Αλαμανής, Ν. Ο. (2017). Επίδραση της χωρικής μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του εδάφους στις μόνιμες σεισμικές μετατοπίσεις οδικών πρανών.

Μαλλούχου Tufano, Φ. (2016). Προστασία και Διαχείριση Μνημείων. Ιστορικές και θεωρητικές προσεγγίσεις. Kallipos

Παπαχαρίσης, Ν., Μάνου-Ανδρεάδη, Α. Μ., & Γραμματικόπουλος, Ι. (2015). Γεωτεχνική μηχανική.

Χατζηγώγος, Ν. Π. Θ. (2015). Συμβολή στη διερεύνηση των μηχανισμών αστοχίας υπολειμματικών εδαφών. *Προ/Μεταπτυχιακές Διατριβές στη Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ*.

Ξενόγλωσσες

Alfaro, M., Blatz, J., & Graham, J. (2008). Refining geotechnical education to reflect modern engineering practice. In *Proc., 61st Canadian Geotechnical Conf* (pp. 1075-1082).

Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. M. (2016). Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering.

Berengo, V. (2013). Ground improving injections underneath historical buildings: Five case histories as an overview of a technique. *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, London p*, *165*, 174.

Brinkgreve, R. B. (2005). Selection of soil models and parameters for geotechnical engineering application. In *Soil constitutive models: Evaluation, selection, and calibration* (pp. 69-98).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundations*. John Wiley and Sons.

Burland, C. B. E. (2006). geotechnical engineers. *Structural Engineer*.

Calabresi, G. (2013). The role of Geotechnical Engineers in saving monuments and historic sites. In *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 71e83*.

Caputo, V. (2003). The role of geotechnical engineering in the preservation of our architectural heritage. *WIT Transactions on The Built Environment*, *66*.

Carpinteri, A., & Lacidogna, G. (2006). Structural monitoring and integrity assessment of medieval towers. *Journal of Structural Engineering*, *132*(11), 1681-1690. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:11(1681)

Carter, M., & Bentley, S. P. (2016). *Soil properties and their correlations*. John Wiley & Sons.

Cassar, M., Brimblecombe, P., Nixon, T., Price, C., Sabbioni, C., Saiz Jimenez, C., & Van Balen, K. (2001). Technological requirements for solutions in the conservation and protection of historic monuments and archaeological remains.

Chowdhury, R., & Flentje, P. (2007). Perspectives for the future of Geotechnical Engineering.

Ciancia, A. J. (2019). CE 341-101: Principles of Geotechnical Engineering.

Cleere, H. (2020). Introduction: the rationale of archaeological heritage management. In *Archaeological Heritage Management* (pp. 1-19). Routledge.

Crăciunescu, A. (2020). To Move and Reconstruct Monuments–Conflicts with Authenticity and Integrity. *PLURAL. History. Culture. Society. Journal of History and Geography Department,,Ion Creangă" State Pedagogical University*, *8*(1), 27-47.

Dąbska, A. (2023). The geotechnical works impact on the technical state of historic monuments. In *Geo-SAKURA2023, The International Workshop ATC19, Asian Technical Committee on Geotechnical Engineering for Conservation of Cultural Heritage*.

Darvill, T. (2014). *Ancient monuments in the countryside: an archaeological management review*. English Heritage Publishing.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Das, B. M. (Ed.). (2011). *Geotechnical engineering handbook*. J. Ross publishing.

Das, B. M., & Sivakugan, N. (2017). *Fundamentals of geotechnical engineering*. Cengage Learning.

Dashko, R. E., & Shidlovskaya, A. V. (2013). Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites Bilotta, Flora, Lirer & Viggiani (eds) 2013 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00055-1. *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites*, 299.

