



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

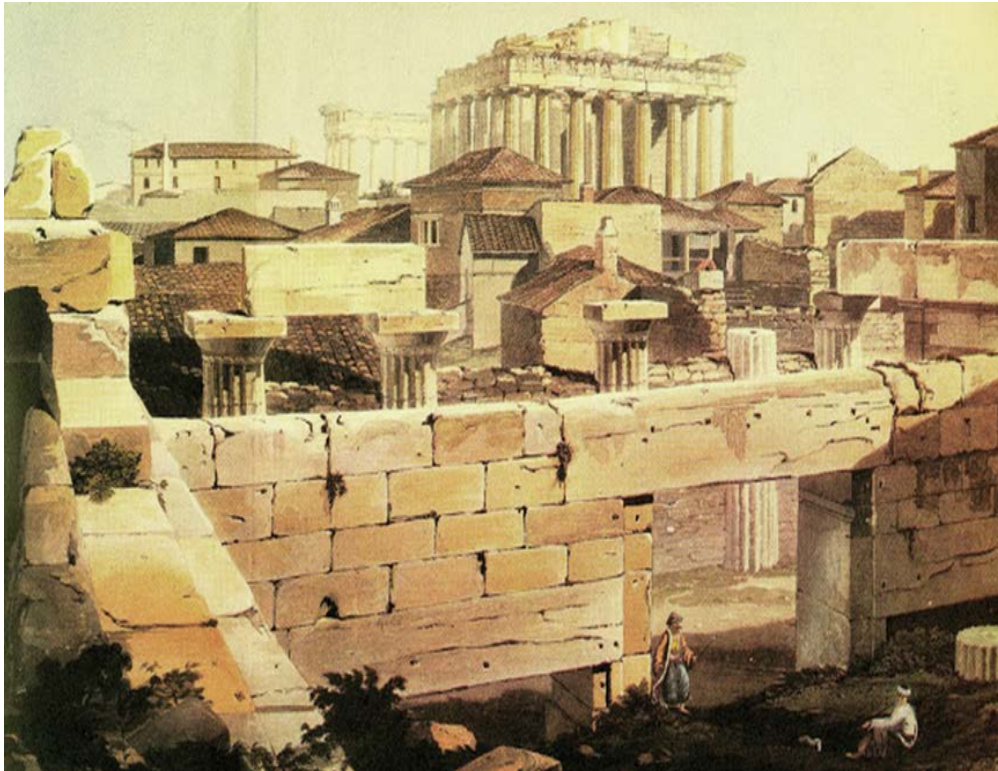
---

ΦΟΙΒΟΣ ΒΑΣΑΛΙΟΣ  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΗΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ  
ΣΤΑ ΜΝΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΕΩΣ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ  
ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΔΡΥΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΚΡΑΤΟΥΣ:  
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

---



ΑΘΗΝΑ, 2022

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΗΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ  
ΣΤΑ ΜΝΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΕΩΣ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ  
ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΔΡΥΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΚΡΑΤΟΥΣ:  
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

**ΣΤΑΥΡΟΣ ΚΟΥΡΚΟΥΛΗΣ**

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

**ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΖΗΣΗΣ**

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΤΣΟΠΕΛΑΣ**

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	5
Περίληψη .....	7
Abstract .....	8
Εισαγωγή.....	9
1 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Τα μνημεία της Ακρόπολης .....	12
1.1. Χώρος και οικοδομήματα .....	13
1.2. Επισκόπηση επεμβάσεων στα μνημεία της Ακρόπολης έως και την ίδρυση του νέου Ελληνικού Κράτους.....	33
1.2.1. Ο Χώρος .....	33
1.2.2. Προϊστορικοί χρόνοι.....	34
1.2.3. Αρχή των Ιστορικών χρόνων και αρχαϊκή περίοδος .....	34
1.2.4. Κλασικοί χρόνοι .....	35
1.2.5. Ρωμαϊκοί χρόνοι .....	36
1.2.6. Βυζαντινοί χρόνοι και Φραγκοκρατία .....	37
1.2.7. Τουρκοκρατία .....	39
1.3. Επισκόπηση σύγχρονων επεμβάσεων ανασύλωσης και συντήρησης.....	40
1.3.1. 19 <sup>ος</sup> αιώνας.....	40
1.3.2. 1950 - 1970.....	43
1.3.3. Επεμβάσεις στα μνημεία της Ακρόπολης, 1975 - 2000.....	46
2 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Δομικές παρεμβάσεις στα μνημεία της Ακρόπολης.....	51
2.1. Μνημειακή προστασία και διαχείριση: εννοιολογική προσέγγιση .....	52
2.1.1. Δομική συντήρηση.....	55
2.1.2. Συντήρηση της επιφάνειας των μνημείων.....	58
2.2. Συντήρηση των μνημείων της Ακρόπολης.....	58
2.3. Σύγχρονες δομικές επεμβάσεις στα μνημεία της Ακρόπολης.....	63
3 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Πειραματικές Τεχνικές.....	74
3.1. Συσχέτιση ψηφιακής εικόνας.....	75
3.2. Μέθοδος ακουστικής εκπομπής.....	76
3.3. Τεχνική Ηλεκτρικών Σημάτων Διεγειρόμενων από Μηχανική Φόρτιση (PSC).....	86
4 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Αυθεντικά υλικά & Υλικά αποκατάστασης .....	91
4.1. Αυθεντικά υλικά δόμησης του Παρθενώνα .....	92
4.1.1. Μάρμαρο Πεντέλης .....	92
4.1.2. Αρχαίος δομικός σίδηρος .....	94
4.1.3. Μόλυβδος.....	95

4.2. Μάρμαρο Διονύσου .....	96
4.3. Κονιάματα .....	104
4.4. Τιτάνιο .....	110
5 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Αποκατάσταση μονολιθικότητας δομικών μελών αρχαίων μνημείων κατασκευασμένων από φυσικούς δομικούς λίθους με χρήση ράβδων τιτανίου .....	114
5.1. Μέθοδος σχεδιασμού αποκατάστασης επιστυλίων .....	115
5.2. Θεωρητική μέθοδος υπολογισμού σπλισμών σύνδεσης θραυσμένων επιστυλίων .	116
5.3. Αποκατάσταση μονολιθικότητας θραυσμένου επιστυλίου, συγκολλημένου από φυσικούς δομικούς λίθους με χρήση ράβδων τιτανίου .....	121
6 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Συμπεράσματα - Επίλογος .....	129
Βιβλιογραφία .....	132

## **Περίληψη**

Η προστασία και διαχείριση μνημείων αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, η οποία, μετά από μακρά περίοδο αυτοσχεδιασμών, διάφορων θεωρητικών και ιστορικών προσεγγίσεων, άρχισε να εξορθολογίζεται στη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Οι προϋποθέσεις που καθορίζουν την ορθή εκτέλεση των παρεμβάσεων έχουν πλέον καθοριστεί από διεθνή κανονιστικά κείμενα ενώ η εκτέλεση των επεμβάσεων αποτελεί πλέον αντικείμενο ομάδων μεγάλου φάσματος επιστημονικών ειδικοτήτων. Η συμβολή των Μηχανικών σε όλες αυτές τις διεργασίες ήταν καθοριστικής σημασίας, καθώς ο σχεδιασμός και οι υπολογισμοί εμπίπτουν πρωτίστως στη δικαιοδοσία τους. Οι σύγχρονες ερευνητικές μελέτες των Μηχανικών μέσω καινοτόμων πειραματικών και εφαρμοσμένων τεχνικών, στοχεύουν στην εφαρμογή μη καταστροφικών τεχνικών, την πρόληψη και τις έγκαιρες σωστικές επεμβάσεις.

## **Λέξεις κλειδιά**

Ακρόπολη, μνημεία, συντήρηση, αναστήλωση, αποξήλωση, εφελκυσμός, σπλισμός σύνδεσης, συσχέτιση ψηφιακής εικόνας, ακουστική εκπομπή.

## **Abstract**

The protection and management of monuments is a complex process, which, after a long period of questionable practices, various theoretical and historical approaches, began to be rationalized during the 20<sup>th</sup> century. The conditions that determine the execution of interventions have now been determined by international regulatory guides, while execution of the interventions is now subject of scientific groups involving a wide range of scientific specialties. The contribution of Engineers in all these processes was crucial, as planning and calculations fall primarily within their objects of study. Modern research studies of Engineers through innovative experimental and applied techniques, aim at the application of non-destructive techniques, prevention and timely rescue interventions.

## **Keywords**

Acropolis, monuments, maintenance, restoration, dismantling, tensile, connection reinforcement, digital image correlation, audio transmission.

## Εισαγωγή

Αποτελεί κοινό τόπο ότι το φυσικό περιβάλλον καθόρισε τόσο τη δομή όσο και τη μορφή των κτισμάτων που δημιουργήθηκαν στην αρχαία Ελλάδα, από τις απαρχές της ιστορίας της μέχρι και την κατάκτησή της από τους Ρωμαίους. Η επίδραση που άσκησε ο φυσικός χώρος στους δημιουργούς, αρχιτέκτονες, καλλιτέχνες και τεχνίτες και η εναρμόνισή των κτισμάτων με τον περιβάλλοντα χώρο γίνεται ιδιαίτερα αισθητή στα μνημεία που δεσπόζουν στο βράχο της Ακρόπολης. Ωστόσο, με την πάροδο των χρόνων, οι αλληπάλληλες παρεμβάσεις, οι επιδρομές και οι καταστροφές που προκλήθηκαν εξ αιτίας των εκάστοτε πολεμικών συγκρούσεων αλλοίωσαν τη φυσιογνωμία των κτισμάτων όταν δεν τους επέφεραν ανεπανόρθωτες καταστροφές.

Αμέσως μετά την ίδρυση του νέου Ελληνικού κράτους μετά τον αγώνα του για ανεξαρτησία από την οθωμανική αυτοκρατορία, άρχισαν οι πρώτες επεμβάσεις στην Ακρόπολη προκειμένου να αποκτήσει και πάλι την άλλοτε αίγλη της και να αποτελέσει το σημείο αναφοράς της νέας πόλης της Αθήνας και μεταγενέστερα της πρωτεύουσας του νεοσύστατου κράτους.

Στην παρούσα εργασία, κύριο στόχο αποτέλεσε η ανάδειξη της πολυπλοκότητας και ιδιαιτερότητας των διαδικασιών αναστήλωσης και αποκατάστασης των μνημείων, ακολουθώντας το ιστορικό αυτών των διαδικασιών μέσα από τα κτίσματα της Ακρόπολης των Αθηνών. Δευτερευόντως, στόχος ήταν να αναδειχθούν αυτές οι τεχνικές και επιστημονικές μέθοδοι, πειραματικές ή εφαρμοσμένες, οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα έγκαιρου εντοπισμού προβλημάτων αλλά και παρακολούθησης της συμπεριφοράς των μνημείων, χωρίς τη χρήση καταστροφικών μεθόδων ελέγχου. Τέλος, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανάδειξη της συμβολής των μηχανικών στα έργα συντήρησης των μνημείων της Ακρόπολης, αλλά και η ανάγκη κατανόησης της απαραίτητης συνεργασίας και συγκερασμού γνώσεων όλων των εμπλεκόμενων ειδικοτήτων και φορέων, προκειμένου οι επεμβάσεις να μην αποβαίνουν επιζήμιες για τα κτίσματα.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο επιχειρείται μια περιγραφή των κτισμάτων του Βράχου ακολουθώντας μια πορεία αντίθετη από αυτή των δεικτών του ρολογιού. Έτσι, η περιγραφή των μνημείων ή των καταλοίπων μνημείων της Ακρόπολης ξεκινά από την πύλη Beulé, συνεχίζει με τα κατάλοιπα ναού

Πανδήμου Αφροδίτης και ακολουθούν ο χώρος προ των Προπυλαίων, το Βάθρο του Αγρίππα, τα Προπύλαια, ο Ναός της Απτέρου Νίκης ή Ναός Αθηνάς Νίκης, το Ιερό Βραυρωνίας Αρτέμιδος, η Χαλκοθήκη, ο Παρθενώνας, ο Ναός της Ρώμης και του Αυγούστου, το Ιερό Διός Πολιέως, ο Βωμός Αθηνάς, το Ερέχθειο, το Πανδρόσειο, ο Αρχαίος νεώς, το Οίκημα των Αρρηφόρων, το Κτίσμα της ΒΔ περιοχής και, τέλος, το Τείχος. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο επιχειρείται μια επισκόπηση των παρεμβάσεων στα μνημεία της Ακρόπολης έως και την ίδρυση του νέου Ελληνικού Κράτους προκειμένου να αναδειχθεί το γεγονός ότι ο Βράχος αποτελεί μια ανάγλυφη αρχιτεκτονική και καλλιτεχνική σύνθεση στην οποία αποκρυσταλλώνεται μια μακρά ιστορία, η οποία, λόγω των αλληπάλληλων επεμβάσεων οικοδόμησης και των εργασιών απόκατάστασης και συντήρησης των μνημείων αποτέλεσε, αλλά και συνεχίζει να αποτελεί πηγή μεγάλου επιστημονικού ενδιαφέροντος. Η χρονολογική αυτή επισκόπηση έχει αφηγηριά τους προϊστορικούς χρόνους και φτάνει έως και το τέλος της Τουρκοκρατίας. Τέλος, το πρώτο κεφάλαιο τελειώνει με την επισκόπηση των σύγχρονων επεμβάσεων ανασύλωσης και συντήρησης, από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα έως και τις μέρες μας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής αναφορά στις δομικές παρεμβάσεις των μνημείων της Ακρόπολης. Αρχικά επιχειρείται μια εννοιολογική προσέγγιση των όρων που αφορούν στις επεμβάσεις προστασίας, συντήρησης και διαχείρισης μνημείων καθώς οι όροι αυτοί αντανακλούν τις αντιλήψεις που σχετίζονται με τα συγκεκριμένα αυτά ζητήματα αλλά και γιατί οι αντιλήψεις αυτές συνέβαλλαν στη θέσπιση κανονιστικών κειμένων τα οποία, με τη σειρά τους, καθόρισαν διαχρονικά τους τρόπους παρέμβασης. Για όλους τους παραπάνω λόγους, διευκρινίζονται οι όροι, όπως συντήρηση, διατήρηση, αποκατάσταση, συμπλήρωση, αναστήλωση, ανάπλαση μνημείων. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στη διαδικασία δομικής συντήρησης των μνημείων καθώς πρόκειται για διαδικασία εξαιρετικά απαιτητική και προϋποθέτει τη συνεργασία πολλών επιστημονικών κλάδων και κυρίως αυτή των Μηχανικών. Ακολουθεί υποκεφάλαιο σχετικά με τη συντήρηση των μνημείων της Ακρόπολης από το 1990 έως και τις μέρες μας και γίνεται αναφορά στα είδη φθοράς των Μνημείων του Βράχου. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τις σύγχρονες δομικές παρεμβάσεις στα μνημεία της Ακρόπολης, όπως αυτή της αποξήλωσης και συγκόλλησης αρχιτεκτονικών μελών.



Το τρίτο, τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας επικεντρώνονται στη συμβολή των Μηχανικών σε ζητήματα που άπτονται της συντήρησης και των τεχνικών πρόληψης. Γίνεται αναφορά στις πειραματικές τεχνικές οι οποίες στοχεύουν στην απόκτηση πληροφοριών που αφορά στις εσωτερικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα μνημεία. Πρόκειται για προσομοιώσεις ή για πειραματικές εφαρμογές, αποτελέσματα έρευνας μηχανικών οι οποίες δυνητικά θα συντελέσουν περαιτέρω σε ζητήματα που άπτονται της δομικής συντήρησης των κτισμάτων της Ακρόπολης. Πιο συγκεκριμένα, το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην τεχνική συσχέτισης της ψηφιακής εικόνας (DIC), ακολουθεί η μέθοδος ακουστικής εκπομπής και, τέλος, γίνεται αναφορά στην τεχνική Ηλεκτρικών Σημάτων Διεγειρόμενων από Μηχανική Φόρτιση (PSC) και στην εφαρμογή της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στα αυθεντικά υλικά και στα υλικά αποκατάστασης των μνημείων της Ακρόπολης. Αρχικά, γίνεται αναφορά στο πεντελικό μάρμαρο και προσδιορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες, έτσι όπως αυτές προέκυψαν μέσω πειραματικών δοκιμών. Ακολουθούν δύο αναφορές στον αρχαίο σίδηρο και μόλυβδο αντίστοιχα. Το δεύτερο υποκεφάλαιο επικεντρώνεται στα χαρακτηριστικά του μαρμάρου Διονύσου και στις μηχανικές του ιδιότητες, καθώς αυτό αποτελεί το υλικό αποκατάστασης των μνημείων και ειδικότερα του Παρθενώνα. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις δοκιμές άμεσου εφελκυσμού και αυτές της μονοαξονικής και τριαξονικής θλίψης. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται αφ' ενός με αναφορά στα κονιάματα, καθώς στη διαδικασία αναστήλωσης και αποκατάστασης αρχαίων μνημείων τα υλικά αυτά πρέπει να παρουσιάζουν όμοια μικροδομή με την αρχαία πέτρα μιας και η μικροδομή τους επιδρά στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Αφ' ετέρου, γίνεται αναφορά στο τιτάνιο, ως υλικό αποκατάστασης αρχαίων συνδέσμων.

Το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην αποκατάσταση μονολιθικότητας δομικών μελών αρχαίων μνημείων κατασκευασμένων από φυσικούς δομικούς λίθους με χρήση ράβδων τιτανίου, καθώς η δομική ακεραιότητα της κατασκευής ενός αρχαίου μνημείου συνδέεται άμεσα με τη διαδικασία αποκατάστασης της μονολιθικότητας των θραυσμένων ή και κατακερματισμένων δομικών του μελών. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά στη θεωρητική μέθοδο υπολογισμού οπλισμών σύνδεσης θραυσμένων επιστυλίων.

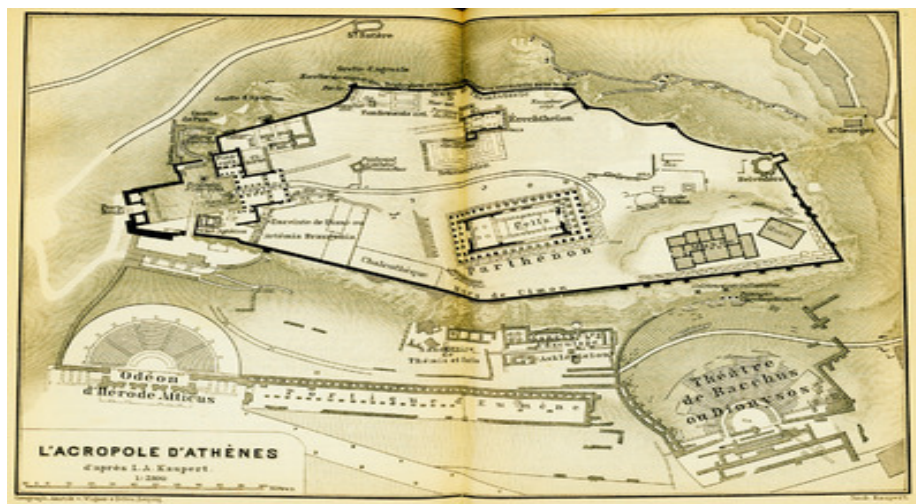
## 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Τα μνημεία της Ακρόπολης

## 1.1. Χώρος και οικοδομήματα

Από τις απαρχές των ιστορικών χρόνων και μέχρι την κατάκτηση της Ελλάδος από τους Ρωμαίους, τόσο η δομή όσο και η μορφή των κτισμάτων υπαγορεύεται εν πολλοίς από το ελληνικό φυσικό περιβάλλον. Η κατασκευή των μνημείων, έτσι όπως αυτά έχουν διασωθεί ή έρθει στο φως από την αρχαιολογική σκαπάνη, μαρτυρά την έντονη επίδραση που άσκησε ο φυσικός χώρος πάνω στους δημιουργούς, αρχιτέκτονες και καλλιτέχνες. Όπως επισημαίνεται από τον Μαστραπά (1992), ο ελληνικός χώρος, κατά την αρχαιότητα- πολύ περισσότερο από τις σημερινές κοινωνίες- λειτούργησε με εξουσιαστικό τρόπο και καθόρισε τους ανθρώπους που τον κατοίκησαν, με την μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος σε πολιτιστικό να είναι ιδιαίτερα εμφανής μέσα στα αρχαία ιερά. Πράγματι, όπως χαρακτηριστικά διαπιστώνει ο αρχαιολόγος Καρούζος, «δεν πάει οποιοσδήποτε θεός σε οποιοδήποτε τόπο» (Καρούζος, 1972 όπ. αναφ. Μαστραπάς, 1992,14).

Αυτή η συμφωνία μεταξύ φυσικού χώρου και αρχιτεκτονικής κατασκευής είναι ιδιαίτερα φανερή στα μνημεία της Ακρόπολης. Για την περιγραφή τους, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ακολουθείται η σειρά με την οποία τα συναντά κανείς στην πορεία του ανεβαίνοντας στον «Ιερό Βράχο» και η οποία είναι αντίθετη από αυτή των δεικτών του ρολογιού (Μαστραπάς, 1992, 47).



Εικ. 1. Τοπογραφικός χάρτης της Ακρόπολης. Πηγή: Ίδρυμα Λασκαρίδη <https://yhoo.it/3rzka6n>

## Πύλη Βευλέ

Η κατεχοχήν είσοδος στην Ακρόπολη πραγματοποιείται από την πύλη Βευλέ, η οποία οφείλει το όνομά της στον ομώνυμο Γάλλο αρχαιολόγο που πραγματοποίησε, το 1852, έρευνες πάνω σε αυτόν τον χώρο. Πρόκειται για μία από τις δύο πύλες του οχυρωματικού τείχους του 3<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα, με την πύλη Βευλέ, τη μόνη σωζόμενη, να βρίσκεται στη δυτική πλευρά του Βράχου και την άλλη να βρισκόταν άλλοτε στα νότια, κάτω από τον πύργο της Απτέρου Νίκης. Το έργο πραγματοποιήθηκε, κατά πάσα πιθανότητα μετά την εισβολή των Ερούλων, 267 μ.Χ., με στόχο την προφύλαξη της Ακρόπολης από το ενδεχόμενο νέων εχθρικών επιδρομών. Την πύλη Βευλέ πλαισιώνουν δύο ορθογώνιοι πύργοι, ένας στα βόρεια και ένας στα νότια. Ο επισκέπτης εύκολα παρατηρεί ότι το έργο πραγματοποιήθηκε με τη χρήση υλικών και αρχιτεκτονικών μελών άλλων προγενέστερων μνημείων, με το μεγαλύτερο μέρος να προέρχεται από το χορηγικό μνημείο του Νικία, το οποίο είχε ανεγερθεί στα τέλη του 4<sup>ου</sup> π.Χ. αι., στη Νότια πλευρά του βράχου, ανάμεσα στο θέατρο του Διονύσου και τη στοά του Ευμένους.



Εικ. 2. Σημερινή άποψη πύλης Βευλέ. Πηγή: Βευλέ <https://bit.ly/2UtKx1F>

Επάνω στο επιστύλιο της πύλης διακρίνεται ακόμα και σήμερα η εντοιχισμένη αναθηματική επιγραφή, που αναφέρεται στη χορηγική νίκη του Νικία Νικοδήμου, ενώ από το σημείο που έχει ανεγερθεί η πύλη διακρίνεται μέρος των Προπυλαίων.

### **Κατάλοιπα ναού Πανδήμου Αφροδίτης**

Περνώντας την πύλη Βευιέ, στα δεξιά του, ο επισκέπτης συναντά τμήμα επιστυλίου το οποίο διακοσμείται με γιρλάντες και περιστέρια. Χάρη της επιγραφής που φέρεται στο επιστήλιο, το διασωθέν τμήμα φαίνεται ότι ανήκε σε ναό αφιερωμένο στην Αφροδίτη. Σύμφωνα με τον Πausανία (I, 22, 3) πρόκειται για Ιερό της Πανδήμου Αφροδίτης, ο οποίος είχε ανεγερθεί στη νότια πλευρά της Ακρόπολης και μάλιστα κοντά στον Πύργο της Νίκης. Οι νεότερες ανασκαφές έφεραν στο φως Ιερό πάνω από το χώρο του Ηρωδείου και κάτω από τον Πύργο της Νίκης (Μαστραπάς, 1992).

### **Ο χώρος προ των Προπυλαίων**

Η είσοδος στην Ακρόπολη διαμορφώθηκε αισθητά με την πάροδο του χρόνου. Στη μυκηναϊκή περίοδο είχε διανοιχθεί μονοπάτι το οποίο ερχόταν από τα ΝΔ και κατέληγε στην είσοδο η οποία βρίσκονταν στην θέση της νότιας πτέρυγας των Προπυλαίων. Ακολούθησε η πρώτη προσπάθεια κατασκευής απευθείας πρόσβασης στο βράχο και πιο συγκεκριμένα στην δυτική πλευρά, στη θέση δηλαδή που τοποθετείται η πύλη του οχυρού της μυκηναϊκής Ακρόπολης (Μαστραπάς, 1992).

Η προσπάθεια απευθείας πρόσβασης συμπίπτει χρονικά με την ανάπτυξη του πολιτικού κέντρου στον χώρο της Αγοράς, στη δυτική πλευρά της Ακρόπολης. Παράλληλα, με την ανάπτυξη του πολιτικού κέντρου, αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία η διεξαγωγή της γιορτής των Παναθηναίων, λίγο πριν τα μέσα του 6<sup>ου</sup> π.Χ. αι., με αποτέλεσμα να κατασκευαστεί μία πλατιά ανωφερική πρόσβαση υπό τη μορφή ράμπας και η οποία άρχιζε στους πρόποδες του βράχου και κατέληγε στην είσοδο του ιερού. Κατάλοιπα της πρόσβασης των αρχαϊκών χρόνων σώζονται στη βόρεια πλευρά της Ακρόπολης, αριστερά της Πύλης Βευιέ. Την εποχή του Περικλή η πρόσβαση των αρχαϊκών χρόνων γίνεται πιο πλατιά. Κατάλοιπά της αποτελούν τμήματα αναλημματικού τοίχου «δομημένου ισοδομικά με μεγάλες ορθογώνιες πορωπλίνθους» (Μαστραπάς, όπ. π.). Η εσωτερική διαμόρφωση της ανωφερικής πρόσβασης των αρχαϊκών χρόνων αλλά και του 5<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα παραμένει άγνωστη, καθώς έχει καταστραφεί.

Η τελευταία προσπάθεια ανάπλασης της πρόσβασης στην Ακρόπολη πραγματοποιείται τον 1<sup>ο</sup> μ.Χ. αι., στη διάρκεια της ρωμαϊκής περιόδου. Σύμφωνα με τη ρωμαϊκή αρχιτεκτονική συνήθεια, θα δημιουργηθεί την περίοδο εκείνη μία κλίμακα μνημειακού χαρακτήρα με το μεσαίο τμήμα της να διαθέτει πυκνότερα σκαλοπάτια από ότι τα τμήματα των άκρων. Μετά την τουρκοκρατία, τμήματα της κλίμακας αυτής θα χρησιμοποιηθούν για την εκ νέου αποκατάσταση της πρόσβασης.

Κατά τη διάρκεια της κατάργησης της εισόδου από την Πύλη Beulé (1959-1968), όταν δηλαδή η είσοδος πραγματοποιείται από τα δυτικά του βράχου, κάτω από τον Πύργο της Νίκης, ένα μέρος της μνημειακής κλίμακας θα απομακρυνθεί. Το 1968, όταν άρχισε και πάλι η Πύλη Beulé να χρησιμοποιείται ως είσοδος για την Ακρόπολη, η πρόσβαση θα διαθέτει τα τμήματα της ρωμαϊκής μνημειακής κλίμακας αλλά και στοιχεία των κεκλιμένων επίπεδων που την είχαν, μερικώς, αντικαταστήσει. Να σημειωθεί τέλος ότι στον χώρο αυτό και ειδικότερα σε βαθούλωμα του εδάφους που βρίσκεται ακριβώς μετά την Πύλη, σώζεται ένας μικρός βωμός αφιερωμένος κατά πάσα πιθανότητα, στον Απόλλωνα Αγυιέα, τον προστάτη των εισόδων και δρόμων (Μαστραπάς, 1992).

### **Βάθρο του Αγρίππα**

Στη δυτική πλευρά των Προπυλαίων, ακριβώς απέναντι από τη βόρεια πτέρυγα και την «Πινακοθήκη», σώζονται τα κατάλοιπα του Βάθρου του Αγρίππα. Πρόκειται για τη βάση -βάθρο (4,5 X 3,5 X 3,8 μ.)- ορθογώνιας βαθμιδωτής θεμελίωσης, πάνω στην οποία είχε ανεγερθεί, γύρω στο 27 π.Χ., το αφιέρωμα του Δήμου της Αθήνας στον Μάρκο Αγρίππα με αφορμή την ανέγερση ωδείου στο χώρο της Αγοράς, προσφορά του Αγρίππα στην πόλη των Αθηνών (Μαστραπάς, 1992, Βενιέρη, 2012).

Αρχικά το μνημείο κατασκευάστηκε προς τιμήν του βασιλιά Ευμένη Β΄ της Περγάμου, το 178 π.Χ., νικητή στους Παναθηναϊκούς αγώνες. Στο επάνω μέρος του μνημείου στεκόταν «χάλκινο τέθριππο, στο οποίο απεικονίζονταν ως ηνίοχοι ο ίδιος ο Ευμένης και ο αδελφός του Άτταλος (Βενιέρη, 2012). Από το μνημείο αυτό σώζεται μόνο το ορθογώνιο βάθρο το οποίο έχει κατασκευαστεί από γκριζογάλανο μάρμαρο Υμηττού, ενώ στη βάση και την επίστεψη έχει χρησιμοποιηθεί λευκό πεντελικό μάρμαρο (Βενιέρη, 2012).

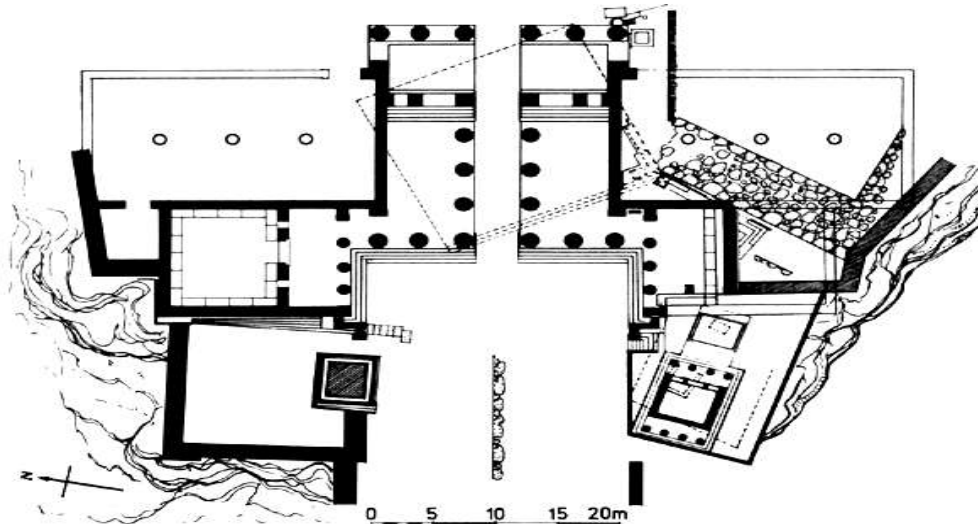
## Προπύλαια

Η αρχιτεκτονική κατασκευή των Προπυλαίων της Ακρόπολης των Αθηνών δεσπόζει στη δυτική πλευρά του βράχου, στη θέση όπου τοποθετείται η πύλη του οχυρού των Μυκηναϊκών χρόνων. Πρόκειται για αναπόσπαστο μέρος του οικοδομικού προγράμματος του Περικλή το οποίο εξακολουθεί και σήμερα να παίζει τον ρόλο καλλιτεχνικού προοιμίου, με το αισθητικό του αποτέλεσμα να προετοιμάζει την όραση και τη νόηση για αυτά που ακολουθούν στον εσωτερικό χώρο (Μαστραπάς, 1992).



Εικ. 3. Νοτιοδυτική άποψη των Προπυλαίων. Πηγή: <https://bit.ly/3iyihTy>

Πρόκειται για μνημείο που κτίσθηκε αφού ολοκληρώθηκε ο Παρθενώνας και, πιο συγκεκριμένα, μεταξύ του 437 και 432 π.Χ., σε σχέδια του αρχιτέκτονα Μνησικλή. Αν και το έργο δεν ολοκληρώθηκε ποτέ στο σύνολό του ήταν, ωστόσο, ένα πρωτοποριακό εγχείρημα, τόσο αρχιτεκτονικά όσο και καλλιτεχνικά. Κατασκευασμένα κυρίως από πεντελικό μάρμαρο και σκουρόχρωμο ελευσίνιο λίθο, τα Προπύλαια χωρίζονται σε τρία τμήματα. Η μνημειακή είσοδος, που καταλάμβανε, άλλοτε, όλο το κατά μέτωπο πλάτος της δυτικής πλευράς της Ακρόπολης, είναι διαμορφωμένη από ένα κεντρικό οικοδόμημα αποτελούμενο από δυο πτέρυγες. Το κεντρικό ορθογώνιο οικοδόμημα είναι το κυρίως πρόπυλο.



Εικ. 4. Κάτοψη των Προπυλαίων. Πηγή: ΥΣΜΑ (2006)

Η ανατολική και δυτική όψη διαρθρώνονται από δύο εξάστυλες στοές δωρικού ρυθμού, ενώ, η μεταξύ τους επικοινωνία επιτυγχάνονταν από πέντε θύρες, με την κεντρική θύρα να εξασφάλιζε την δίοδο προς την Ακρόπολη. Η πίσω όψη του μνημείου, ορατή από το εσωτερικό του ναού, είναι επίσης διαμορφωμένη από έξι κίονες δωρικού ρυθμού. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο μερών του κεντρικού οικοδομήματος, της ανατολικής και δυτικής στοάς, των Προπυλαίων αντιμετωπίστηκε με τη χρήση διαφορετικής στέγης ενώ, παράλληλα, η ανωφέρεια του εδάφους αντιμετωπίστηκε και στο εσωτερικό του κτηρίου, με τη χρησιμοποίηση βαθμίδων που δημιουργήθηκαν στην πρόσοψη και στον εγκάρσιο τοίχο. Η βόρεια πτέρυγα του μνημείου αποτελείται από μια αίθουσα, γνωστή από την περιγραφή του περιηγητή Πausanias ως «Πινακοθήκη» (I, 22, 6), επειδή τον χώρο διακοσμούσαν ζωγραφικοί πίνακες, μεταξύ άλλων των ζωγράφων Πολυγνώτου και Αγλαοφώντος. Μπροστά στην Πινακοθήκη, δημιουργήθηκε μία μικρή δωρική στοά αποτελούμενη από τρεις δωρικούς κίονες ανάμεσα σε παραστάδες, ενώ η είσοδος γινόταν από θύρα πλαισιωμένη από δύο παράθυρα. Σύμφωνα με ορισμένους μελετητές, η αίθουσα αυτή χρησιμοποιήθηκε ως χώρος ανάπαυσης ή εστιάσεων των επισκεπτών του ιερού καθώς είναι πιθανό, στο εσωτερικό της, να υπήρχαν κλίνες. Η άποψη αυτή ενισχύεται περαιτέρω από το γεγονός ότι η θύρα εισόδου στην αίθουσα δεν κατασκευάστηκε ακριβώς στο μέσο της πρόσοψης αφού η ενδεχόμενη περιμετρική τοποθέτηση ανάκλιτρων στο



εσωτερικό δεν επέτρεπε την κατασκευή της θύρας πάνω στον κεντρικό άξονα (Μαστραπάς, 1992).

Η νότια πτέρυγα των Προπυλαίων, αν και αρχικά φαίνεται να είχε σχεδιαστεί όπως η βόρεια, δεν είχε, ωστόσο, καμία πρακτική λειτουργικότητα. Η κατασκευή της υπαγορεύτηκε μάλλον για λόγους αρμονίας και αισθητικής, ενώ η ύπαρξη, στο σημείο αυτό, του προγενέστερου ιερού της Νίκης μπορεί να ανάγκασε τον αρχιτέκτονα να μην υλοποιήσει το αρχικό σχέδιο για λόγους καθαρά θρησκευτικούς. Σε κάθε περίπτωση, κατασκευάστηκε μόνο μία στοά, σε αντιστοιχία με τη βόρεια, αποτελούμενη από τρεις κίονες. Από τη δυτική πλευρά της στοάς ήταν δυνατή η πρόσβαση στο ναό της Αθηνάς Νίκης, ενώ στο Ν. μέρος υπήρχαν τμήματα του Πελαργικού τείχους (μυκηναϊκή εποχή), τα οποία διακρίνονται ακόμα και σήμερα. Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, το αρχικό σχέδιο του οικοδομήματος φαίνεται ότι προέβλεπε πράγματι την κατασκευή παραπληρωματικών αιθουσών στη ΒΑ και ΝΑ πλευρά, που, όμως, δεν κατασκευάστηκαν ποτέ.

Η μορφή των Προπυλαίων παρέμεινε αναλλοίωτη μέχρι την παλαιοχριστιανική περίοδο (4<sup>ος</sup> - 7<sup>ος</sup> αι. μ.Χ.), όταν η νότια πτέρυγα θα μετατραπεί σε εκκλησία. Τον 10<sup>ο</sup> αιώνα το κεντρικό τμήμα του οικοδομήματος θα λειτουργήσει ως εκκλησία αφιερωμένη στους Ταξιάρχες, όπως μαρτυρούν οι τοιχογραφίες των αρχαγγέλων Γαβριήλ και Μιχαήλ. Κατά τη διάρκεια της Φραγκοκρατίας (13<sup>ος</sup> - 14<sup>ος</sup> αι.) η Β. πτέρυγα θα χρησιμοποιηθεί ως ανάκτορο από τη φράγκικη οικογένεια των Δουκών ντε λα Ρος. Την ίδια περίοδο, προκειμένου ενισχυθεί η οχύρωση της Ακρόπολης, στη Ν. πλευρά του οικοδομήματος θα κατασκευασθεί ένας ψηλός ορθογώνιος πύργος, γνωστός ως Κουλάς, ο οποίος κατεδαφίστηκε το 1874, μετά την Ανεξαρτησία.

Στην περίοδο της Τουρκοκρατίας (1458 - 1830) τα Προπύλαια έγιναν η έδρα του Τούρκου φρούραρχου. Το κεντρικό κτήριο χρησιμοποιήθηκε ως πυριτιδαποθήκη, χρήση στην οποία οφείλεται η πρώτη μεγάλη καταστροφή του μνημείου, που ανατινάχθηκε από έκρηξη το 1640 ή από κεραυνό το 1645 (Μαστραπάς, 1992). Όταν ο Μοροζίνι και οι Ενετοί πολιορκήσαν την Ακρόπολη το 1687, οι Τούρκοι μεταβάλλουν τα Προπύλαια σε τείχος. Μετά την απελευθέρωση από τους Τούρκους κατεδαφίστηκαν οι μεσαιωνικές και τουρκικές προσθήκες και αναλήφθηκαν έργα αναστήλωσης και ανασκαφής του μνημείου και της γύρω περιοχής.

## Ναός της Απτέρου Νίκης ή Ναός Αθηνάς Νίκης

Σε προεξοχή του βράχου της ακρόπολης, στα ΝΔ, δεξιά της πρόσβασης που οδηγεί στο οικοδόμημα των Προπυλαίων, πάνω σε πύργο, κατασκευάστηκε, την κλασική περίοδο, ένας μικρός ναός ιωνικού ρυθμού, ο Ναός της Απτέρου ή Αθηνάς Νίκης. Οι ανασκαφικές έρευνες έχουν φέρει στο φως ευρήματα οικοδομικών στοιχείων της μυκηναϊκής περιόδου ενώ λείψανα ναϊσκού και βωμών που βρέθηκαν κάτω από το Ναό της Απτέρου Νίκης μαρτυρούν τη λατρεία της θεάς Αθηνάς, στον ίδιο χώρο, κατά την αρχαϊκή περίοδο. Όπως αναφέρει ο Πausanias (I, 22, 4), ο ναός της κλασικής περιόδου ήταν αφιερωμένος στην θεότητα Άπτερο Νίκη και αυτό το στοιχείο δίνει μία επιπλέον ερμηνεία για την υπόσταση με την οποία λατρεύτηκε η θεά Αθηνά. Σύμφωνα με την παράδοση, την εποχή του Pausanias, μέσα στο ναό βρισκόταν άγαλμα που παρουσίαζε την Νίκη με κομμένα φτερά, ενώ, σύμφωνα με μαρτυρίες, την ίδια εποχή η λατρεία της Αθηνάς ως θεότητα της νίκης είχε πλέον καθιερωθεί.

Η περίοδος κατασκευής του κλασικού ναού φέρεται ότι είναι οι χρόνοι ανάμεσα στο 427 και 424 π.Χ., ενώ πιο πιθανή εκδοχή είναι αυτή που τοποθετεί την ανέγερση του ναού κατά τη διάρκεια της ειρήνης του Νικία, το 421 π.Χ.

Ο πρώτος ναός που κατασκευάστηκε, πριν αυτόν της κλασικής περιόδου και πιο συγκεκριμένα στα μέσα του 6<sup>ου</sup> αι. π.Χ., ήταν ξύλινος και καταστράφηκε το 480 από τους Πέρσες. Την ίδια περίοδο χρονολογείται και η «εσχάρα», ένας βωμός, που, όπως πιθανολογείται, αποτέλεσε τη βάση του αρχαίου ξόανου της θεάς Αθηνάς.

Η κατασκευή του ναού της Αθηνάς Νίκης της κλασικής περιόδου, έργο του Καλλικράτη, είναι ένα ακόμα έργο ενταγμένο στο μεγάλο πρόγραμμα ανοικοδόμησης της Ακρόπολης που συντελέστηκε την εποχή του Περικλή. Το έργο ολοκληρώνεται με την προσθήκη θωρακίου στο πάνω μέρος του πύργου και τον εξωραϊσμό του γύρω χώρου, περίπου το 412 π.Χ.

Όπως έχει προαναφερθεί, ο ναός της Απτέρου Νίκης, έτσι όπως αυτός είναι σήμερα ορατός, οικοδομήθηκε στην κορυφή προγενέστερου παλαιού μυκηναϊκού πύργου, ο οποίος επενδύθηκε με πώρινα τοιχώματα, κτισμένα σύμφωνα με το ισοδομικό σύστημα. Με αυτό τον τρόπο, το σχήμα του ναού έγινε μεγαλύτερο και πιο κανονικό και κατέληγε σε πλούσια επίστεψη.