Deák, B., Tóthmérész, B., Valkó, O., Sudnik-Wójcikowska, B., Moysiyenko, I. I., Bragina, T. M., ... & Török, P. (2016). Cultural monuments and nature conservation: a review of the role of kurgans in the conservation and restoration of steppe vegetation. *Biodiversity and conservation*, *25*, 2473-2490. https://doi.org/10.1007/s10531-016-1081-2

DeGroot, D. J., & DeJong, J. T. (2020). Best practices for geotechnical site characterization: Have we regressed from decades past?. *GeoStrata Magazine Archive*, *24*(2), 50-57. https://doi.org/10.1061/geosek.0000065

Demas, M. (2002). Planning for Conservation and Management of Archaeological Sites. In *Management Planning for Archaeological Sites: An International Workshop Organized by the Getty Conservation Institute and Loyola Marymount University, 19-22 May 2000, Corinth, Greece* (p. 27). Getty Publications.

Emerick, K. (2014). *Conserving and managing ancient monuments: Heritage, democracy, and inclusion* (Vol. 14). Boydell & Brewer Ltd.

Fang, H. Y., & Daniels, J. L. (2017). *Introductory geotechnical engineering: an environmental perspective*. CRC Press.

Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2008). *Risk assessment in geotechnical engineering* (Vol. 461). New York: John Wiley & Sons.

Ferentinou, M., & Simpson, Z. (2019). Teaching Geotechnical Engineering for Practice-Readiness: An Action Research Project. In *Proceedings of the Eighth Research in Engineering Education Symposium (REES2019), Kloot, B.(Ed.)* (pp. 530-539).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Flora, A. (2022). Taking care of heritage, a challenge for geotechnical engineers. In *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites III* (pp. 19-54). CRC Press.

Gens, A. (2010). Soil–environment interactions in geotechnical engineering. *Géotechnique*, *60*(1), 3-74. https://doi.org/10.1680/geot.9.P.109

Ghasabkolaei, N., Choobbasti, A. J., Roshan, N., & Ghasemi, S. E. (2017). Geotechnical properties of the soils modified with nanomaterials: A comprehensive review. *Archives of civil and mechanical engineering*, *17*(3), 639-650. https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.01.010

Han, J. (2015). *Principles and practice of ground improvement*. John Wiley & Sons.

Holt, D. G., Jefferson, I., Braithwaite, P. A., & Chapman, D. N. (2010). Embedding sustainability into geotechnics. Part A: Methodology. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (Vol. 163, No. 3, pp. 127-135). Thomas Telford Ltd.

Kalman, H., & Létourneau, M. R. (2020). *Heritage planning: Principles and process*. Routledge.

Kanwar, V. S., & Shukla, S. K. (2020). Sustainable Civil Engineering Practices.

Katsigiannis, G. (2017). *Modern geotechnical codes of practice and new design challenges using numerical methods for supported excavations* (Doctoral dissertation, UCL (University College London)).

Kerisel, J. (1985). The history of geotechnical engineering up until 1700. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Kolathayar, S., Vinod Chandra Menon, N., Sreekeshava, K. S., Shekhawat, P., & Bhargavi, C. (2023). Best Practices in Geotechnical and Pavement Engineering—An Introduction. In *International Conference on Interdisciplinary Approaches in Civil Engineering for Sustainable Development* (pp. 1-7). Singapore: Springer Nature Singapore.

Lancellotta, R. (2008). *Geotechnical engineering*. CRC Press.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Lancellotta, R., Viggiani, C., Flora, A., de Silva, F., & Mele, L. (Eds.). (2022). *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites III*. CRC Press.

Lee, M., & Basu, D. (2018). An integrated approach for resilience and sustainability in geotechnical engineering. *Indian Geotechnical Journal*, *48*, 207-234. https://doi.org/10.1007/s40098-018-0297-3

Letellier, R., & Eppich, R. (Eds.). (2015). *Recording, documentation and information management for the conservation of heritage places*. Routledge.

Lourenço, P. B. (2006). Structural restoration of monuments: recommendations and advances in research and practice. In *Proceedings of 1st International Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures, April* (pp. 24-27).

Martinez, A., DeJong, J., Akin, I., Aleali, A., Arson, C., Atkinson, J., ... & Zheng, J. (2022). Bio-inspired geotechnical engineering: principles, current work, opportunities and challenges. *Géotechnique*, *72*(8), 687-705. https://doi.org/10.1680/jgeot.20.P.170

Meskell, L. (2014). States of conservation: protection, politics, and pacting within UNESCO's World Heritage Committee. *Anthropological Quarterly*, 217-243.