Ο ναός είναι μικρός, ιωνικού ρυθμού, αμφιπρόστυλος, με μία σειρά από τέσσερις μονολιθικούς κίονες σε κάθε στενή πλευρά. Ο πυρήνας του ναού είναι ένας απλοϊκός σηκός, δομημένος σε κρηπίδωμα τριών βαθμίδων. Οι τοίχοι στα πλάγια του σηκού απολήγουν, στα ανατολικά, σε παραστάδες που έχουν ανάμεσά τους δύο πεσσούς. Κιγκλιδώματα συνδέουν τους πεσσούς με τους παραστάδες, προκειμένου να κλείνουν με αυτόν τον τρόπο τα πλαϊνά ανοίγματα της εισόδου. Σύμφωνα με την περιγραφή του Μαστραπά (1992), «οι εξωτερικές κιονοστοιχίες είναι από ιωνικούς μονολιθικούς κίονες και συγκρατούν επιστήλιο με τριπλή ταινιωτή διαίρεση και ανάγλυφη ζωφόρο» (Μαστραπάς, 1992). Η ζωφόρος, περιτεχνημένη από τον Αγοράκριτο (Βενιέρη, 2012), περιέτρεχε το ναό και τις τέσσερις πλευρές του, παρουσιάζοντας τα ακόλουθα θέματα: στην Α. πλευρά της πρόσοψης απεικονίζεται το συμπόσιο θεών του Ολύμπου καθώς παρακολουθούν τις μάχες μεταξύ Ελλήνων και Περσών. αλλά και Ελλήνων οπλιτών με άλλους οπλίτες, έτσι όπως οι μάχες αυτές απεικονίζονται στις άλλες τρεις πλευρές της ζωφόρου. Τα αυθεντικά τμήματα της ζωφόρου είναι αυτά της ανατολικής πλευράς, ενώ τα πρωτότυπα των τριών άλλων πλευρών βρίσκονται στο Βρετανικό μουσείο. Από τις οπές που διακρίνονται στα οριζόντια γείσα, συμπεραίνει κανείς ότι ανάγλυφες μορφές στόλιζαν τα αετώματα, οι οποίες όμως δεν έχουν διασωθεί.

Μπροστά από το ναό βρισκόταν βωμός του οποίου έχουν σωθεί μόνο τα τμήματα των πλευρικών πλακών. Σύμφωνα με Βενιέρη (2012), το 409 π.Χ., στις παρυφές του πύργου, κατασκευάζεται ένα μαρμάρινο θωράκιο, ύψους 1 μ. περίπου, για την προστασία των προσκυνητών.

Ο ναός της Απτέρου Νίκης διατηρείται μέχρι το 1687, την εποχή δηλαδή της πολιορκίας της Ακρόπολης από τον Μοροζίνι, χρονιά που σηματοδοτεί τη διάλυση του ναού και τη χρήση των υλικών του από τους Τούρκους, προκειμένου να οχυρωθούν τα Προπύλαια της Ακρόπολης. Μετά την Ανεξαρτησία, ο ναός θα αποκατασταθεί για πρώτη φορά το 1842 και για δεύτερη φορά το διάστημα ανάμεσα στο 1936 και 1941.

## Ιερό Βραυρωνίας Αρτέμιδος ή Βραυρώνιο

Αμέσως μετά τη νότια πλευρά των Προπυλαίων και, πιο συγκεκριμένα, στην εσωτερική πλευρά του νότιου τοίχου της Ακρόπολης, βρίσκεται το Βραυρώνιο ή Ιερό της Βραυρωνίας Αρτέμιδος. Πρόκειται για ιερό αφιερωμένο στην Βραυρωνία Αρτέμιδα και θεωρείται ότι λειτούργησε ως παράρτημα του μεγάλου ιερού της θεάς που βρίσκεται στη Βραυρώνα Αττικής. Το ιερό ανεγέρθηκε στο χώρο που εκτείνεται ανατολικά των καταλοίπων του μυκηναϊκού τείχους και διαμορφωνόταν από μία δωρική στοά σχήματος Π, ανοικτή στη βόρεια πλευρά, αποτελούμενη από δύο προεξέχουσες κλειστές πτέρυγες. Την ανοικτή προς βορρά μεριά κοσμούσαν δέκα κίονες στην πρόσοψη, ενώ η νότια πλευρά ακολουθούσε την πορεία του νότιου τείχους του βράχου. Στα δύο άκρα της στοάς σχηματίζονταν δύο κλειστές πτέρυγες μέσα στις οποίες φυλάσσονταν οι θησαυροί προς τιμήν της θεάς Αρτέμιδος. Η είσοδος του ναού βρισκόταν στην βορειοανατολική γωνία του περιβόλου. Όπως πιθανολογείται, στη διάρκεια του 5<sup>ου</sup> αι. π.Χ., κατά την οικοδόμηση της εισόδου του μνημείου των Προπυλαίων, κατασκευάστηκε στο ναό η κλίμακα της εισόδου με επτά βαθμίδες, ορατή και σήμερα από τον επισκέπτη, καθώς, επίσης, και ο βόρειος τείχος του περιβόλου. Τα αναθήματα των πιστών τοποθετούνταν σε υπαίθριο τριγωνικό χώρο, ενώ, σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές συνήθειες της κλασικής περιόδου, σε κάποια από τις πτέρυγες στο εσωτερικό του ναού θα φυλάσσονταν το ξύλινο ξόανο της Αρτέμιδος, αντίστοιχο με εκείνο που θα υπήρχε στο ιερό της στην Βραυρώνα (Μαστραπάς, 1992, Βενιέρη, 2012).

Σύμφωνα με τον Πausανία, από τα μέσα του 4<sup>ου</sup> αι. π.Χ., στο ναό τοποθετείται ένα δεύτερο άγαλμα της θεάς, έργο του Πραξιτέλη, η κεφαλή του οποίου εκτίθεται σήμερα στο μουσείο της Ακρόπολης. Μεταγενέστερα, πιθανά τον 4<sup>ο</sup> αι. π.Χ., μπροστά από την ανατολική πτέρυγα της στοάς, οικοδομείται μία νέα κατασκευή ορθογωνίου σχήματος. Η νέα αυτή στοά, μαζί με την ανατολική πτέρυγα της παλαιότερης, αποτελούσαν το όριο του ιερού στα ανατολικά. Από το μνημείο αυτό σήμερα διακρίνονται μόνο κάποια λαξεύματα στον βράχο, στοιχεία που υποδηλώνουν την θέση και την πρόσβαση προς το ιερό (Μαστραπάς, 1992, οπ. π.).

## **Χαλκοθήκη**

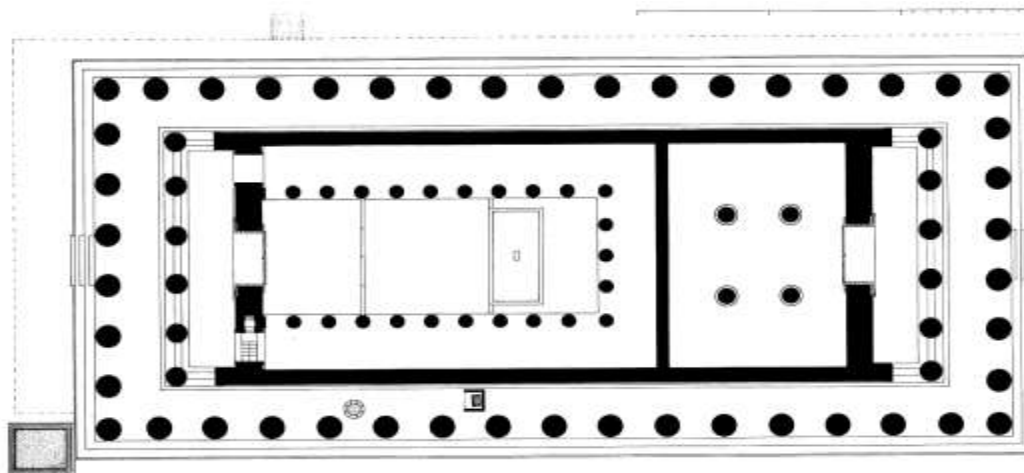
Η Χαλκοθήκη ήταν ένα επίμηκες οικοδόμημα που βρίσκονταν στα ανατολικά στη συνέχεια του Βραυρωνίου και κατά μήκος του νότιου τείχους της Ακρόπολης.

Η χρήση του είναι γνωστή χάρη των αναφορών που διασώθηκαν πάνω σε αρχαίες επιγραφές. Σύμφωνα με αυτές τις πηγές, στα ανατολικά και σε συνέχεια του Βραυρωνίου, υπήρχε η Χαλκοθήκη, ένα επίμηκες οικοδόμημα, του οποίου το όνομα και η χρήση μάς είναι γνωστά από αναφορές σε αρχαίες επιγραφές. Το κτήριο «φιλοξενούσε κυρίως μεταλλικά αναθήματα που είχαν προσφέρει οι πιστοί στην Ακρόπολη, όπως όπλα, αγαλματίδια και υδρίες, και αποτελούσαν περιουσία της θεάς Αθηνάς» (Βενιέρη, 2012). Η οικοδόμηση του κτηρίου εντοπίζεται στα μέσα του 5<sup>ου</sup> αι. π.Χ. αλλά ίσως να ακολούθησαν προσθετικές εργασίες σε μεταγενέστερους χρόνους. Αυτό τεκμαίρεται από την καταστροφή σκαλοπατιών της κλίμακας στη ΝΔ μεριά του Παρθενώνα, ή οποία κατά πάσα πιθανότητα αποτέλεσε μέρος της στοάς που ενδεχομένως συμπλήρωσε μεταγενέστερα τη Χαλκοθήκη. Επιπλέον, η ανεύρεση άλλων αρχιτεκτονικών μελών πιστοποιεί επισκευή του κτηρίου στους ρωμαϊκούς χρόνους (Μαστραπάς, 1992). Σε κάθε περίπτωση, παραμένει αινιγματική η αποσιώπηση του μνημείου από τον Πausανία, καθώς τα αρχαιολογικά κατάλοιπα μαρτυρούν την ύπαρξή του.

## **Παρθενώνας**

Η αρχιτεκτονική και καλλιτεχνική αρτιότητα του Παρθενώνα συντέλεσαν στο να αναδειχθεί το μνημείο αυτό σε οικουμενικό σημείο αναφοράς. Οι πληροφορίες των αρχαίων συγγραφέων για τις συνθήκες κατασκευής του μνημείου, δίνουν πρωτεύοντα ρόλο σε συγκεκριμένες πολιτικές φυσιογνωμίες της εποχής και σε εμπνευσμένους δημιουργούς. Ωστόσο, όπως υπογραμμίζεται από πλήθος μελετητών, ο Παρθενώνας, αντικατοπτρίζει κάτι ακόμα πιο σημαντικό: πρόκειται για αντανάκλαση της πολιτικής, οικονομικής και πολιτιστικής ακμής της πόλης- της αρχαίας Αθήνας και για μνημείο που εξυπηρέτησε παράλληλα τις πολιτικές, οικονομικές και πολιτιστικές ανάγκες του Δήμου (Μαστραπάς, 1992), την εποχή που η πόλη-κράτος των Αθηνών, έφτασε στο απόγειό της. Η σημασία που απέδιδε η αρχαία Αθήνα στην κατασκευή αυτού του μνημείου διαφαίνεται, αρχικά, από τη συντομία που απαιτήθηκε για το χρόνο

κατασκευής του. Οι εργασίες οικοδόμησης ξεκινούν το 447 π.Χ., τα εγκαίνια πραγματοποιούνται το 438 π.Χ. κατά τον εορτασμό των Μεγάλων Παναθηναίων, ενώ ο γλυπτός διάκοσμος, σύμφωνα με τις επιγραφές, πρέπει να ολοκληρώθηκε το 432 π.Χ. (Κορρές & Μπούρας, 1983).



Εικ. 5. Κάτοψη του Παρθενώνα. Πηγή: Κορρές (2000)

Η σύλληψη του σχεδίου του οικοδομήματος αποδίδεται στον Ικτίνο και τον Καλλικράτη, ενώ η διακόσμηση στον γλύπτη Φειδία, ο οποίος είχε αναλάβει την εποπτεία όλων των οικοδομικών εργασιών που διενεργήθηκαν στην Ακρόπολη. Ο Βιτρούβιος (1<sup>ος</sup> αι. π.Χ.) δεν αναφέρεται στο μνημείο με την ονομασία «Παρθενώνας» αλλά ως «δωρικός ναός του φρουρίου των Αθηνών» (Μαστραπάς, 1992). Μεταγενέστερα, τον 2<sup>ο</sup> αι. μ.Χ., ο Πausανίας αναφέρεται στο οικοδόμημα με τον όρο «Παρθενώνας».

Πρόκειται, πράγματι, για ένα δωρικό ναό, περίπτερο, αγνώστου τύπου, έως εκείνη την εποχή στην υπόλοιπη Ελλάδα, με εξάστυλο αμφιπρόστυλο σηκό στον πυρήνα του, ο οποίος αποτελείται από τον κυρίως ναό και ένα οπίσθιο διαμέρισμα, με μέγιστες διαστάσεις 72.32 μ. μήκος, 33.69 μ. πλάτος και 19.80 μ. ύψος. Ο σηκός, χωρισμένος σε δύο άνισα μέρη, στέγαζε, ανατολικά, το άγαλμα της θεάς Αθηνάς υποβοηθούμενος από τρεις δίτονες κιονοστοιχίες σε σχήμα Π. Το δυτικό του τμήμα, με τετράγωνη περίπου κάτοψη και προσπελάσιμο μόνο από τον οπισθόδομο του ναού, στεγάζονταν με τη βοήθεια τεσσάρων κίωνων ιωνικού ρυθμού. Αυτό ήταν και το μέρος που εξ αρχής πήρε το όνομα Παρθενών (Μαστραπάς, 1992). Η διάμετρος των 46 εξωτερικών κίωνων

φθάνει τα 1.91 μ., ενώ το ύψος του κάθε κίονα ανέρχεται στα 10.43 μ. ύψος, περίπου. Κάθε κίονας αποτελείται από 11 σπονδύλους, βάρους 5-10 t. με κάθε κιονόκρανο να έχει πλάτος περίπου 2.00 έως 2.09 μ. και βάρος 8-9 t. Το επιστύλιο του ναού είναι μονόλιθο κατά το ύψος (περίπου 1.35 μ.) και τρίλιθο κατά το πάχος (περίπου 1.80 μ.). Στο εσωτερικό του ναού, οι κίονες ήταν δωρικού ρυθμού, με 16 ραβδώσεις και σχημάτιζαν μια δίτονη κιονοστοιχία, ύψους 13.5 μέτρων, με κάτοψη μορφής Π και με 23 κίονες σε κάθε στάθμη (Πάσιου, 2014). Τα αρχιτεκτονικά μέλη του Παρθενώνα έχουν αρθρωτά, δηλαδή, το ένα πάνω στο άλλο και «εν ξηρώ», χωρίς συνδετικό κονίαμα (Μπούρας & Ζάμπας, 1983).



Εικ. 6. Η βορειοδυτική πλευρά του Παρθενώνα. Πηγή: Κορρές, Μ. (2000), φωτ. Μαυρομμάτης, Σ.

Βασικό χαρακτηριστικό της δομής του ναού αποτελεί η εξαιρετική ακρίβεια με την οποία έχουν λαξευτεί οι επιφάνειες αλλά και η ακρίβεια συναρμογής των λίθων. Έτσι, προσδίδοντας μια μονολιθική συνέχεια σε μια πολύλιθη κατασκευή, δημιουργείται οπτικά η εντύπωση ότι η κατασκευή του μνημείου είναι συνεχής (Πάσιου, 2014; ΥΣΜΑ, 2006). Παρ' όλα αυτά, η καθοριστική συνθήκη που συντέλεσε στην επιτυχία αυτού του ανελαστικού οικοδομήματος, είναι ο βράχος, η μορφολογία, δηλαδή του εδάφους της Ακρόπολης των Αθηνών. Ακολουθεί, σε σημασία, «η ισχυρή πρόσφυση των λίθων», συνδεδεμένων με σιδηρά κυρίως στοιχεία, «που οφείλεται στην τέλεια λάξευση και επαφή, σε συνδυασμό με τη μεγάλη μάζα της κατασκευής και τον επαρκή συντελεστή τριβής μεταξύ μαρμάρων ( $\eta = \sim 0.40-0.55$ )» (Κορρές & Μπούρας, 1983 όπ. αναφ., Πάσιου, όπ. π.). Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την εξ' ολοκλήρου κατασκευή του Παρθενώνα είναι το πεντελικό μάρμαρο, με μοναδική εξαίρεση την ξύλινη οροφή και την πωρολιθική θεμελίωση (Μαστραπάς, 1992).

Αντίθετα από άλλα κτήρια της αρχαιότητας, αλλά και από σύγχρονα οικοδομήματα, ο Παρθενώνας δεν είναι απόλυτα γραμμικός. Η αντικατάσταση της ευθείας από καμπύλες, και στα τρία μέρη της οριζόντιας διαίρεσης του ναού, δημιουργούν «οπτικές εκλεπτύνσεις» οι οποίες «κλείνουν το μνημείο μέσα στον ίδιο του το χώρο, καθιστώντας το αυθύπαρκτο και ατομικό» (Μαστραπάς, 1992).

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι τα 2500 χρόνια της ιστορίας του Παρθενώνα μαρτυρούν, μεταξύ άλλων, την άριστη μηχανική δράση. Αυτό αποδεικνύει ότι οι «μηχανικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν γνωστές και ότι ο τρόπος λειτουργίας των φορέων που διαμορφώθηκαν είχε εκτιμηθεί με πολύ καλή προσέγγιση» (ΥΣΜΑ, 2006 όπ. αναφ., Πάσιου, 2014). Πράγματι, τα υλικά των μνημείων της Ακρόπολης, όπως και άλλα μνημεία της αρχαιότητας, πληρούν τις προδιαγραφές του σύγχρονου αντισεισμικού σχεδιασμού, καθώς «διακρίνονται για την απλότητα και σαφήνεια της στατικής τους λειτουργίας, χαρακτηρίζονται από κανονικότητα σε κάτοψη, έχουν περίπου συμμετρική διάταξη φερόντων στοιχείων και μαζών και περίπου κανονική κατανομή ακαμψίας. Οι μεγάλες ακαμψίες των τοίχων, σε συνδυασμό με τη διαφραγματική λειτουργία οροφών και στεγών μέσω τριβής, συμβάλλουν στην αντοχή των κτηρίων σε οριζόντιες φορτίσεις» (ΥΣΜΑ, 2006 όπ. αναφ., Πάσιου, 2014). Επιπλέον, η σταθερότητα του μεγαλύτερου μέρους του βράχου της Ακρόπολης, αλλά και η ποιότητα δομής των θεμελίων ευνόησαν σημαντικά, στη διάρκεια των αιώνων, την αντισεισμική συμπεριφορά των μνημείων. Έτσι, δεν αποτελεί πλέον έκπληξη το γεγονός ότι οι φθορές των μνημείων της Ακρόπολης που οφείλουν να αντιμετωπιστούν ή που αντιμετωπίστηκαν όλα αυτά τα χρόνια, δεν είναι αποτέλεσμα φυσικών αιτιών αλλά αποδίδονται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Ωστόσο, ο Παρθενώνας, δεν αποτελεί μόνο αποκορύφωμα της αρχιτεκτονικής γνώσης της αρχαίας Αθήνας. Ο γλυπτικός διάκοσμος του ναού αντικατοπτρίζει την ωριμότητα της πλαστικής τέχνης της κλασικής εποχής. Στις 92 μετόπες, που εναλλάσσονταν με τρίγλυφα, τοποθετημένες «πάνω από το επιστύλιο της εξωτερικής κιονοστοιχίας του ναού και κάτω από το γείσο», διακοσμούνται από ανάγλυφες παραστάσεις, τα πρωιμότερα αρχιτεκτονικά γλυπτά που κοσμούν τον Παρθενώνα, με θέματα εμπνευσμένα από την ελληνική μυθολογία: Η Γιγαντομαχία είναι το θέμα της ανατολικής πλευράς, ο Τρωικός πόλεμος της βόρειας, η Αμαζονομαχία της δυτικής και η



Κενταυρομαχία της νότιας πλευράς (Βενιέρη, 2012). Η ζωφόρος, στοιχείο ιωνικού ρυθμού σε συνδυασμό με τον δωρικό ρυθμό, «περιέτρεχε το επάνω μέρος του σηκού και των προστάσεων του ναού» έχοντας κεντρικό θέμα τη μεγαλοπρεπή πομπή των Παναθηναίων, του σημαντικότερου εορτασμού των Αθηναίων προς τιμήν της προστάτιδάς τους, θεάς Αθηνάς.



Εικ. 7. Νότια μετόπη Παρθενώνα: μάχη Κενταύρου και Λάπιθα (Βρετανικό Μουσείο).

Ο γλυπτός διάκοσμος του ναού ολοκληρώνεται με τις τέσσερις υδρορροές σε σχήμα λεοντοκεφαλής και μεγάλα μαρμάρινα ανθήμια φύλλων ακάνθης που κοσμούσαν τις άκρες των πλευρών της στέγης και τα ακρωτήρια (Μαστραπάς, 1992).

### **Ναός της Ρώμης και του Αυγούστου**

Ο ναός της Ρώμης και του Αυγούστου οικοδομείται στα τέλη του 1<sup>ου</sup> αι. π.Χ., στα ανατολικά του Παρθενώνα ή στα ανατολικά του Ερεχθείου με τα αρχιτεκτονικά μέλη του μνημείου να έχουν συγκεντρωθεί ανατολικά του Παρθενώνα (Βενιέρη, 2012). Πρόκειται για περίκεντρο κτίσμα το οποίο έχει συνδυαστεί με μονόπετρο κυκλικό οικοδόμημα αφιερωμένο στη λατρεία της Ρώμης και του Αυγούστου (Μαστραπάς, 1992). Τα αρχιτεκτονικά μέλη που έχουν ανευρεθεί και ταυτοποιηθεί επιβεβαιώνουν την ύπαρξη θόλου, διαμέτρου 8,50 μ. περίπου, με περιμετρική κιονοστοιχία ιωνικού ρυθμού αποτελούμενη από εννέα κίονες χωρίς σηκό. Οι κίονες αποτελούν μίμηση αυτών του Ερεχθείου και αυτό το στοιχείο οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο αρχιτέκτονας ήταν ο ίδιος που ανέλαβε να επιδιορθώσει το Ερέχθειο μετά τις ζημιές που του προξένησε μια πυρκαγιά. Στο επιστήλιο ανευρέθηκε επιγραφή χάρη στην οποία η

χρονολόγηση του μνημείου εντοπίζεται μετά το 27 π.Χ., όταν ο Οκταβιανός απέκτησε τον τίτλο του Αυγούστου (Μαστραπάς, οπ. π.). Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Πausanias δεν αναφέρει το μνημείο καθώς κατά πάσα πιθανότητα δεν παρουσίαζε κανένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον (Βενιέρη, 2012).

### **Ιερό Διός Πολιέως**

Η ύπαρξη του ιερού αφιερωμένου στον Δία τεκμαίρεται από λαξεύματά που βρίσκονται πάνω στο βράχο και από άλλες γραπτές μαρτυρίες. Η τοποθεσία του ιερού βρισκόταν βορειοανατολικά του Παρθενώνα, στο πιο ψηλό σημείο του βράχου. Η μελέτη των καταλοίπων επιτρέπει να συμπεράνει κανείς ότι το ιερό αποτελούνταν από ένα ορθογώνιο περίβολο, ενώ το κυρίως ιερό κλεινόταν από έναν άλλο ιδιαίτερο περίβολο ο οποίος περιελάμβανε στο εσωτερικό του έναν μικρό ναό και μια μακρόστενη τράπεζα προσφορών. Το ιερό αυτό συνδέεται με μία τοπική τελετή προς τιμήν του Δία, τα γνωστά «Διιπόλεια». Πληροφορίες για την τελετή αυτή αλλά και για την ύπαρξη αγάλματος του Δία Πολιέα, προέρχονται από Πausanias (I, 24, 4) (Μαστραπάς, 1992).

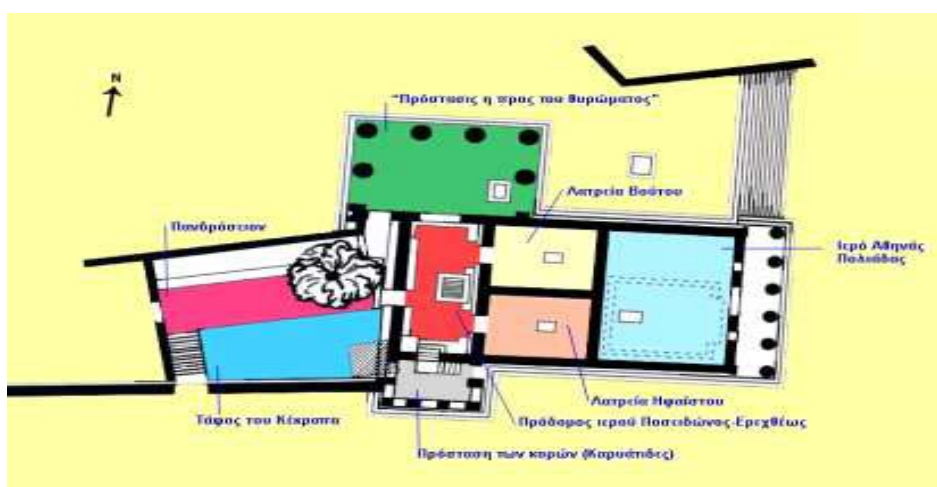
### **Βωμός Αθηνάς**

Σύμφωνα με την Ιλιάδα (B 550), πάνω στην Ακρόπολη υπήρξε βωμός αφιερωμένος στον Ερεχθέα. Όπως επισημαίνεται από τον Μαστραπά (1992), στον βωμό αυτό θα πραγματοποιούνταν και οι τελετές προς τιμήν της θεάς Αθηνάς, ιδιαίτερα κατά τους αρχαϊκούς χρόνους αλλά και αργότερα, όταν πλέον είχε παγιωθεί στον ελληνικό κόσμο η λατρεία των δώδεκα θεών του Ολύμπου. Πολύ πιθανά, ο βωμός αυτός βρισκόταν ανατολικά του αρχαίου ναού, στο σημείο όπου η αρχαιολογική σκαπάνη έφερε στο φως κάποια λαξεύματα του βράχου. Ωστόσο, η έλλειψη μνείας του βωμού από τον Πausanias δημιουργεί πολλά ερωτήματα σχετικά με την ύπαρξή του (Μαστραπάς, 1992).

### **Ερέχθειον**

Το Ερέχθειο, οικοδόμημα ιδιόρρυθμης αρχιτεκτονικής μορφής, βρίσκεται βόρεια του Παρθενώνα. Η οικοδόμηση του εκτιμάται ότι διήρκεσε από το 421 έως το 406 π.Χ., «αντικαθιστώντας τον πρωιμότερο ναό, που βρισκόταν λίγο πιο νότια και ήταν

αφιερωμένος στην Αθηνά Πολιάδα, τον λεγόμενο “Αρχαίο ναό”». Ο ναός αναφέρεται ως «Ερέχθειο» μόνο από τον Πausανία (1, 26, 5) και η ονομασία αυτή σχετίζεται με το μυθικό βασιλιά των Αθηνών Ερεχθέα, που λατρευόταν αρχικά σε αυτήν τη θέση. Σε άλλες πηγές, το οικοδόμημα αναφέρεται απλώς ως «ναός» ή «αρχαίος ναός». Όπως αναφέρει η Βενιέρη (2012), «η ιδιόρρυθμη μορφή του οφείλεται, εν μέρει, στη διαμόρφωση του εδάφους, που είναι κατά 3 μ. ψηλότερο στο ανατολικό μέρος, αλλά και στις δύο κύριες λατρείες, που έπρεπε να στεγάσει σε δύο διαφορετικούς χώρους». Ο πρώτος χώρος ήταν αφιερωμένος στην Αθηνά Πολιάδα, στο ανατολικό τμήμα του κτηρίου, ενώ «στο δυτικό τμήμα, που βρισκόταν σε χαμηλότερο επίπεδο, λατρευόταν ο Ποσειδώνας - Ερεχθέας και υπήρχαν βωμοί του Ηφαίστου και του Βούτου, αδελφού του Ερεχθέα». Επιπλέον, σύμφωνα με το μύθο, το Ερέχθειο ήταν η κατοικία του «οικουρού όφι», το ιερό φίδι της θεάς Αθηνάς. Στον ίδιο χώρο γύρω από το μνημείο, υπήρχαν ορισμένα «ιερά» σημεία, που προστατεύονταν από το κτήριο: ο τάφος του Κέκροπα και τα ίχνη που θύμιζαν την έριδα για την κηδεμονία της πόλης των Αθηνών, μεταξύ της Αθηνάς και του Ποσειδώνα.



Εικ. 8. Κάτοψη Ερεχθείου. Πηγή: Dinsmoor, W.B. οπ. αναφ., Ορλάνδος, Α.Κ. (1967-1968).

Για την κατασκευή του οικοδομήματος χρησιμοποιήθηκε το πεντελικό μάρμαρο, ενώ για τη ζωφόρο η γκρίζα ελευσινιακή πέτρα και για τα θεμέλια ο πειραιϊκός ακτίτης. Η πρόσοψη του ανατολικού τμήματος χαρακτηρίζεται από μια εξάστυλη στοά ιωνικού ρυθμού.

Η επικοινωνία μεταξύ σηκού και πρόστασης επιτυγχάνονταν μέσω θύρας, με ένα παράθυρο στα δεξιά και ένα στα αριστερά της, όπως δείχνουν τα κατάλοιπά της (Μαστραπάς, 1992). Στο εσωτερικό του Ερεχθείου φυλάγονταν το «ξόανο», το άγαλμα, δηλαδή, της Αθηνάς, «φτιαγμένο από ξύλο ελιάς, το οποίο έντυναν με τον πέπλο οι Αρρηφόροι κατά τη διάρκεια της γιορτής των Παναθηναίων» (Βενιέρη, 2012). Στο δυτικό τμήμα, αυτό του χαμηλότερου επιπέδου, η είσοδος «γινόταν από ένα πρόπυλο σε σχήμα Π, στη βόρεια πλευρά, με τέσσερις ιωνικούς κίονες στην πρόσοψη και από έναν σε κάθε πλευρά» (Βενιέρη, 2012). Η πρόσβαση μεταξύ Ερεχθείου και του ιερού της Πανδρόσου επιτυγχάνονταν από μια πόρτα που βρισκόταν στον δυτικό τοίχο του ναού. Στον νότιο τοίχο μια άλλη πόρτα οδηγούσε μέσω μιας κλίμακας, στην πρόσταση των Καρυάτιδων, έργα του γλύπτη Αλκαμένη ή, σύμφωνα με άλλες πηγές, του Καλλίμαχου. Την πρόσταση διαμορφώνει ένα στηθαίο, ύψους 1,80 μ., περίπου και σχήματος Π, επάνω στο οποίο πατούν αντί για κίονες τα αγάλματα έξι κορών, οι οποίες στην ύστερη αρχαιότητα αναφέρονται με την ονομασία Καρυάτιδες. (Μαστραπάς, 1992).

Όπως είναι γνωστό, από τα έξι αγάλματα, τα πέντε βρίσκονται στο μουσείο της Ακρόπολης και ένα στο Βρετανικό μουσείο ενώ τη θέση τους στο μνημείο κατάλαμβάνουν πανομοιότυπα αντίγραφα χυτού υλικού. Το οικοδόμημα διακοσμούσε μία ζώνη -επικρανίτιδα- από ανθέμια, ενώ μια ζωφόρος από πλάκες ελευσινιακού λίθου και, πιθανόν σκηνές σχετικές με τους μυθικούς βασιλείς της Αθήνας, ανάγλυφες από πεντελικό μάρμαρο, ολοκλήρωνε τη διακόσμηση.

### **Πανδρόσειο**

Στη δυτική πλευρά του Ερεχθείου είχε κατασκευαστεί μικρό ιερό αφιερωμένο στην Πάνδροσο, μία από τις κόρες του μυθικού βασιλιά Κέκροπα, γενάρχη των Αθηναίων. Την ύπαρξη του ιερού μαρτυρούν ελάχιστα σωζόμενα ίχνη και κάποια ιδιαίτερα αρχιτεκτονικά μέλη επίστρωσης του δαπέδου. Το μνημείο αποτελείτο από τετράπλευρο περίβολο με μικρό ναό που στην βορειοδυτική γωνία του περιέκλειε το βωμό του Ερκείου Διός και την ιερή ελιά της Αθήνας. Όπως υπογραμμίζεται από τον Μαστραπά (1992) η λοξή κατεύθυνση του ιερού σε σχέση με το Ερέχθειο αποτελεί ενδεικτικό στοιχείο για τους ερευνητές ότι ως κατασκευή, το Πανδρόσειο, προϋπήρξε του Ερεχθείου (Μαστραπάς, 1992)

## **Αρχαίος νεώς**

Κατά μήκος της νότιας πλευράς του Ερεχθείου, υπάρχουν τα ερείπια του «Αρχαίου ναού», ενός ναού της αρχαϊκής περιόδου, με περιορισμένη θεμελίωση, αφιερωμένου στην Πολιάδα Αθηνά. Η μελέτη των καταλοίπων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ναό δωρικού ρυθμού, περίπτερο με διπλό σηκό και διάρθρωση εσωτερική που μοιάζει με αυτή του Ερεχθείου. Από τα κατάλοιπα συμπεραίνεται επίσης ότι ο ναός υπήρχε στην ίδια θέση, ήδη, από τους γεωμετρικούς χρόνους, ενώ αρχιτεκτονικά του μέλη θεωρούνται οι δύο λίθινες βάσεις κίωνων που βρίσκονται μέσα στο χώρο σε τετράγωνα κιγκλιδώματα (Μαστραπάς, 1992).

## **Οίκημα των Αρρηφόρων**

Όπως αναφέρει ο Πausanias (I, 27, 3), σε κοντινή απόσταση από το Ερέχθειο, βρίσκονταν οικοδόμημα το οποίο λειτουργούσε ως κατοικία των Αρρηφόρων. Οι «Αρρηφόροι» ήταν παρθένες που έπαιρναν μέρος σε μυστήρια και τελετές -τα Αρρηφόρια- οι οποίες κατά πάσα πιθανότητα συνδέονταν με την αναπαραγωγή και την καρποφορία. Σήμερα διακρίνονται κατάλοιπα τετράγωνου κτίσματος, ΒΔ του Ερεχθείου και κατά μήκος τμήματος του βόρειου τοίχου στις Ακρόπολης. Το «οίκημα» αποτελούνταν από μία αίθουσα και έναν πρόδρομο από δύο κίονες μεταξύ παραστάδων (Μαστραπάς, 1992).

## **Κτίσμα ΒΔ περιοχής**

Κοντά στα Προπύλαια και δίπλα στο βόρειο τοίχο της Ακρόπολης βρίσκονται ερείπια που οδηγούν στην άποψη ύπαρξης ενός κτιρίου αποτελούμενου από δύο δωμάτια, το οποίο κατασκευάστηκε την ίδια περίοδο με το τείχος της Ακρόπολης, δηλαδή ακριβώς μετά τους περσικούς πολέμους. Αν και η χρήση του δεν έχει διευκρινιστεί με ακρίβεια, πρόκειται μάλλον για το ιερό του Πανδίωνος. Οι σύγχρονες ανασκαφικές έρευνες αναμένεται να δώσουν περισσότερες πληροφορίες γι' αυτό το χώρο.

## **Τείχος**

Η Ακρόπολη, λόγω της γεωμορφολογίας της, αν και φυσικά οχυρωμένη, χρειάστηκε στη διάρκεια του χρόνου επιπλέον τεχνητή οχύρωση. Κατά τη μυκηναϊκή περίοδο, κατασκευάζεται το πρώτο οχυρωματικό τείχος -«Κυκλώπειο» (1240-1230 π.Χ.)- τμήμα

του οποίου είναι ορατό, μεταξύ άλλων, στη ΝΑ των Προπυλαίων. Όπως αναφέρει η Βενιέρη (2012), «η κύρια είσοδος στο χώρο βρισκόταν (όπως και σε όλες τις ιστορικές περιόδους) στη δυτική πλευρά του λόφου», ενισχυμένη από έναν πύργο, «στη θέση του οποίου οικοδομήθηκε αργότερα ο ναός της Αθηνάς Νίκης» (Βενιέρη, 2012). Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, το τείχος της Μυκηναϊκής περιόδου, διατηρήθηκε μέχρι το 480 π.Χ., «οπότε υπέστη σοβαρές ζημιές κατά την επιδρομή των Περσών» (Βενιέρη, οπ. π.). Παράλληλα με την κατασκευή του Κυκλώπειου τείχους, ή λίγα χρόνια αργότερα, προστίθεται στα ΒΔ κράσπεδα του λόφου οχυρωματικός περίβολος σε σχήμα τόξου, το «Πελαργικόν» (Μαστραπάς, 1992).

Μετά την αποχώρηση των Περσών, ο Θεμιστοκλής ανέλαβε πρωτοβουλία να επανατειχισθεί η Ακρόπολη και να τειχισθεί η πόλη της Αθήνας. Στον «Ιερό Βράχο», κατασκευάζεται αρχικά το βόρειο τείχος -«Θεμιστόκλειο»- με υλικά από τα κατεστραμμένα μνημεία. Έτσι, σήμερα είναι ορατοί, στην περιοχή βόρεια του Ερεχθείου, οι ημιτελείς μαρμαρίνοι σπόνδυλοι του προ-Παρθενώνα και, δυτικότερα, τα τμήματα του θριγκού ( τρίγλυφα, γείσα και μετόπες) από τον αρχαίο ναό της Αθηνάς. Το νότιο τείχος οικοδομείται την εποχή του Κίμωνα, μετά τη νίκη στον Ευρυμέδοντα ποταμό το 467 π.Χ., γι' αυτό και ονομάστηκε «Κιμώνειο» (Βενιέρη, 2012). Για την κατασκευή του νότιου τείχους, διευρύνθηκε η επιφάνεια του βράχου της Ακρόπολης, ενώ, για την οικοδόμησή του, χρησιμοποιήθηκαν τα επιστύλια του αρχαίου ναού και του προ-Παρθενώνα.

Μετά την επιδρομή των Ερούλων (3<sup>ος</sup> αι. μ.Χ.), κάτω από τα Προπύλαια και, πιο συγκεκριμένα, δυτικά της Ακρόπολης, κατασκευάστηκε συμπληρωματική οχύρωση και δύο πύλες, από τις οποίες η δυτική είναι η πύλη Βευιέ (βλ. κεφ. 1.1.1). Από εκείνη την εποχή έως και τον 19<sup>ο</sup> αι., η Ακρόπολη θα μετατραπεί και πάλι σε οχυρό και διατήρησε αυτό το χαρακτήρα έως τον 19<sup>ο</sup> αι.

Στη διάρκεια της μεσαιωνικής περιόδου, τον 13<sup>ο</sup> αι., επισκευάζεται το νότιο τείχος της Ακρόπολης και κατασκευάζεται ένας πύργος στα δυτικά των Προπυλαίων -Κουλάς- ο οποίος δεν διασώθηκε, και ένας άλλος πύργος στα ΒΑ, στη θέση του σημερινού Belvedere. Οι πιο πρόσφατες επισκευές του τείχους θα πραγματοποιηθούν μετά τον Β΄ ΠΠ, στη νοτιοανατολική γωνία του τείχους (Βενιέρη, 2012).

## 1.2. Επισκόπηση επεμβάσεων στα μνημεία της Ακρόπολης έως και την ίδρυση του νέου Ελληνικού Κράτους

### 1.2.1. Ο Χώρος

Ο βραχώδης λόφος της Ακρόπολης ήταν το ψηλότερο σημείο της αρχαίας πόλης της Αθήνας, όπως εξάλλου αποτυπώνεται και στο όνομα του: άκρα + πόλις. Πρόκειται για έναν λόφο, ο οποίος βρίσκεται στα ΝΔ κράσπεδα του κέντρου της σύγχρονης πόλης, ύψους 60-70 μέτρων από το περιμετρικό του έδαφος και 156 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας.

Αν και δεν αποτελεί το ψηλότερο σημείο της ευρύτερης περιοχής της πόλης, καθώς, όπως είναι γνωστό, πλησίον του λόφου αυτού υπήρχαν ψηλότεροι λόφοι, όπως για παράδειγμα ο λόφος του Λυκαβηττού, Αρδηττού ή Αγχεσμού, η επιλογή της «Ακρόπολης» στην αρχαιότητα οφείλεται, σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, στη φυσική διαμόρφωση και στην θέση που κατέχει ο βράχος μέσα στον ευρύτερο χώρο. Πράγματι, στην κορφή του λόφου σχηματίζεται μια σχεδόν επίπεδη και οικοδομήσιμη επιφάνεια, 300 μ., από Α. προς Δ. και 150 μ. περίπου πλάτος από Ν. προς Β.

Η επιλογή του λόφου πρέπει επίσης να ενισχύθηκε από το γεγονός ότι ανάμεσα στις σχισμές των βράχων υπήρχαν πηγές πόσιμου νερού, ενώ όλη η ανατολική πλευρά καθώς επίσης και το μεγαλύτερο τμήμα της νότιας και βόρειας πλευράς καταλήγει σε απότομες πλαγιές. Εύλογα, οι απόκρημνοι βράχοι θα εξασφάλιζαν στους πρώτους κατοίκους προστασία από εχθρικές επιδρομές καθώς αποτελούσαν μία φυσική οχύρωση. Σταδιακά ο βράχος της Ακρόπολης θα οχυρωθεί, αρχικά, με τη χρήση τεράστιων λίθινων όγκων στη ΝΔ και ΒΔ γωνία, ενώ τα οχυρωματικά αναλήμματα θα επεκταθούν, στη συνέχεια, σε όλη τη δυτική πλευρά, τη μόνη προσβάσιμη λόγω ομαλής κλίσης.

Στο βράχο αυτό, με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της πόλης θα αναπτυχθεί το σημαντικότερο και μεγαλοπρεπέστερο ιερό της αρχαίας πόλης των Αθηνών, αφιερωμένο, κατά κύριο λόγο, στην προστάτιδα θεά της, την Αθηνά. Με τον χώρο αυτό θα σχετιστούν οι σημαντικότεροι μύθοι της αρχαίας Αθήνας, οι μεγάλες θρησκευτικές εορτές, οι παλαιότερες λατρείες της πόλης αλλά και ορισμένα από τα καθοριστικά για την ιστορία της γεγονότα. Αριστοτεχνικά και πλήρως εναρμονισμένα με το φυσικό περιβάλλον, τα μνημεία της Ακρόπολης, «αποτελούν μοναδικά αριστουργήματα της

αρχαίας αρχιτεκτονικής, που εκφράζουν πρωτοποριακούς συσχετισμούς ρυθμών και τάσεων της κλασικής τέχνης και επηρέασαν την πνευματική και καλλιτεχνική δημιουργία για πολλούς αιώνες αργότερα» (Βενιέρη, 2012).

Γνωστή κυρίως για την αίγλη που απέκτησε τον 5<sup>ο</sup> αι. π.Χ., η Ακρόπολη της Αθήνας, είναι μια ανάγλυφη σύνθεση μιας μακραίωνης ιστορίας, η οποία, λόγω των αλλεπάλληλων επεμβάσεων οικοδόμησης αλλά και εργασιών αποκατάστασης των μνημείων συνεχίζει να αποτελεί πηγή τεράστιου επιστημονικού ενδιαφέροντος.