Mitchell, J. K., & Santamarina, J. C. (2005). Biological considerations in geotechnical engineering. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, *131*(10), 1222-1233. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:10(1222)

Murthy, V. N. S. (2002). *Geotechnical engineering: principles and practices of soil mechanics and foundation engineering*. CRC press.

Papafotiou, M., Kanellou, E., & Economou, G. (2016). Integrated design and management of vegetation at archaeological sites to protect monuments and enhance the historical landscape. In *VI International Conference on Landscape and Urban Horticulture 1189* (pp. 1-10).

Phoon, K. K., & Ching, J. (Eds.). (2015). *Risk and reliability in geotechnical engineering* (Vol. 651). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Randolph, M., Cassidy, M., Gourvenec, S., & Erbrich, C. (2005). Challenges of offshore geotechnical engineering. In *Proceedings of the 16th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering* (pp. 123-176). IOS Press.

Rehman, Z. U. (2023). Trends and challenges of technology-enhanced learning in geotechnical engineering education. *Sustainability*, *15*(10), 7972. https://doi.org/10.3390/su15107972

Roca, P. (2011). Restoration of historic buildings: conservation principles and structural assessment. *International Journal of Materials and Structural Integrity*, *5*(2-3), 151-167. https://doi.org/10.1504/IJMSI.2011.041932

Roy, S., & Bhalla, S. K. (2017). Role of geotechnical properties of soil on civil engineering structures. *Resources and Environment*, *7*(4), 103-109. https://doi.org/10.5923/j.re.20170704.03

Schofield, A. N. (2005). *Disturbed soil properties and geotechnical design*. Thomas Telford.

Sedmak, A., Ković, M., & Kirin, S. (2022). Structural Integrity-Historical Context. *Tehnički vjesnik*, *29*(5), 1770-1776. https://doi.org/10.17559/TV-20220321074430

Sesov, V., Cvetanovska, J., & Edip, K. (2013). Geotechnical aspects in sustainable protection of cultural and historical monuments. In *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris* (pp. 3129-3132).

Tsatsanifos, C. (2023). Preservation and restoration of monuments: The authenticity principle in geotechnical interventions. In *Smart Geotechnics for Smart Societies* (pp. 278-288). CRC Press.

Ulitsky, V. M. (2005). TC-19 Preservation of Historic Sites/Guidelines–Part II. *Specific Problems: Urban Areas*.

Uzielli, M., Lacasse, S., Nadim, F., & Phoon, K. K. (2007). Soil variability analysis for geotechnical practice. *Characterisation and engineering properties of natural soils*, *3*(4), 1653-1752.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250

Vicente, R., Lagomarsino, S., Ferreira, T. M., Cattari, S., & Mendes da Silva, J. A. R. (2018). Cultural heritage monuments and historical buildings: conservation works and structural retrofitting. *Strengthening and retrofitting of existing structures*, 25-57.

Viggiani, C. (2013). Cultural heritage and geotechnical engineering: An introduction. In *Proc. 2nd International Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites* (pp. 3-12). Napoli, Italy: CRC Press/Balkema.

Wu, X. Z. (2013). Trivariate analysis of soil ranking-correlated characteristics and its application to probabilistic stability assessments in geotechnical engineering problems. *Soils and Foundations*, *53*(4), 540-556. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2013.06.006

Yin, Z. Y., Jin, Y. F., Shen, J. S., & Hicher, P. Y. (2018). Optimization techniques for identifying soil parameters in geotechnical engineering: Comparative study and enhancement. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, *42*(1), 70-94. https://doi.org/10.1002/nag.2714

Zaki, M. A., Hassan, A. F., Mourad, S. A., & Osman, A. M. (2008). Evaluation of the structural integrity of historical stone minarets. In *Proceedings of the 14th world conference on earthquake engineering* (pp. 12-17).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 00:16:08 EEST - 216.73.216.250