### **1.2.2. Προϊστορικοί χρόνοι**

Τα πρώτα στοιχεία κατοίκησης του βράχου της Ακροπόλεως προέρχονται από τα νεολιθικά χρόνια (4000/3500-3000 π.Χ.), όπως μαρτυρούν κάποια ευρήματα κεραμικής που προέρχονται κυρίως από τις πλαγιές του βράχου. Κατάλοιπα εγκατάστασης εντοπίζονται στην περιοχή μεταξύ του Ερεχθείου και του Παρθενώνα προερχόμενα από την πρώιμη και μέση εποχή χαλκού. Τα αρχιτεκτονικά αυτά κατάλοιπα δίνουν την εικόνα μίας οχυρωμένης, πλέον, μυκηναϊκής Ακρόπολης, με ίχνη ανακτόρου.

Όπως επισημαίνεται από τον Μαστραπά (1992), τμήμα του μυκηναϊκού τείχους διακρίνεται ΝΑ των Προπυλαίων, με κυκλώπεια δομή, ενώ οι συγγραφείς των κλασικών χρόνων αποδίδουν σε αυτό την ονομασία Πελαργικό τείχος» (Μαστραπάς, 1992). Την ίδια περίοδο με αυτήν των μυκηναϊκών χρόνων, συνδέεται και μία πηγή στην βόρεια σχισμή του βράχου καθώς επίσης άλλα λείψανα και μικρές συστάδες τάφων έχουν ανευρεθεί στη ΒΔ και ΝΑ παρυφή του λόφου (Μαστραπάς, 1992).

### **1.2.3. Αρχή των Ιστορικών χρόνων και αρχαϊκή περίοδος**

Με την πάροδο των χρόνων, το διοικητικό κέντρο της αρχαίας πόλης μεταφέρεται κάτω από την Ακρόπολη και ο λόφος μεταβάλλεται σταδιακά σε αποκλειστικά χώρο λατρείας, αν και ο βράχος της Ακρόπολης θα συνεχίσει να διατηρεί την ονομασία «πόλις» έως και τον 4<sup>ο</sup> αι. π.Χ. (Μαστραπάς, 1992).

Τον 8<sup>ο</sup> αι. π.Χ., κατασκευάστηκε, σύμφωνα με τις σωζόμενες ενδείξεις (δύο λίθινες βάσεις κίωνων) και μια αναφορά στα Ομηρικά έπη (Β 549, κ81), ένας ναός προς τιμή της Αθηνάς Πολιάδος στα Ν. του Ερεχθείου, στη θέση του μυκηναϊκού ανακτόρου.



Οι αρχαϊκοί χρόνοι σηματοδοτούν την οριστική μεταβολή του βράχου της Ακρόπολης σε χώρο λατρείας. Τον 6<sup>ο</sup> αι. π.Χ., ένας νέος ναός, προς τιμή της Πολιάδος, μεγαλύτερος σε διαστάσεις, θα κτιστεί στη θέση του παλαιότερου, γνωστός ως «ο αρχαίος νεώς» (Μαστραπάς, οπ. π.) καθώς επίσης και ο Εκατόμπεδος, πρόδρομος του Παρθενώνα. Την ίδια περίοδο κατασκευάζεται το ιερό της Βραυρωνίας Αρτέμιδος και γίνεται μια πρώτη προσπάθεια διαμόρφωσης μνημειακού προτύλου του χώρου. Αν και τα σχέδια των αρχαϊκών Προπυλαίων δεν είναι γνωστά, τα αρχαιολογικά ευρήματα τα τοποθετούν πλησίον του Πελαργικού τείχους, ενώ τα κατασκευαστικά υλικά αποτελούνταν από πωρόλιθο και μάρμαρο (Βενιέρη, 2012, Μαστραπάς, 1992).

#### **1.2.4. Κλασικοί χρόνοι**

Στις αρχές του 5<sup>ου</sup> αι. π.Χ., χτίζεται στην ακρόπολη μια μεγάλη κρηπίδα, ίχνη της οποίας διακρίνονται και σήμερα στο ΝΔ μέρος του ναού της κλασικής εποχής. Η κρηπίδα συνδέεται με την κατασκευή του «Εκατόμπεδου», ο οποίος θα καταστραφεί, όπως και όλα τα άλλα κτήρια της Ακρόπολης από τους Πέρσες το 480 π.Χ.

Με την αποχώρηση των Περσών, οι Αθηναίοι «ενταφίασαν το γλυπτό διάκοσμο των κατεστραμμένων ναών καθώς και όσα αναθήματα είχαν διασωθεί, γεμίζοντας τις φυσικές κοιλότητες του εδάφους και διαμορφώνοντας με αυτό τον τρόπο τεχνητά άνδρα στο χώρο του ιερού» (Βενιέρη, 2012). Στη βόρεια πλευρά της Ακρόπολης κτίζεται νέο τείχος με παράλληλη ενσωμάτωση αρχιτεκτονικών μελών από τους κατεστραμμένους ναούς, αρχικά από το Θεμιστοκλή και στη συνέχεια ο Κίμωνας ενισχύει με τείχος τη νότια πλευρά του βράχου (Μαστραπάς, 1992, Βενιέρη, 2012).

Ο θάνατος του Κίμωνα, δίνει τέλος στα έργα της Ακρόπολης. Ωστόσο, η άνοδος στην πολιτική ζωή της αρχαίας Αθήνας του Περικλή, η απομάκρυνση της περσικής απειλής, η ίδρυση της Α' Αθηναϊκής συμμαχίας, η σταδιακή άνοδος και η ηγεμονική στάση των Αθηναίων απέναντι στους συμμάχους με τη συνακόλουθη μεταφορά του συμμαχικού ταμείου από τη Δήλο στην Ακρόπολη (454 π.Χ.) και η εκμετάλλευση από την πόλη κράτος των Αθηνών των μεταλλείων αργύρου του Λαυρίου, δημιούργησαν όλες εκείνες τις συνθήκες που συνέτειναν στην κατασκευή των μεγάλων έργων στον βράχο της Ακρόπολης. Το οικοδομικό πρόγραμμα του Περικλή άρχισε με την συμβολική ανοικοδόμηση του Παρθενώνα. Ακολούθησε η προσπάθεια οικοδόμησης του μνη-

μείου των Προπυλαίων. Ο πελοποννησιακός πόλεμος σταμάτησε κάθε οικοδομική εργασία και έτσι, το πρόγραμμα του Περικλή θα μείνει ημιτελές. Οι εργασίες θα επαναληφθούν μετά την υπογραφή της Νικίας Ειρήνης (421 π.Χ.) γεγονός που επέτρεψε την κατασκευή του Ερεχθείου και πιθανά, την κατασκευή του ναού της Απτέρου Νίκης. Στη διάρκεια του 5<sup>ου</sup> αι. π.Χ. θα κατασκευαστούν κι άλλα έργα στην Ακρόπολη από τα οποία δεν έχουν διασωθεί παρά ελάχιστα ίχνη τους, η Χαλκοθήκη και το Αρρηφόριο. Η κατασκευή οικοδομήματος που έχει χαρακτηριστεί ως η κατοικία των ιερέων τα ερείπια του οποίου εντοπίζονται στη ΒΔ πλευρά της Ακρόπολης, πίσω από τα Προπύλαια, πρέπει να τοποθετηθεί στα τέλη των Περσικών πολέμων. Στη θέση του παλαιού μουσείου της Ακρόπολης, βρισκόταν ένα ιερό, αφιερωμένο ίσως, στον τοπικό ήρωα Πανδίωνα. Τον 4<sup>ο</sup> αι. π.Χ., οι οικοδομικές δραστηριότητες στον βράχο της Ακρόπολης σταματούν οριστικά, ενώ στη διάρκεια των ελληνιστικών χρόνων θα διατηρηθεί αναλλοίωτη η μορφή όλων των μνημείων, εκτός κάποιων μεμονωμένων παρεμβάσεων κατά τη διάρκεια της Ύστερης αρχαιότητας.

#### **1.2.5. Ρωμαϊκοί χρόνοι**

Τον 2<sup>ο</sup> αι. π.Χ., κατασκευάζεται μπροστά από τα Προπύλαια, στη δεξιά πλευρά ένα βάθρο που είχε αρχικά δεχτεί αφιερωματικό μνημείο του βασιλιά της Περγάμου Ευμένη Β' και το οποίο, σύμφωνα με τις ενδείξεις, αντικαταστάθηκε από μνημείο του Αγρίππα, το 27 π.Χ. (βλ. κεφ. 1.1.). περίπου την ίδια χρονική περίοδο κατασκευάζεται ΒΑ από την είσοδο του Παρθενώνα, ένα μικρός κυκλικός ναός αφιερωμένος στη λατρεία της Ρώμης και του Αυγούστου (Μαστραπάς, 1992). Ο ναός αυτός αποτελεί το τελευταίο ρωμαϊκό οικοδόμημα στην Ακρόπολη. Η τελευταία οικοδομική παρέμβαση γίνεται τον 3<sup>ο</sup> αι. μ.Χ., όταν η εισβολή των Ερούλων έγινε η αιτία κατασκευής οχυρωματικού τείχους με δύο πύλες μπροστά από τη δυτική πλευρά (βλ. πύλη Beulé, κεφ. 1.1.)

Από τις τελευταίες παρεμβάσεις της ρωμαϊκής περιόδου στα μνημεία της Ακρόπολης είναι αυτή του Ερεχθείου, στα χρόνια του Αυγούστου. Πράγματι, τον 1<sup>ο</sup> αι. π.Χ., μετά από πυρκαγιά το κτήριο είχε υποστεί σοβαρές ζημιές και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μια πρώτη δραστική επισκευή (Παπανικολάου, 2012).

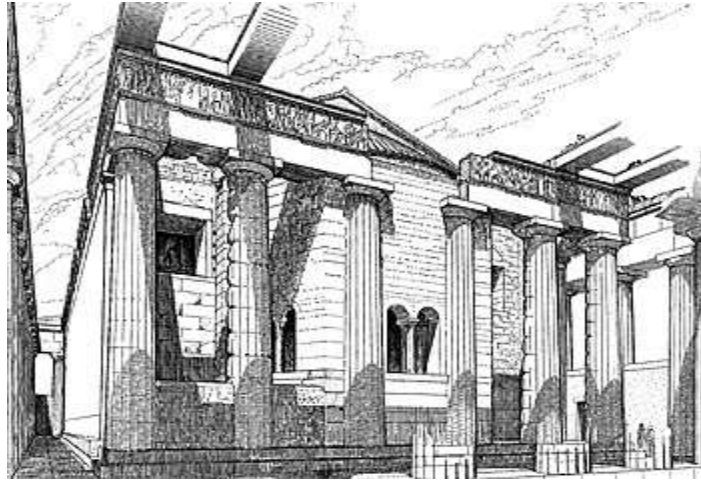
### 1.2.6. Βυζαντινοί χρόνοι και Φραγκοκρατία

Τα στοιχεία που αφορούν στην Ακρόπολη των Αθηνών μετά την όψιμη αρχαιότητα είναι ελλιπή, τα κατάλοιπα των μνημείων είναι ελάχιστα και οι μαρτυρίες, όταν δεν είναι ανακριβείς, σπανίζουν.



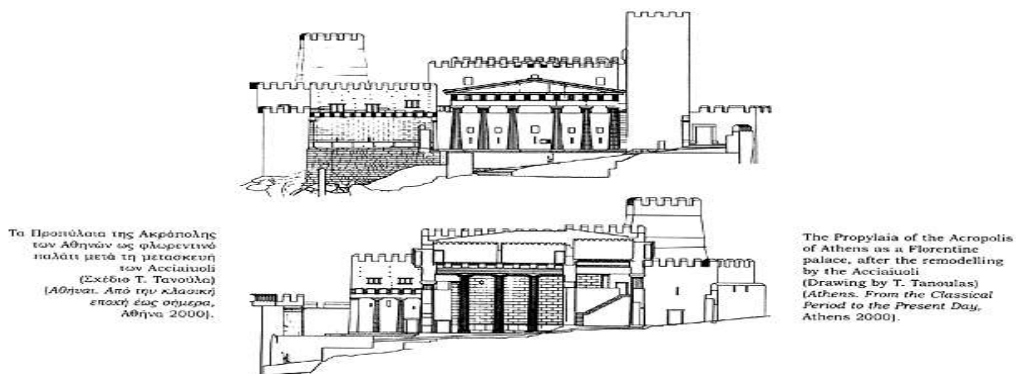
Εικ. 9. Πύλη Βευλιέ: βόρειος πύργος Ακρόπολης Αθηνών. Μεσοβυζαντινές θολωτές κατασκευές ενισχύσεως (σχεδ. Δ. Ζιρώ - Μ. Σιγάλ). Πηγή: [www.byzantineathens.com](http://www.byzantineathens.com)

Σύμφωνα με τον Holtzmann (2012), αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι στη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> αιώνα, μετά την Ανεξαρτησία της Ελλάδας, υπήρξε μια έντονη προσπάθεια εξαφάνισης κάθε είδους μαρτυρίας που θεωρούνταν ότι επισκίαζε την αίγλη της Αθήνας του 5<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. (Holtzmann, 2012). Ενδεικτική είναι, μεταξύ άλλων, η καταστροφή του πανύψηλου μεσαιωνικού πύργου της Ακρόπολης, κατασκευασμένου από όγκους κτισμάτων της αρχαιότητας, καταστροφή η οποία χρηματοδοτήθηκε από τον ίδιο τον Σλήμαν, το 1875 (Holtzmann, σπ. π.).



Εικ. 10. Ο Παρθενώνας ως χριστιανικός ναός, ανατολική πλευρά. Πηγή: Κορρές, Μ. (2000).

Σε κάθε περίπτωση, η Ακρόπολη έχει ήδη πάψει να αποτελεί πανελλήνιο ιερό ενώ η αναγνώριση από τη ρωμαϊκή αυτοκρατορία της χριστιανικής πίστης ως επίσημης θρησκείας από το ρωμαϊκό κράτος και η ίδρυση της βυζαντινής αυτοκρατορίας σηματοδότησαν την πλήρη κατάργηση της ειδωλολατρίας. Έτσι, κατά τη βυζαντινή περίοδο (8<sup>ος</sup> - 12<sup>ος</sup> αι.), η Ακρόπολη έρχεται στο προσκήνιο καθώς ο Παρθενώνας αλλάζει χρήση αφού μετατρέπεται σε χριστιανικό ναό αφιερωμένο στην Παναγία (Kardellis, 2008 όπ. αναφ., Holtzmann, 2012). Ωστόσο, όπως επισημαίνεται από τον Φυλακτό (2012), η μετατροπή του Παρθενώνα και των άλλων μνημείων της Ακρόπολης σε χριστιανικούς ναούς αποτελεί ευτύχημα καθώς με αυτόν τον τρόπο διασώθηκαν από την φυσική φθορά, την λεηλασία και τους εμπρησμούς όπως συνέβη με άλλα μνημεία της αρχαιότητας που είχαν εγκαταλειφθεί (Φυλακτός, 2012).



Τα Προπύλαια της Ακρόπολης των Αθηνών ως φλωρεντινό παλάτι μετά τη μετασκευή των Ακκλαϊνολί (Σχέδιο Τ. Τανούλας) (Αθήνα: Από την κλασική εποχή έως σήμερα, Αθήνα 2000).

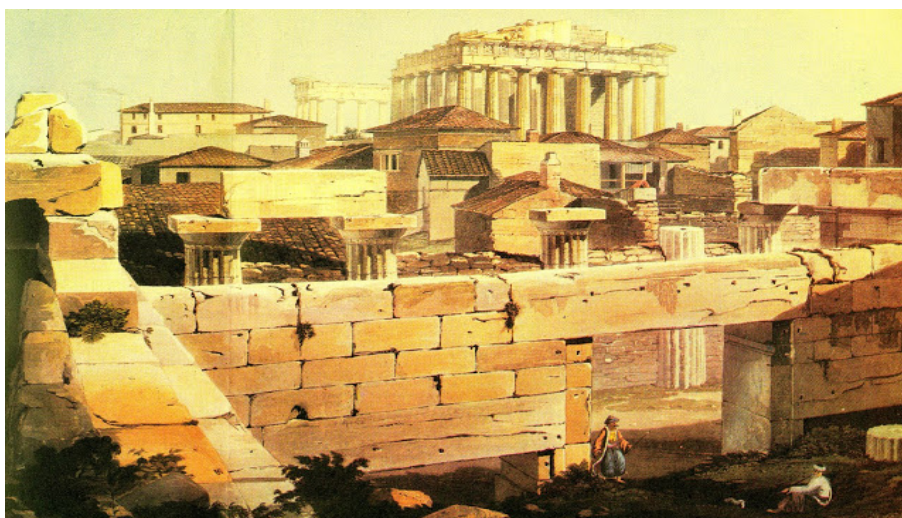
The Propylaea of the Acropolis of Athens as a Florentine palace, after the remodelling by the Acciaiuoli (Drawing by T. Tanoulas) (Athens: From the Classical Period to the Present Day, Athens 2000).

Εικ. 11. Τα Προπύλαια ως Φλωρεντινό Παλάτι. Πηγή: Τανούλας (1997)

Την περίοδο της φραγκοκρατίας (13<sup>ος</sup> - 15<sup>ος</sup> αι.), ο Παρθενώνας μετατρέπεται σε φραγκική εκκλησία και η ανατολική στοά των Προπυλαίων σε κατοικία του εκάστοτε φράγκου δούκα.

### 1.2.7. Τουρκοκρατία

Δύο χρόνια μετά την κατάληψη της Αθήνας από τους Τούρκους (1456), η Ακρόπολη θα μετατραπεί σε φρούριο ενώ όλοι οι χώροι ανάμεσα στα μνημεία θα γεμίσουν παραπήγματα προκειμένου να στεγαστούν οι οικογένειες των Τούρκων φρουρών.



Εικ. 12. Ο Παρθενώνας το 1802, από τη μεριά των Προπυλαίων (Έργο του E. Dodwell του 1802, με χάραξη του J. Bailey). Πηγή: <https://bit.ly/3wRWiMk>

Ο Παρθενώνας μετατρέπεται πλέον σε τζαμί και ένα τμήμα του σε αποθήκη φύλαξης πυρομαχικών. Η αρπαγή μαρμάρων, τόσο από τα μνημεία της Ακρόπολης, όσο και από τα άλλα μνημεία της αρχαιότητας συνεχίζεται με ραγδαίους ρυθμούς καθώς χρησιμοποιούνται για την κατασκευή νέων κτηρίων και την παραγωγή ασβέστη. Στη διάρκεια του πολέμου μεταξύ Ενετών και Τούρκων, στις 26 Σεπτεμβρίου 1687, μια βόμβα από το πυροβολικό του Μοροζίνι θα ανατινάξει την αποθήκη πυρομαχικών του Παρθενώνα διαμελίζοντας έτσι το μνημείο. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι στη διάρκεια της τουρκοκρατίας, αρχίζουν να επισκέπτονται την Ελλάδα περιηγητές από τη Δύση. Έτσι, λίγα χρόνια πριν την καταστροφή της Ακρόπολης από τον Μοροζίνι, το 1674, θα επισκεφτεί την Αθήνα ο μαρκήσιος de Nointel, εντεταλμένος του Λουδοβίκου 14<sup>ου</sup> στην Υψηλή Πύλη, ο οποίος, χάρη στους δυο ζωγράφους που τον συνόδευαν θα

απαθανάτισε τα γλυπτά του Παρθενώνα εκείνης της περιόδου. Τα σχέδια αυτά, τα μοναδικά που αναπαριστούν το μνημείο πριν την καταστροφή του 1687, φυλάσσονται στην Εθνική Βιβλιοθήκη της Γαλλίας και αποτέλεσαν ανεκτίμητη πηγή για την απόκατάσταση της κεντρικής μετόπης της νότιας πλευράς του Παρθενώνα (Holtzmann, 2012). Μια από τις τελευταίες πράξεις καταστροφικής επέμβασης στον Παρθενώνα, πριν την Ανεξαρτησία, αποτελεί η παρέμβαση του Λόρδου Έλγιν.

### **1.3. Επισκόπηση σύγχρονων επεμβάσεων ανασύλωσης και συντήρησης**

#### **1.3.1. 19<sup>ος</sup> αιώνας**

Η πρώτη συμβολική αναστήλωση του Παρθενώνα, μετά την ίδρυση του νέου ελληνικού κράτους το 1830 πραγματοποιείται ένα χρόνο μόλις αργότερα με την τοποθέτηση ενός σπονδύλου στην θέση του, παρουσία του νεαρού βασιλιά Όθωνα. Την ίδια περίοδο, ξεκινά έντονη ερευνητική και ανασκαφική δραστηριότητα περιμετρικά του Παρθενώνα, η οποία φθάνει έως το φυσικό βράχο, υπό την επίβλεψη του Λουδοβίκου Ρος, έφορου της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας. Επί των ημερών του Ρος, αρχίζει η αναστήλωση του ναού της Αθηνάς Νίκης, η οποία σηματοδοτεί την πρώτη ολοκληρωμένη αναστήλωση κλασικού μνημείου στην νεότερη Ελλάδα και αποπερατώνεται το 1845 (Φυλακτός, 2012)

Το 1836, έφορος της αρχαιολογικής Υπηρεσίας γίνεται ο Κυριάκος Πιπτάκης, ο οποίος συνεχίζει με έντονους ρυθμούς το έργο του Ρος. Συνεχίζονται λοιπόν οι εργασίες απομάκρυνσης φερτών υλικών από τη νότια πλευρά της Ακρόπολης και ξεκινούν οι ανασκαφές στους χώρους του Παρθενώνα, Ερεχθείου, των Προπυλαίων και του Ναού της Αθηνάς Νίκης. Στο πλαίσιο αυτών των εργασιών θα συλλεχθεί μεγάλος αριθμός από διάσπαρτα αρχιτεκτονικά μέλη, θραυσμένα τμήματα γλυπτών και επιγραφές, τα οποία αρχίζουν, πλέον, να ταξινομούνται και να καταγράφονται (Φυλακτός, 2012).

Το 1841 έρχεται από την Γερμανία η πρώτη ανυψωτική μηχανή (τροχαλία), σχέδιο του Klenze, ενώ την περίοδο 1842 - 1845, ο Πιπτάκης, με γραμματέα τον Ρίζο Ραγκαβή, πραγματοποιούν εργασίες αναστήλωσης των κιόνων της βόρειας και νότιας κιονοστοιχίας που είχαν καταρρεύσει από την βόμβα του Μοροζίνι. Σε γενικές γραμμές, οι προσπάθειες αναστήλωσης αυτής της περιόδου έχουν περισσότερο σωστικό και στερεωτικό χαρακτήρα και για το λόγο αυτό έχουν έντονα στοιχεία αυτοσχε-

διασμού, καθώς υπήρχε έλλειψη τεχνογνωσίας, εμπειρίας αλλά και εξειδικευμένων τεχνικών απαραίτητων για την αποκατάσταση των μνημείων. Οι εργασίες στο Ερέχθειο (1837) συμπίπτουν με τη χρονιά ίδρυσης της «εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας» με πρωτοβουλία του πλουσίου εμπόρου Κωνσταντίνου Μπέλιου ([www.archetai.gr](http://www.archetai.gr)). Η ίδρυση της Αρχαιολογικής Εταιρείας συνέβαλε στην οργανωμένη ανασκαφική δραστηριότητα, στον καθαρισμό του μνημείου, την «απομάκρυνση των καταλοίπων της τουρκικής πυριτιδαποθήκης» και σε αναστηλωτικές εργασίες σε διάφορα σημεία του μνημείου «με δαπάνες των Γάλλων και υπό την εποπτεία του Αλέξη Πάκαρντ» (Φυλακτός, 2012).

Τον Ιούνιο του 1844, η Αρχαιολογική Εταιρεία θα ζητήσει από το Βρετανικό Μουσείο τα αντίγραφα των γλυπτών της Ακρόπολης προκειμένου να τοποθετηθούν στην αρχική τους θέση. Τα εκμαγεία θα φτάσουν στην Αθήνα το 1845: πρόκειται για τα εκμαγεία γλυπτών του Παρθενώνα, του ναού της Αθηνάς Νίκης και του Ερεχθείου καθώς επίσης και του Ιωνικού Κίονα. Έτσι, το αντίγραφο της 3ης Καρυάτιδας θα τοποθετηθεί στη θέση του, ενώ η 6<sup>η</sup> Καρυάτιδα, που είχε βρεθεί στη διάρκεια των ανασκαφών σε κομμάτια, θα επισκευαστεί από τον Ιταλό Αντρεόλι. Σε ό,τι αφορά των ιωνικό κίονα, στη θέση της τοποθετήθηκε μόνο η βάση (Φυλακτός, οπ. π.).

Στις δεκαετίες που ακολουθούν, ιδιαίτερης σημασίας και εμβέλειας είναι η Μεγάλη Ανασκαφή (1885 - 1890) που πραγματοποιήθηκε δυτικά του Ερεχθείου και η οποία έφερε στο φως τον πολιτιστικό πλούτο που είχε θαφτεί στον χώρο μετά την κατάρρευση των μνημείων της Ακρόπολης το 480 π.Χ.

Ο μεγάλος σεισμός του 1894, δύο χρόνια πριν από τους πρώτους Ολυμπιακούς αγώνες της Αθήνας, προκαλεί την πτώση μαρμάρων του δυτικού αετώματος του Παρθενώνα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αρχίσει μια περίοδος έντονων στερεωτικών επεμβάσεων στο μνημείο. Ακολουθεί μια περίοδος 45 ετών κατά την οποία συνεχίστηκαν οι αναστηλωτικές εργασίες σε όλα τα μνημεία, υπό την εποπτεία του Νίκου Μπαλάνου, ο οποίος, αν και αποκατάστησε τμήματα μνημείων, κατηγορείται ότι οι επεμβάσεις του «αντί να προσφέρουν θεραπεία στα αρχιτεκτονικά μέλη και στερέωση στα μνημεία, προκάλεσαν περισσότερες ζημιές και επιτάχυναν τον κίνδυνο κατάρρευσης τμημάτων του Παρθενώνα και των άλλων μνημείων της Ακρόπολης»

<https://www.andro.gr/apopsi/acropole-balanos/>

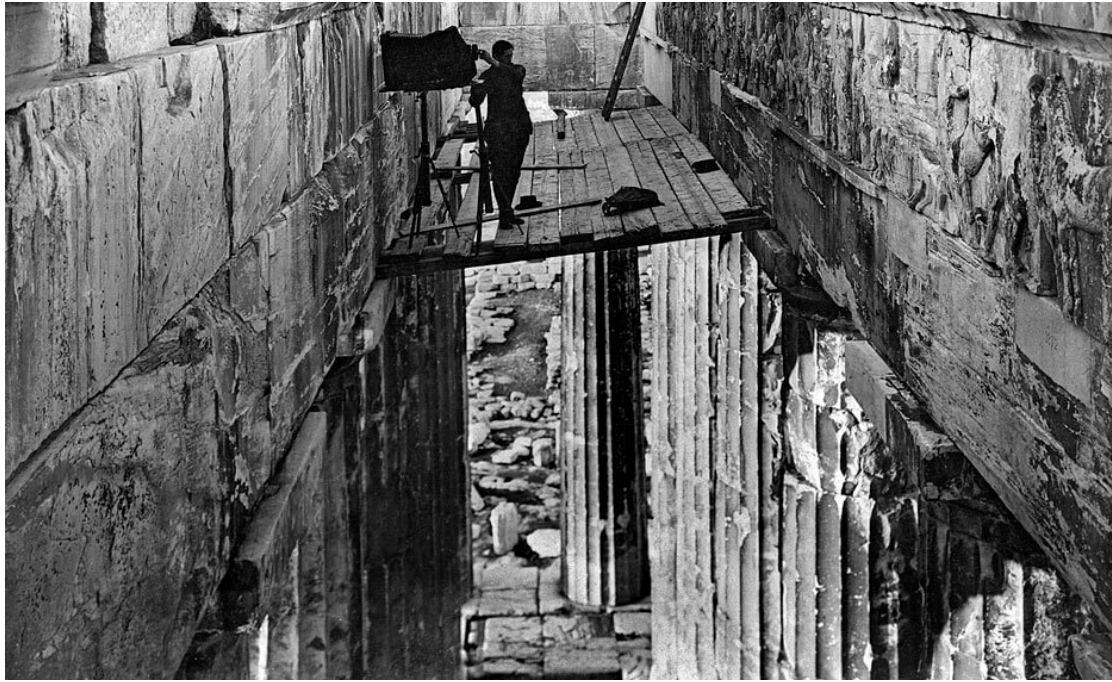


Εικ. 13. Αναστηλωτικές εργασίες υπό τον Μπαλάνο στη δυτική πρόσοψη του Παρθενώνα. Πηγή: ΥΣΜΑ

Οι επεμβάσεις του Νίκου Μπαλάνου επικρίνονται κυρίως για τρεις λόγους:

- α. Τα σίδερα που χρησιμοποιήθηκαν για τους συνδέσμους «εκτός του ότι δεν ήταν κατάλληλα σφυρηλατημένα για να αποκτήσουν ανοξείδωση, δεν δέχτηκαν και την επιμελημένη μολυβδοχόηση, με αποτέλεσμα να διαβρωθούν, να διογκωθούν και να προκαλέσουν ρωγμές και θραύσεις στα αρχαία μάρμαρα» (Φυλακτός, 2012).
- β. πραγματοποιήθηκαν πολλές παρατοποθετήσεις των αρχαίων μελών, κυρίως όταν το 1923 - 1930 αναστηλωνόταν το κεντρικό τμήμα της βόρειας κιονοστοιχίας του Παρθενώνα που είχε καταρρεύσει από την βόμβα του Μοροζίνι, και
- γ. χρησιμοποιήθηκαν άστοχα θραυσμένα μάρμαρα «απολαξεύοντας βάνουσα τις ιστορικές επιφάνειες των μαρμάρων για να δημιουργήσει επίπεδα τμήματα για την πιο εύκολη προσαρμογή μεταξύ τους» (Φυλακτός, οπ. π.).





Εικ. 14. Ο Walter Hege φωτογραφίζει τη δυτική ζωφόρο του Παρθενώνα, το 1928.  
Πηγή: [www.hartismag.gr/hartis-4](http://www.hartismag.gr/hartis-4)

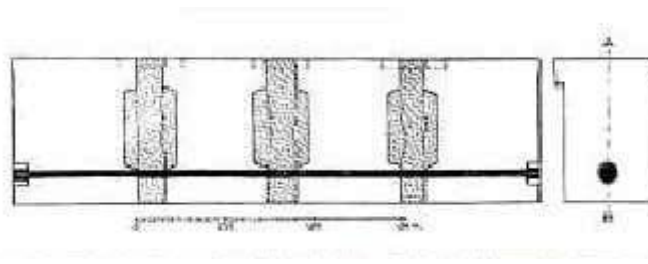
Οι παρεμβάσεις Μπαλάνου χωρίζονται σε τρεις περιόδους: από το 1898 έως το 1902 πραγματοποιούνται κυρίως επεμβάσεις σωστικού και στερεωτικού χαρακτήρα. Στη συνέχεια, από το 1902 έως το 1909, πραγματοποιούνται αναστηλωτικές εργασίες στο Ερέχθειο και, τέλος, από το 1921 έως το 1939, πραγματοποιούνται, μεταξύ άλλων, αναστηλωτικές εργασίες στα Προπύλαια. Να σημειωθεί ότι την περίοδο «1928 και μέχρι τις αρχές του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου, αποξηλώνεται ο ναός της Αθηνάς Νίκης που είχε αναστηλωθεί το 1834 για να γίνουν στερεωτικές επεμβάσεις στον πύργο όπου εδράζεται το μνημείο». Ωστόσο, η αναστήλωση του ναού θα γίνει και δεύτερη φορά με την συμμετοχή του Αναστάσιου Ορλάνδου και ολοκληρώθηκε την άνοιξη του 1940.

### 1.3.2. 1950 - 1970

Οι πρώτες διαπιστώσεις για τις αναστηλωτικές αστοχίες έγιναν το 1943-1944, όταν ήταν εμφανείς οι ρωγμές στα μάρμαρα εξ αιτίας της διάβρωσης των μεταλλικών συνδέσμων. Η περίοδος που ακολουθεί χαρακτηρίζεται από μεγάλη ανησυχία και προβληματισμό, καθώς τμήματα των αναστηλωμένων μνημείων της Ακρόπολης ήταν ετοιμόρροπα.

Ο Ορλάνδος, επικεφαλής της Υπηρεσίας Αναστήλωσης Αρχαίων και Ιστορικών Μνημείων (ΥΠΑΝ) του Υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, θα ακολουθήσει μία στάση συντηρητική σε ό,τι αφορά την αναστήλωση των αρχαίων μνημείων, εφαρμόζοντας τις τεχνικές και τους τρόπους του Μπαλάνου, αλλά με διαφοροποίηση ως προς τα υλικά. Πιο συγκεκριμένα, ο Ορλάνδος θα χρησιμοποιήσει ορείχαλκο, αντί για σίδηρο, προκειμένου να κατασκευάσει μικρούς συνδέσμους και γόμφους και ανοξείδωτο χάλυβα για τις μεγαλύτερες ενισχύσεις (Μαλούχου-Τufano, 2014). Η μέθοδος ένθεσης με διάτρηση, ράβδων από ανοξείδωτο χάλυβα, υιοθετείται από την ΥΠΑΝ στην περίπτωση αναστήλωσης της ΝΔ πτέρυγας των Προπυλαίων, στη διάρκεια της οποίας θα αποκατασταθούν «δομικά τα επιστήλια με την τοποθέτηση στο εσωτερικό τους ράβδων από ανοξείδωτο χάλυβα με διάμετρο 25mm και στην αποκατάσταση του δεύτερου επιστήλιου της Α πλευράς του ναού του Επικούριου Απόλλωνα το 1966» (Μαλούχου-Τufano, όπ. π.).

Το σημαντικό αυτής της επέμβασης είναι ότι και στις δυο προαναφερθείσες περιπτώσεις, η διάτρηση και η ένθεση των χαλύβδινων ράβδων περιορίζεται μόνο στα μεμονωμένα μέλη. Με τον τρόπο αυτό, διατηρείται η δομική αυτονομία και, συνεπώς, η πολυλιθικότητα του «αρθρωμένου εν ξηρώ δομικού συστήματος των κλασικών μνημείων» (Μαλούχου-Τufano, όπ. π.).



Εικ. 15. Ένθετος οπλισμός επιστυλίου ΝΔ Πτέρυγας Προπυλαίων, σχέδιο Α. Ορλάνδου.  
Πηγή: Μαλούχου-Τufano, 2014

Όπως επισημαίνει η Μαλούχου-Τufano (2014), η μη εφαρμογή προηγμένων τεχνολογικά υλικών και μεθόδων, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, δεν οφείλεται σε άγνοια «αλλά στις εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες που επικρατούσαν στην χώρα, αμέσως μετά από δύο μακρόχρονους πολέμους, Παγκόσμιο και Εμφύλιο, καθώς και

στο 'δέος' που κυριεύει τους υπεύθυνους όσον αφορά επέμβαση σε αρχαία μνημεία, θεωρούμενα ως 'ιερά' πατρογονικά λείψανα» (Μαλούχου-Tufano, όπ. π.).

Σε αυτό το πλαίσιο, αποφασίζεται το 1953 η ανακατασκευή του Δ. πτερού του Παρθενώνα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διαφύλαξη της δυτικής ζωφόρου. Στα δύο χρόνια που ακολουθούν, θα λαξευτούν πάνω σε νέο μάρμαρο (μάρμαρο Διονύσου), από έμπειρους μαρμαροτεχνίτες της ΥΠΑΝ, 20 μέλη της οροφής ενώ το 1959, πριν την ανατοποθέτηση των μελών, λαμβάνεται η απόφαση συμπλήρωσης των θέσεων έδρασης των δοκών και στερέωσης θράνων της ζωφόρου. Ο έφορος Ακροπόλεως Γιάννης Μηλιάδης θα εκφράσει τότε φόβους σχετικά με την στατική κατάσταση των κίωνων του οπισθονάου και της δυτικής πρόστασης, με αποτέλεσμα να ανασταλούν οι εργασίες. Στη συνέχεια, θα συσταθεί, στις αρχές του 1959, ειδική επιτροπή αποτελούμενη από τους Δημήτρη Κορωναίο, Καθηγητή στατικής του ΕΜΠ, Σπύρο Μενάγια, νομομηχανικό Α΄ τάξεως των Τεχνικών Υπηρεσιών του Υπουργείου Παιδείας, Γεώργιο Σολωμωνίδη, πολιτικό μηχανικό της ΥΠΑΝ και τον ίδιο τον Μηλιάδη. Με δεδομένο το εφησυχαστικό πόρισμα της επιτροπής, το οποίο παρουσιάστηκε στο Αρχαιολογικό Συμβούλιο το 1960 προτείνεται για την ενίσχυση των δοκών της οροφής στο σύστημα Morandi. Ο Μηλιάδης θα αντιταχθεί στην ανακατασκευή της μαρμάρινης στέγης, κυρίως για λόγους αισθητικής, ενώ η απόφαση του Αρχαιολογικού Συμβουλίου υπέρ της επανατοποθέτησης και ανακατασκευής μαρμάρινης στέγης στον Παρθενώνα, είναι μία απόφαση που δεν θα εκτελεστεί ποτέ. Παρόμοια στάση, σχετικά με τη χρήση οπλισμένου σκυροδέματος αυτή τη φορά, θα κρατήσει και ο Αναστάσιος Ορλάνδος, αν και είχε υιοθετήσει αυτό το υλικό στην περίοδο του Μεσοπολέμου σε βυζαντινά και μεταβυζαντινά μνημεία. Έτσι, η μόνη έως τώρα γνωστή επέμβαση με οπλισμένο σκυρόδεμα είναι αυτή του δαπέδου της Πινακοθήκης των Προπυλαίων, το 1995, «επέμβαση μεγάλης κλίμακας και αρκούντως σκοτεινή, αφού ελάχιστα είναι γνωστά για το ιστορικό εκτέλεσης της» (Μαλούχου-Tufano, όπ. π.).

Το 1957, πραγματοποιείται το Διεθνές Συνέδριο Αρχιτεκτόνων και Τεχνικών των Αρχαίων Μνημείων στο Παρίσι και το 1964 στη Βενετία, το οποίο κατέληξε με τη διατύπωση της «Χάρτας της Βενετίας», η οποία ορίζει το πλαίσιο δεοντολογίας των αναστηλώσεων και εκφράζει τη σύγχρονη αντίληψη σχετικά με την αποκατάστασή τους. Έχουν προηγηθεί, το 1883, το πρώτο κείμενο που διακηρύσσει το σεβασμό

ιστορικών τεκμηρίων του Ιταλού Camillo Boito και η «Χάρτα των Αθηνών» και η ιταλική “Carta del Restauro” το 1931. Τα αναστηλωτικά έργα της Ακρόπολης αρχίζουν πλέον και εκτελούνται σύμφωνα με τις αρχές της «Χάρτας της Βενετίας» (Μπούρας, 1983). Ωστόσο, το 1965 γίνεται η πρώτη διαπίστωση σχετικά με τους νέους κινδύνους που παρουσιάζονται στα μνημεία της Ακρόπολης εξ αιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία προκαλεί στις επιφάνειες των μαρμάρων γυψοποίηση της επιδερμίδας. Έτσι, το 1969 αντιπροσωπεία της UNESCO θα επισκεφτεί την Ακρόπολη και θα εκδώσει το πόρισμα της το 1970 (Φυλακτός, 2012).

### **1.3.3. Επεμβάσεις στα μνημεία της Ακρόπολης, 1975 - 2000**

Το 1975 εκτελούνται και πάλι συστηματικές εργασίες συντήρησης και αναστήλωσης των μνημείων της Ακρόπολης. Τα έργα κατευθύνει και εποπτεύει μια διεπιστημονική επιτροπή αποτελούμενη από αρχαιολόγους, αρχιτέκτονες, πολιτικούς και χημικούς μηχανικούς, η Επιτροπή Συντηρήσεως Μνημείων Ακροπόλεως σε συνεργασία με την Α΄ Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, με χρηματοδότηση του Ελληνικού Κράτους και της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Αργότερα, το 1975 επικεφαλής των αναστηλωτικών έργων αναλαμβάνει η «Επιτροπή Συντήρησης Μνημείων Ακροπόλεως» (ΕΣΜΑ) έχοντας ως αρμοδιότητα «τον προγραμματισμό, την κατεύθυνση και την εποπτεία» των έργων ενώ το 2000 συστήνεται η «Υπηρεσία Συντήρησης Μνημείων Ακροπόλεως» (ΥΣΜΑ) με σκοπό «την επιτάχυνση των έργων και τη σύντομη ολοκλήρωσή τους».



Εικ. 16. Θραύση μέλους λόγω διόγκωσης οξειδωμένων συνδέσμων από προηγούμενες αναστηλωτικές επεμβάσεις. Πηγή: ΥΣΜΑ

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, οι παρεμβάσεις έχουν σωστικό χαρακτήρα και αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των κυριότερων προβλημάτων των μνημείων: «τις ρηγματώσεις και θραύσεις των μαρμάρων λόγω της οξείδωσης των σιδερένιων στοιχείων που είχαν ενσωματωθεί σ' αυτά κατά τις παλαιότερες επεμβάσεις, τις αλλοιώσεις της επιφάνειάς τους από την ατμοσφαιρική ρύπανση, την επισφαλή στατική επάρκεια των μνημείων λόγω της ερείπωσής τους, τη φθορά του Βράχου της Ακρόπολης, αυτοτελούς μνημείου [...] από τα βήματα των εκατομμυρίων επισκεπτών του» (Μαλλούχου-Tufano, 1999).

Ωστόσο, ο χαρακτήρας των εργασιών θα διευρυνθεί, καθώς, κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων, κρίθηκε αναγκαία η αποκατάσταση των μνημείων και η άρση των αστοχιών του παρελθόντος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μερική ανάκτηση της αυθεντικότητας των μνημείων, τόσο μορφικά, όσο και δομικά και τη συνακόλουθη ανάδειξη της επιστημονικής, αρχιτεκτονικής, καλλιτεχνικής αλλά και περιβαλλοντολογικής τους αξίας.

Η πρώτη παρέμβαση αυτής της περιόδου αφορά την έναρξη συστηματικών αναστηλωτικών εργασιών στο Ερέχθειο. Η μελέτη του έργου είχε παρουσιαστεί το 1977



στα πλαίσια διεθνούς συνάντησης, μετά τη σύσταση της ΕΣΜΑ στην Αθήνα, ενώ οι εργασίες ξεκινούν το 1979, με αρχιτέκτονα τον Αλέκο Παπανικολάου και πολιτικό μηχανικό τον Κώστα Ζάμπα (Φυλακτός, 2012). Οι εργασίες θα ξεκινήσουν σχεδόν ταυτόχρονα σε όλα τα μνημεία της Ακρόπολης, η οποία μετατρέπεται σε ένα απέραντο εργοτάξιο. Το 1976, τα αγάλματα του δυτικού αετώματος του Παρθενώνα θα μεταφερθούν στο τότε Μουσείο της ακρόπολης. Ακολουθεί η αντικατάσταση των αγαλμάτων με εκμαγεία και κατασκευάζεται διάβαση επισκεπτών με τη χρήση ελαφρού σκυροδέματος στον άξονα Προπυλαίων - Παρθενώνα. Το 1979, με την έναρξη εργασιών στο Ερέχθειο, γίνεται η μεταφορά των Καρυάτιδων στο μουσείο της Ακρόπολης (Φυλακτός, 2012).



Εικ. 17. Προπύλαια 1980. Πηγή: [www.hartismag.gr/hartis](http://www.hartismag.gr/hartis)

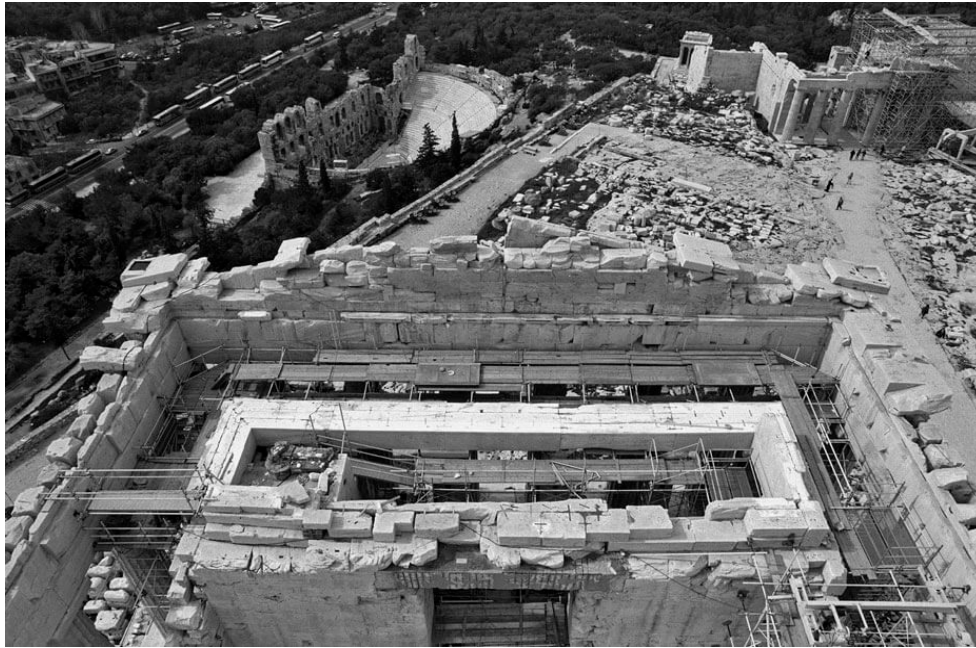
Το 1981 μετά το σεισμό της Αθήνας θα παρθούν προσωρινά στερεωτικά μέτρα στην βορειοανατολική γωνία του Παρθενώνα, ενώ το 1982 θα αρχίσουν στερεωτικά έργα στα Προπύλαια. Το 1984 γίνεται η εγκατάσταση εργοταξίου στον Παρθενώνα και δύο χρόνια αργότερα εκτελείται το πρώτο αναστηλωτικό πρόγραμμα στην ανατολική του όψη. Την ίδια χρονιά, 1986, μεταφέρονται στο μουσείο της Ακρόπολης, οι κεφαλές των αλόγων που ανήκαν στο άρμα του Ήλιου, γλυπτού του ανατολικού αετώματος.

Το 1988 ξεκινά η καταγραφή διάσπαρτων αρχαίων μαρμάρων του βράχου και τον επόμενο χρόνο πραγματοποιείται η μεταφορά των μετώπων της ανατολικής όψης του Παρθενώνα στο μουσείο της Ακρόπολης, ενώ το 1990 θα εγκατασταθεί εργοτάξιο στα Προπύλαια, προκειμένου να αποκατασταθούν οι τοίχοι, οι δοκοί, τα φατνώματα της οροφής και να κατασκευαστούν δύο νέα ιωνικά κιονόκρανα για την κεντρική Στοά του κτηρίου, με την εποπτεία του αρχιτέκτονα Τάσου Τανούλα. Το 1992 θα πραγματοποιηθεί η αποκατάσταση του πέμπτου κίονα της νότιας πλευράς του Παρθενώνα, ο οποίος είχε υποστεί ζημιές από τη βόμβα του Μοροζίνι.



Εικ. 18. Περιστρεφόμενη βάση. Πηγή: [www.hartismag.gr/hartis](http://www.hartismag.gr/hartis)

Το 1998, η ζωφόρος του ναού της Αθηνάς Νίκης μεταφέρεται στο Μουσείο της Ακρόπολης ενώ το μνημείο, παρά τις δύο προηγούμενες επεμβάσεις αναστήλωσης, διατηρείται σε κρίσιμη κατάσταση και για το λόγο αυτό, αποφασίζεται και πάλι να αποκατασταθεί.



Εικ. 19. Ο οπισθόναος του Παρθενώνα μετά την αφαίρεση της δυτικής ζωφόρου.

Πηγή: [www.hartismag.gr/hartis](http://www.hartismag.gr/hartis)

Τέλος, οι επεμβάσεις στην Ακρόπολη, στα τέλη της δεκαετίας του 1990 θα ολοκληρωθούν με προγράμματα ανάδειξης και προστασίας του πλατώματος του Βράχου, με καταγραφή και τακτοποίηση των διάσπαρτων αρχιτεκτονικών μελών και θραυσμάτων γλυπτών καθώς και με κατασκευή διαβάσεων από ισχνό σκυρόδεμα για την κυκλοφορία των επισκεπτών στο χώρο (Μαλλούχου-Tufano, 1999).

Από το 2000 έως και σήμερα, οι επεμβάσεις στην Ακρόπολη αφορούν πλέον αποκλειστικά τον Παρθενώνα (έχουν ήδη αποπερατωθεί οι παρεμβάσεις στα Προπύλαια και η αναστήλωση του Ναού της Αθηνάς Νίκης) και την αποκατάσταση της ανατολικής πλευράς με προσθήκη βάθρου από μπετόν προκειμένου να στηριχθεί ο γερανός που βρισκόταν στη βόρεια πλευρά του μνημείου (Holtzmann, 2012).



## 2° Κεφάλαιο

### Δομικές παρεμβάσεις στα μνημεία της Ακρόπολης

## 2.1. Μνημειακή προστασία και διαχείριση: εννοιολογική προσέγγιση

Η ενασχόληση με την προστασία και διαχείριση μνημείων προϋποθέτει τη γνώση των θεωρητικών και ιστορικών προσεγγίσεων που καθόρισαν τις αντιλήψεις σχετικά με το ζήτημα αυτό για δύο κυρίως λόγους: αφενός οι αντιλήψεις αυτές έχουν συμβάλει στη θέσπιση κανονιστικών κειμένων και αφετέρου, έχουν καθορίσει τους τρόπους επέμβασης, στη διάρκεια του χρόνου, πάνω στα ίδια τα μνημεία.

Πράγματι, η περιοδολόγηση στις διακυμάνσεις που γνώρισε ο καθορισμός της έννοιας του αντικειμένου της προστασίας και συντήρησης μνημείων, αλλά και η ανάγκη περαιτέρω διευκρίνισης των όρων όπως συντήρηση, διατήρηση, αποκατάσταση, συμπλήρωση, αναστήλωση, ανάπλαση μνημείων, συμβάλλουν στην ορθή εκτέλεση των επεμβάσεων αλλά και στη συνειδητοποίηση της «ανάγκης διαφύλαξης και διατήρησης των καταλοίπων του παρελθόντος ως φορέων μνήμης και πνευματικών αξιών απαραίτητων για τη ψυχική ισορροπία των σύγχρονων και μελλοντικών γενεών» (Σκουλικίδης, 2000, Μαλλούχου-Tufano, 2015).

Αρχικά να διευκρινιστεί ότι ο όρος «μνημείο» (<αρχ. ρήμα: μιμνήσκω-μιμνήσκομαι) αποδίδεται σε «οτιδήποτε ανακαλεί στη μνήμη ή υπενθυμίζει κάτι» και συνεπώς σε ό,τι «προειδοποιεί ή αφήνει υποθήκη για κάτι στους συγχρόνους του ή τους επιγενόμενους» (Μαλλούχου-Tufano, 2015). Ο χαρακτηρισμός «ιστορικό μνημείο», εξαρτάται από την ιστορική αξία, την ηλικία, τον προορισμό, την αισθητική, συμβολική, τεχνολογική αξία ενός δημιουργήματος (Σκουλικίδης, 2000). Αν και η χρήση των όρων (μνημείο, ιστορικό μνημείο) περιορίστηκε στον προσδιορισμό ενός μεμονωμένου κτίσματος, από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αι, αλλά, κυρίως, μετά το δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup>, η έννοια διευρύνεται και περιλαμβάνεται πλέον στον όρο «πολιτιστικό αγαθό» και πολιτιστικής (αρχαιολογικής, υποβρύχιας αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής, βιομηχανικής), φυσικής και ψηφιακής, πλέον, κληρονομιάς (Μαλλούχου-Tufano, όπ. π.).

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα προαναφερθέντα, όλα αυτά τα είδη μνημείων χρειάζονται κατά καιρούς επεμβάσεις συντήρησης, ενώ τα νεότερα κτίσματα οφείλουν να ακολουθούν τα απαραίτητα μέτρα και να υπόκεινται στους κανονισμούς που αφορούν στη φθορά των υλικών κατασκευής τους.

Σχετικά με την ελληνική πραγματικότητα, σύμφωνα με το Ν. 3028/2002 (άρθρο 2), ο όρος πολιτιστικά αγαθά, αναφέρεται στις «μαρτυρίες της ύπαρξης και της ατομικής και συλλογικής δραστηριότητας του ανθρώπου». Αναλυτικότερα οι όροι πολιτιστικά αγαθά και πολιτιστική κληρονομιά αποδίδονται πλέον, σύμφωνα με το άρθρο 2 της Σύμβασης του Faro 2005, σε μια σειρά πόρων που έχουν κληρονομηθεί από το παρελθόν και οι οποίοι αναγνωρίζονται από τους ανθρώπους, ανεξάρτητα από το καθεστώς ιδιοκτησίας, ως μία έκφραση των αενάως εξελισσόμενων αξιών, γνώσεων και πεποιθήσεων. Επιπλέον, η σύμβαση του Faro, συμπεριλαμβάνει στην έννοια της πολιτιστικής κληρονομιάς κάθε πτυχή του περιβάλλοντος, καθώς επίσης και την διαχρονική αλληλεπίδραση ανάμεσα στους ανθρώπους και στους τόπους. (Faro Convention, 2005).

Ειδικότερα, με τον όρο «Αρχαιολογική Κληρονομιά», η οποία στην Ελλάδα υπόκειται στο Ν. 3387/2005 - άρθρο 1, ορίζονται «όλα τα κατάλοιπα και αντικείμενα καθώς και άλλα ίχνη ανθρώπινης υπάρξεως από το παρελθόν» τα οποία, μέσω της διαφύλαξης και μελέτης, επιτρέπουν την «ανάπλαση της ιστορίας του ανθρώπου και της σχέσεως του με το φυσικό περιβάλλον». Η κύρια πηγή πληροφοριών αποτελείται από τις ανασκαφές, τις ανακαλύψεις και κάθε άλλη ερευνητική μέθοδο με άξονα το ανθρώπινο γένος και το περιβάλλον του.

Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι ο όρος «κατάλοιπα» που χρησιμοποιείται στους ορισμούς αλλά και στην παρούσα εργασία γενικότερα, οφείλεται στους O'Keefe και Prott (1984), οι οποίοι θέλησαν να καλύψουν νομοθετικά κάθε στοιχείο κληρονομιάς επιλέγοντας έναν όρο με εννοιολογική ευρύτητα αλλά και περιεκτικότητα. Για τους O'Keefe και Prott, ο όρος «κατάλοιπα (relics)» περιγράφει με σαφήνεια κάθε στοιχείο με τη φυσική του μορφή, χωρίς να προσδίδει στο στοιχείο αυτό εκ των προτέρων κάποια αξία ή άλλου είδους χαρακτηρισμό και ένδειξη (O'Keefe και Prott, 1984).

Οι όροι που επίσης είναι απαραίτητο να διασαφηνιστούν, ως προς το περιεχόμενό τους, είναι αυτοί που αφορούν στις επεμβάσεις που πραγματοποιούνται στα μνημεία. Πράγματι, όπως επισημαίνει ο Σκουλικίδης (2000), είναι ανάγκη να διευκρινιστεί πλήρως το περιεχόμενο των όρων «συντήρηση», «διατήρηση», «αποκατάσταση», «συμπλήρωση», «αναστήλωση», «ανάπλαση», καθώς επανέρχονται συχνά στη διαδικασία διάσωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς, διαδικασία στην οποία εμπλέκονται

και εμπíπτουν αρμοδιότητες ειδικών κάθε επιστημονικού και τεχνικού κλάδου, σε κάθε επιμέρους έργο (Σκουλικίδης, όπ. π.).

Αρχικά, ο όρος «συντήρηση» αποδίδεται σε επεμβάσεις, προληπτικού κυρίως χαρακτήρα, που έχουν ήπια μορφή και στοχεύουν στην προστασία του μνημείου, μέσα από την «ανακοπή και άρση της προϊούσας φθοράς» (Μαλλούχου-Tufano, 2015)



Εικ. 20. Καθαρισμός με εφαρμογή Laser των λίθων της Δ. ζωφόρου του Παρθενώνα.  
Πηγή: Μαλλούχου-Tufano (2015). Φωτ. Centro Conservazione Archeologica (CCA)-Roma. R. Nardi.

Ωστόσο, στον όρο «συντήρηση» προσδίδεται η ευρύτερη έννοια της «προστασίας» των μνημείων, προκειμένου να δηλωθούν οι ενέργειες και δραστηριότητες διάσωσης και διαφύλαξης μνημείων στο σύνολό τους (Μαλλούχου-Tufano, όπ. π.). Υπό την ευρύτερη έννοια, λοιπόν, ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγραφούν διάφορες επεμβάσεις, όπως η περιοδική/τακτική συντήρηση, η προληπτική, οι επισκευές, οι στερεώσεις, οι ενισχύσεις αλλά και οι ευρείας κλίμακας αποκαταστάσεις (Μαλλούχου-Tufano, όπ. π.).

Σχετικά με τη χρήση του παραπάνω όρου, ο Σκουλικίδης (2000) υποστηρίζει την άποψη ότι, σε κάθε περίπτωση, από τη μια, δεν πρέπει να ταυτίζεται με τον όρο «διατήρηση» και από την άλλη, ότι η «συντήρηση» περιλαμβάνει δύο ειδών σωστικές επεμβάσεις:

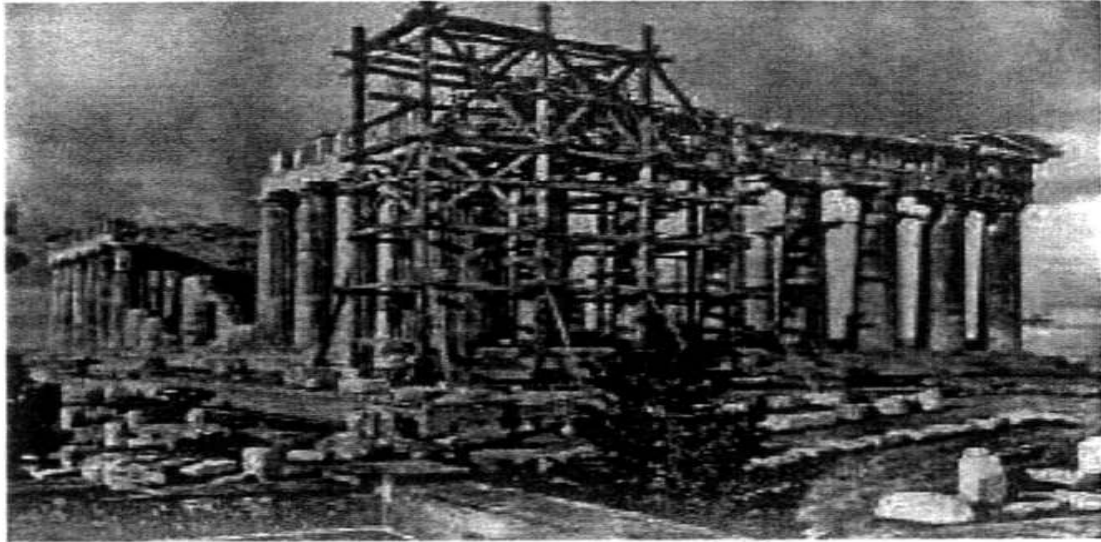
α. Σωστικές (στατικές) επεμβάσεις και β. «Σωστικές επεμβάσεις στην επιφάνεια» (Σκουλικίδης, όπ. π.). Στην πρώτη περίπτωση ανήκει η «δομική συντήρηση» και στη δεύτερη, η «συντήρηση της επιφάνειας» (Σκουλικίδης, όπ. π.).

### **2.1.1. Δομική συντήρηση**

Οι σωστικές στατικές επεμβάσεις ή, αλλιώς, η «δομική συντήρηση», στοχεύουν στην αποκατάσταση της στατικής επάρκειας των μνημείων, η οποία απειλείται, όταν δεν κινδυνεύει άμεσα, από τη φθορά που προξενούν στα μνημεία ποικίλα αίτια, όπως για παράδειγμα, η διάβρωση του εδάφους, οι σεισμοί κ.ά. Η διαδικασία δομικής συντήρησης των μνημείων είναι εξαιρετικά απαιτητική και προϋποθέτει συνεργασία πολλών επιστημονικών κλάδων.

Ωστόσο, η εποπτεία του έργου -στην οποία μπορεί να συμπεριλαμβάνεται ακόμα και η μερική αποξήλωση του μνημείου-, ο σχεδιασμός και οι υπολογισμοί εμπίπτουν, καταρχάς, στη δικαιοδοσία πεπειραμένων Πολιτικών Μηχανικών. Παρόλα αυτά, οι Πολιτικοί Μηχανικοί χρειάζονται τις ειδικές γνώσεις των, επίσης, πεπειραμένων Χημικών Μηχανικών, Χημικών ή Μεταλλουργών, όταν η συντήρηση αφορά στα μέταλλα, τα κονιάματα και τα «υλικά στερέωσης της μάζας πορώδους πέτρας» που θα χρησιμοποιηθούν, ύστερα από τις υποδείξεις και την σύμφωνη γνώμη Αρχαιολόγων η εξειδικευμένων Αρχιτεκτόνων. Οι υποδείξεις αυτές αφορούν κυρίως στην αισθητική εμφάνιση, αλλά και στην ιστορική συνέπεια των επεμβάσεων (Σκουλικίδης, 2000). Είναι προφανές ότι τα έργα αυτά δεν μπορούν να εκτελεστούν χωρίς την συμμετοχή ειδικευμένων μαρμαροτεχνιτών και συντηρητών έργων τέχνης, ενώ καμιά ειδικότητα δεν μπορεί να υποκαταστήσει κάποια άλλη καθώς, σε αντίθετη περίπτωση, αυτό θα απέβαινε επιζήμιο για τα μνημεία και τα γλυπτά.

Δύο είναι οι σωστικές δομικές στατικές επεμβάσεις τόσο σε ότι αφορά στα μνημεία όσο και στην επιφάνεια. Πρόκειται για το έργο της «αποκατάστασης» και της «αναστήλωσης».



Εικ. 21. Αναστήλωση της ΝΑ πλευράς του Παρθενώνα από τον Μπαλάνο. Πηγή: Φωτ. Ν. Μπαλάνος.

Σύμφωνα με τον Πίττα (1994), ο όρος «αποκατάσταση» (<restaurate) σημαίνει «απόκαθιστώ», «επαναφέρω στην αρχική κατάσταση», ενώ ο όρος «αναστήλωση» χρησιμοποιείται για να περιγράψει την «επανατοποθέτηση στοιχείων ενός κτίσματος» τα οποία έχουν «καταπέσει» ή την «ανασύνθεση ενός μνημείου από τα αυθεντικά» του μέλη (Πίττας, 1994). Αναλυτικότερα, μέσω της διαδικασίας της αναστήλωσης απόσυναρμολογούνται ή ανασυναρμολογούνται «λίθινα αρχιτεκτονικά μέλη» τα οποία επανασυντίθενται «εν ξηρώ», δηλαδή, χωρίς τη χρήση συνδετικού κονιάματος - χαρακτηριστικό των μνημείων που ανήκουν στην ελληνορωμαϊκή αρχαιότητα-, ή ξύλινα μέλη, όπως αυτά των ξύλινων λατρευτικών κτηρίων (παγόδες) της Άπω Ανατολής (Μαλλούχου-Τυφάνο, 2015). Να σημειωθεί, τέλος, ότι οι διεθνείς Χάρτες που καθορίζουν τις αρχές επεμβάσεων συστήνουν την «αναστήλωση» με την ελληνική έννοια του όρου ως την κατεξοχήν μέθοδο αποκατάστασης των αρχαιολογικών μνημείων τα οποία έχουν περιέλθει σε «κατάσταση ερειπίου» (βλ. Χάρτη των Αθηνών 1931, άρθρο VI & Χάρτη της Βενετίας 1964, άρθρο 15) (Μαλλούχου-Τυφάνο, όπ. π.).



Εικ. 22. Αναστήλωση του επιστυλίου του κεντρικού μετακιονίου της ανατολικής πρόστασης των Προπυλαίων. Πηγή: Φωτ. Αρχείο ΕΣΜΑ.

Ειδικότερα, σχετικά με τα μνημεία που ανήκουν στην κλασική αρχαιότητα, οι επεμβάσεις αναστήλωσης τους, πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- α) πλήρη ή επαρκή γνώση της αρχικής μορφής και αρχιτεκτονικής του μνημείου,
- β) ύπαρξη και διατήρηση σε καλή κατάσταση ενός ικανού ποσοστού αρχαίων μελών,
- γ) συμπλήρωση των «υφισταμένων μελών και αντικατάσταση των ελλειπόντων από νέο υλικό» στο βαθμό όμως που αυτό κρίνεται αναγκαίο προκειμένου να επανενταχθεί στο μνημείο το αυθεντικό σωζόμενο αρχαίο υλικό,
- δ) «συμπλήρωση των υφισταμένων μελών ή η αντικατάσταση των ελλειπόντων μελών και πλήρωση των κενών» με διακριτό τρόπο και με παράλληλη αρμονική ένταξή τους στο σύνολο,
- ε) προσπάθεια ανασυναρμολόγησης των αρχαίων μελών στην αρχική τους θέση ή, σε ομόλογη, συμβατή προς την αρχική θέση,
- στ) αποκατάσταση της «δομικής αυτοτέλειας των αρχιτεκτονικών μελών» και σεβασμός προς το αρχικό δομικό σύστημα του μνημείου, και
- ζ) χρήση, κατά την επέμβαση, καλής ποιότητας νέου υλικού το οποίο να έχει «αντι-στρεπτή συμπεριφορά στον χρόνο» (Μαλλούχου-Τυφάνο, όπ. π.).

Ο όρος «ανακατασκευή» αποδίδεται στην περίπτωση της εκ νέου κατασκευής ενός μνημείου ή της δραστικής συμπλήρωσής του ή της αναστήλωσης του όταν η χρήση νέου υλικού είναι μεγαλύτερη σε ποσοστό από το παλιό υλικό (Μαλλούχου-Tufano, όπ. π.). Η ανακατασκευή μπορεί να ακολουθεί πιστά το αρχικό σχέδιο του μνημείου ή να προσαρμόζεται στη νέα, χρηστική του λειτουργία. Ωστόσο, σύμφωνα με το άρθρο 15 του Χάρτη της Βενετίας, η ανακατασκευή είναι αποδεκτή μόνο σε περίπτωση που το μνημείο έχει υποστεί βίαιη καταστροφή (σεισμός, πόλεμος κ.ά.) (Μαλλούχου-Tufano, όπ. π.).

Τέλος, συχνά χρησιμοποιείται ο όρος «αναμαρμάρωση». Πρόκειται για όρο ο οποίος επινοήθηκε και χρησιμοποιήθηκε από τον Αν. Ορλάνδο προκειμένου να περιγραφεί η επέμβαση κάλυψης του Ωδείου του Ηρώδου του Αττικού με νέα ειδώλια από μάρμαρο. Από τότε ο όρος χρησιμοποιείται σε κάποιες περιπτώσεις αντί του όρου «ανακατασκευή».

### **2.1.2. Συντήρηση της επιφάνειας των μνημείων**

Οι δράσεις φθοράς πάνω στα μνημεία ξεκινούν από τα τοιχώματα πόρων εσωτερικά και εξωτερικά. Ως εκ τούτου, η συντήρηση της επιφάνειας των μνημείων περιλαμβάνει τον καθαρισμό, τη στερέωση, την προστασία και την τεχνητή πατίνα. Όπως γίνεται αντιληπτό, ακόμα και αν τα τμήματα επιφάνειας δεν χρειάζονται απαραίτητα όλες τις παραπάνω επεμβάσεις, σίγουρα χρίζουν προστασίας (Σκουλικίδης, 2000).

Η στερέωση, κατεξοχήν επέμβαση στους φέροντες οργανισμούς των μνημείων, έχει στόχο να ενισχύσει ή να αποκαταστήσει τη στατική επάρκεια. Απαραίτητη προϋπόθεση μιας ορθής στερέωσης αποτελούν ο απόλυτος σεβασμός των αρχικών δομικών συστημάτων και η χρήση καλών ποιοτικά υλικών και μέσων, «αντιστρεπτών και με δοκιμασμένη συμπεριφορά στον χρόνο» (Μαλλούχου-Tufano, 2015) (εικ. 19).

### **2.2. Συντήρηση των μνημείων της Ακρόπολης**

Στη σύγχρονη εποχή και πιο συγκεκριμένα από τη δεκαετία του 1990 και έως τις μέρες μας, οι εργασίες στον Παρθενώνα επικεντρώθηκαν στις επεμβάσεις αποσυναρμο-λόγησης, αναστήλωσης και διόρθωσης των τμημάτων της δυτικής πλευράς του μνημείου. Επιπλέον, αναστηλώθηκαν οι δοκοί του πίσω αιθρίου, τα δύο τμήματα



ανωφλίου της δυτικής πύλης, τμήματα του βόρειου τοίχου ενώ λαξεύτηκαν αυλακώσεις σε αναστηλωμένους κίονες της Β. πλευράς και του μπροστινού αιθρίου.

Στα Προπύλαια πραγματοποιήθηκαν αναστηλωτικές επεμβάσεις στο άνω νότιο τείχος, στη ΒΔ γωνία του κεντρικού κτίσματος και στην ανωδομή της Ν. πτέρυγας, ενώ έγινε επανατοποθέτηση σε τουλάχιστον 50 διασκορπισμένα μέλη του μνημείου. Υπολογίζεται ότι μόνο για τον Παρθενώνα και τα Προπύλαια, πραγματοποιήθηκαν επεμβάσεις σε 300 αρχιτεκτονικά μέλη με συνολικό βάρος 700 t. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν επεμβάσεις σταθεροποίησης στη Ν. πλευρά του περιμετρικού τείχους, ενώ ολοκληρώθηκε η αναστήλωση της κορυφής του πύργου του Ναού της Αθηνάς Νίκης και έγιναν εργασίες βελτίωσης του υπόγειου χώρου. Τέλος, στο Ερέχθειο, ολοκληρώθηκαν οι εργασίες επίχωσης των θεμελίων των τοίχων, συντήρησης της επιφάνειας και κατάρτισης καταλόγου διάσπαρτων μελών προκειμένου να καταγραφούν και να ταυτοποιηθούν.

Όπως έχει προαναφερθεί, η συντήρηση αφορά στο σύνολο των επεμβάσεων σε ένα μνημείο με στόχο την πρόληψη ή την ανακοπή και άρση της φθοράς, χωρίς, ωστόσο, να αλλοιώνεται η μορφή και η υφή του μνημείου και των έργων τέχνης γενικότερα.

Πιο συγκεκριμένα, η συντήρηση των μνημείων της Ακρόπολης αφορά τόσο τις στερεωτικές επεμβάσεις όσο και επεμβάσεις προληπτικού χαρακτήρα.

Οι φθορές των μνημείων του Βράχου που αντιμετωπίστηκαν από τις απαρχές της διαδικασίας συντήρησης του μνημείου οφείλονται σε μηχανικά, χημικά και βιολογικά αίτια τα οποία έδρασαν ή/και δρουν είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με το μικροκλίμα του περιβάλλοντος αλλά και με τη μικροδομή του μαρμάρου. Επιπλέον, φθορά έχει προκληθεί από προστατευτικά επιστρώματα, τον διάκοσμο ή τα ακιδογραφήματα που κοσμούσαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους τα μνημεία (Kouzeli et al., 1994, Jenkins, 1988, Ορλάνδος & Βρανούσης, 1973).

Αναλυτικότερα οι φθορές των μνημείων της Ακρόπολης είναι οι ακόλουθες:

**Ρηγμάτωση:** Δημιουργία ρηγμάτων υπό τη μορφή ρωγμών εξ αιτίας της διακοπής της συνέχειας του μαρμάρου, με τελικό αποτέλεσμα τον αποχωρισμό και την πτώση θραυσμάτων. Τα ρήγματα σφονδύλων κίωνων του Παρθενώνα οφείλονται κατά κύριο

λόγο στη διόγκωση των σιδερένιων συνδέσμων εξ αιτίας της διάβρωσης (Σκουλικίδης & Βασιλείου, 1994).



Εικ. 23. Διάρρηξη μαρμάρου λόγω οξείδωσης στοιχείων ανάρτησης δοκού.  
Πηγή: Tanoulas, T., Ioannidou, M., Moraitou, A. (1994)

**Αποφλοίωση:** Πρόκειται για το σχηματισμό ρωγμών, παράλληλων με την επιφάνεια, με τελικό αποτέλεσμα την πτώση των αποφλοιωμένων τμημάτων μαρμάρων (Πέτσου, 2015).

**Απολέπιση:** «Σχηματισμός απολεπισμάτων μαρμάρου μειωμένης μηχανικής αντοχής» (Πέτσου, όπ. π.).

**Ζαχαροειδής φθορά:** «Απώλεια συνοχής των επιφανειακών κρυστάλλων του μαρμάρου» με τελικό αποτέλεσμα τη συνεχή τους πτώση (Πέτσου, όπ. π.).

**Αποσάθρωση:** «Απώλεια συνοχής του μαρμάρου σε βάθος με περικρυσταλλική απόσάθρωση ή/και πλέγμα μικρορωγμών» (Πέτσου, όπ. π.).

Να σημειωθεί ότι τα φαινόμενα αποσάθρωσης και απολεπίσεων παρουσιάζονται στις περιοχές της επιφάνειας όπου το μάρμαρο παρουσιάζει μειωμένη συνοχή, με αποτέλεσμα να διεισδύει στα σημεία αυτά και να συγκρατείται αυξημένη ποσότητα νερού, δράση αλάτων, όξινη προσβολή και θερμοκρασιακή μεταβολή.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα των παραπάνω φθορών αποτελεί μέρος της μελέτης αποκατάστασης και εφαρμογής του Δυτικού Τοίχου Σηκού του Παρθενώνα που εκπονήθηκε από τους Λαμπρινού & Παπαβασιλείου (2013). Πιο συγκεκριμένα, στο

πλαίσιο του 10<sup>ου</sup> Προγράμματος και πριν αρχίσουν οι επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης του μνημείου, εντοπίστηκαν ρηγματώσεις σε όλες σχεδόν τις εσωτερικές λιθοπλίνθους, οι οποίες είτε προκλήθηκαν από προοπτικές αντικειμένων, προφανώς κατά την έκρηξη του 17<sup>ου</sup> αι., είτε οφείλονται στη σεισμική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα την μετακίνηση του τοίχου. Σε αυτό συνέτεινε η φυσική «εξάντληση του υλικού» ως απόρροια της συνεχούς έκθεσής του στις φυσικές συνθήκες και τις αλληπάλληλες συστολοδιαστολές (Λαμπρινού & Παπαβασιλείου, 2013). Ο μεγαλύτερος αριθμός ρηγματώσεων εντοπίστηκε «στα σημεία του υποκείμενου κατακόρυφου αρμού και συχνά στα σημεία του υπερκείμενου κατακόρυφου αρμού» (Λαμπρινού & Παπαβασιλείου, 2013).

Οι αποφλοιώσεις που παρατηρήθηκαν στην επιφάνεια των λιθοπλίνθων της εσωτερικής παρειάς του Δυτικού τοίχου οφείλονται, σύμφωνα με την προαναφερθείσα μελέτη, κατά κύριο λόγο στην πρόσπτωση μεγάλων αντικειμένων και δευτερευόντως στη «σεισμική δραστηριότητα, στη διεύρυνσή και επέκταση των αρχικών (λιθοπλίνθων), ακτινωτά και στην υπόλοιπη περιοχή του λίθου, αλλά και σε γειτονικούς λίθους». Όπως παρατηρήθηκε στην περίπτωση των ρηγματώσεων, έτσι και σε αυτή των αποφλοιώσεων, το φαινόμενο εντάθηκε εξ αιτίας της έκθεσης των επιφανειών στα καιρικά φαινόμενα των τελευταίων αιώνων (Λαμπρινού & Παπαβασιλείου, 2013).

Επίσης, η μεγάλη απώλεια πρωτογενούς υλικού που εντοπίστηκε στον Δυτικό τοίχο σηκού του Παρθενώνα, στην εσωτερική πλευρά, οφείλεται στις σοβαρές θερμικές θραύσεις που προκλήθηκαν εξ αιτίας της αρχαίας πυρκαγιάς και η οποία, σε συνδυασμό με τα καιρικά φαινόμενα, συνέτεινε στην απώλεια μεγάλου μέρους των ορθοστατών μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα (Λαμπρινού & Παπαβασιλείου, 2013).

Τέλος, το φαινόμενο της ζαχαροειδούς διάβρωσης παρατηρήθηκε σε όλη την επιφάνεια του Δυτικού τοίχου, ενώ στα σημεία που δεν ξεπλένονταν από τα όμβρια ύδατα παρατηρήθηκε συγκέντρωση μαύρης κρούστας (Λαμπρινού & Παπαβασιλείου, 2013).

Η ζαχαροειδής διάβρωση ευθύνεται, σύμφωνα με τη Μελέτη των Λαμπρινού & Παπαβασιλείου (2013) και για την απώλεια των τοιχογραφιών της βυζαντινής περιόδου, οι οποίες ως και τη δεκαετία του 1960 μπορούσαν ακόμα να

φωτογραφηθούν (Cutler 1994 στο Λαμπρινού & Παπαβασιλείου, 2013). Από τις τοιχογραφίες αυτές (Α. και Δ. πλευρά του τοίχου) δεν διατηρήθηκαν παρά αδιάγνωστα ψήγματα. Οι καιρικές συνθήκες και η ατμοσφαιρική ρύπανση σε συνδυασμό με τη ζαχαροειδή διάβρωση «και την επακόλουθη απόπλυση των επιφανειών», επιτάχυνε την απώλεια των τοιχογραφιών, ενώ οι επεμβάσεις στα σημεία αυτά δεν έδωσαν λύση στη διατήρηση της πατίνας και την συνακόλουθη διατήρηση των βυζαντινών τοιχογραφιών καθώς επικεντρώθηκαν στη στερέωση μικροτεμαχίων των λιθοπλίνθων (Λαμπρινού & Παπαβασιλείου, 2013).

Επιπλέον αίτια φθοράς της επιφάνειας των μνημείων της Ακρόπολης αποτελούν, όπως προαναφέρθηκε, οι επιστρώσεις και οι διακοσμητικές παρεμβάσεις. Αναλυτικότερα, πρόκειται για τα ακόλουθα:

1. **Πορτοκαλοκάστανη επιδερμίδα:** Όπως έχει παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια των σωστικών επεμβάσεων, πάνω στην επιφάνεια των μνημείων, αλλά και των γλυπτών, ανιχνεύεται στρώμα πάχους περίπου 180 μm και χρώματος πορτοκαλοκάστανου, αποτελούμενο από οξαλικό ασβέστιο, σίδηρο και φώσφορο [58, 61, 64], το οποίο διεισδύει μέσα στις περικρυσταλλικές περιοχές του μαρμάρου. Ενδεχομένως να πρόκειται για κάποια αρχαία κατεργασία προστασίας της επιφάνειας των μνημείων και των γλυπτών αν και δεν αποκλείεται εντελώς η βιογενής προέλευση του στρώματος αυτού.
2. **Υπόλευκο επίστρωμα:** Πρόκειται για ένα σχεδόν ομοιόμορφο επίστρωμα μπεζ χρώματος, πάχους 70 μm, που εντοπίστηκε στην επιφάνεια του Παρθενώνα, πάνω από την πορτοκαλοκάστανη επιδερμίδα. Η χημική ανάλυση του επιστρώματος αυτού (ανθρακικό ασβέστιο και γύψος) αλλά και τα ίχνη ψήκτρας που φέρει, απόδεικνύουν ότι πρόκειται για ένα στέρεο μεταγενές ασβέστωμα προστατευτικού χαρακτήρα.
3. **Γραπτός διάκοσμος/πολυχρωμία:** Πάνω στην επιφάνεια του Παρθενώνα και των άλλων μνημείων της Ακρόπολης ανιχνεύονται ίχνη του αρχαίου γραπτού διακόσμου και της πολυχρωμίας, χαρακτηριστικά της κλασικής περιόδου. Πιο συγκεκριμένα, στον Παρθενώνα έχει γίνει καταγραφή και ανάλυση ίχνους αιματίτη (κόκκινο χρώμα) και αιγυπτιακού μπλε (κυανό χρώμα) ενώ έχουν εντοπιστεί ίχνη υπογραμμίου (εγχάρακτος γραπτός διάκοσμος). Σε ορισμένες περιπτώσεις, η

ύπαρξη γραπτού διακόσμου εντοπίζεται έμμεσα μέσα από τη διαφορική διάβρωση των μαρμάρων

4. **Χαράγματα:** Κατά περιόδους, χαραχτηκαν πάνω στις επιφάνειες των μνημείων ακιδογραφήματα (ονόματα, επικλήσεις κ.ά.) τα οποία διατηρούνται μέχρι και σήμερα. στις επιφάνειες των μνημείων. Τα χαράγματα αυτά αποτελούν πηγή ιστορικών πληροφοριών κυρίως της Χριστιανικής περιόδου (Ορλάνδος & Βρανούσης, 1973).

### 2.3. Σύγχρονες δομικές επεμβάσεις στα μνημεία της Ακρόπολης

Η αρχαιολογία, η ιστορία και η αρχιτεκτονική των μνημείων της Ακρόπολης συνεχίζουν να αποτελούν το ερευνητικό αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημονικών κλάδων και ειδικοτήτων. Στη διάρκεια των χρόνων που ακολούθησαν από την ίδρυση του Ελληνικού κράτους έως και σήμερα, οι επεμβάσεις στα μνημεία στηρίχθηκαν στα αποτελέσματα αυτών των ερευνών και στη διεπιστημονική συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων κλάδων και ειδικοτήτων παρά τις αντιξοότητες των ιστορικών συγκυριών αλλά και τις ενίοτε ατυχείς επιλογές μεθόδων παρέμβασης.

Σε ό,τι αφορά στις δομικές επεμβάσεις, τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων ερευνητικών δραστηριοτήτων εφαρμόστηκαν στις παρακάτω επεμβάσεις:

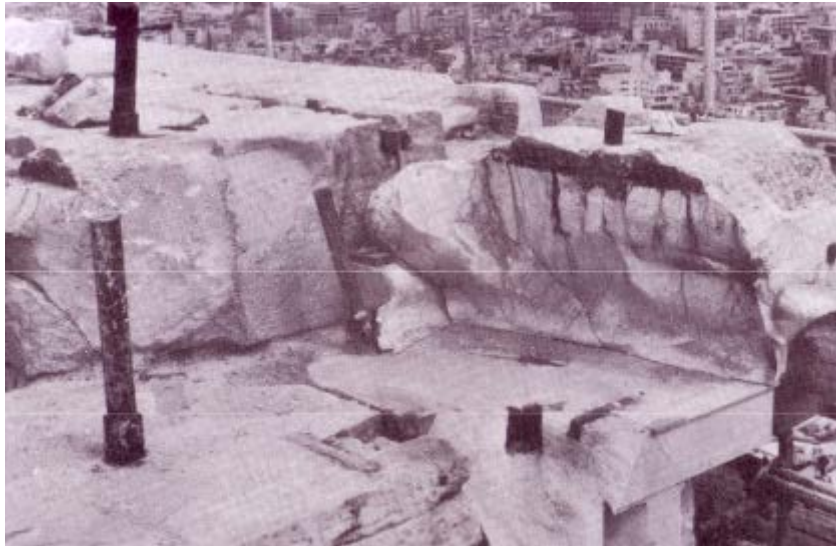
- Τοποθέτηση των αρχιτεκτονικών μελών στη σωστή θέση ύστερα από αναδιατάξεις αναστηλωμένων, σε προηγούμενες περιόδους, περιοχών των μνημείων.
- Αναστήλωση ευρύτερων περιοχών των μνημείων χάρη στον εντοπισμό της αρχικής θέσης των αρχιτεκτονικών μελών κατόπιν διερεύνησης των αρχαίων θραυσμάτων και της δημιουργίας «αρχιτεκτονικών μελών από θραύσματα» που ανευρέθηκαν στους χώρους της Ακρόπολης.
- Μελέτη και ενδεδειγμένη διερεύνηση της στατικής επάρκειας των περιοχών των μνημείων σε συνδυασμό με την ανάπτυξη πρωτότυπων υπολογιστικών μεθόδων που αφορούν τη σύνδεση μαρμάρων με ράβδους τιτανίου και τις συμπληρώσεις με νέο μάρμαρο.
- Διερεύνηση της σεισμολογικής συμπεριφοράς του βράχου της Ακρόπολης
- Αποτύπωση των περιμετρικών τειχών της Ακρόπολης με τη χρήση σύγχρονων φωτογραμμετρικών μεθόδων

- Διερεύνηση της στατικής επάρκειας των περιμετρικών τειχών μέσω γεωφυσικής διασκόπησης, μέτρησης των παραμορφώσεων με τη χρήση οπτικών ινών, εγκατάστασης δύο γεωδαιτικών σταθμών κ.ά.
- Αποκατάσταση των κιόνων του Οπισθονάου του Παρθενώνα, χωρίς αποξήλωση, με τη χρήση ειδικών ενεμάτων.
- Καθαρισμός της επιφάνειας αποσυναρμολογημένων μελών της Δυτικής Ζωφόρου του Παρθενώνα με τη χρήση πρωτότυπου συστήματος Laser.

Όπως έχει προαναφερθεί, τα περισσότερα προβλήματα που όφειλαν να αντιμετωπιστούν στα μνημεία της Ακρόπολης, προκλήθηκαν από επιλογές σχετικές με τις αναστηλωτικές επεμβάσεις κατά την περίοδο που υπεύθυνος των έργων ήταν ο Ν. Μπαλάνος. Έτσι, όπως επισημάνθηκε το 2016 στο πλαίσιο Ημερίδας για τα αναστηλωτικά έργα στην Αθηναϊκή Ακρόπολη (ΥΠΠΟ, ΥΣΜΑ, Θεσ/κη, 2016), οι νέες επεμβάσεις επικεντρώθηκαν στα δομικά προβλήματα που εντοπίστηκαν στα μάρμαρα των αναστηλωμένων και μη περιοχών και τη μειωμένη στατική τους επάρκεια λόγω της ερειπιώδους κατάστασης στην οποία είχαν περιέλθει, με την παράλληλη αντιμετώπιση της ραγδαίας φθοράς των επιφανειών λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και άλλων βιολογικών παραγόντων.

### **Αποξήλωση**

Ο κατακερματισμός των μαρμάρων των μνημείων της Ακρόπολης προκλήθηκε από τα σιδερένια στοιχεία σύνδεσης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην διάρκεια παλαιότερων αναστηλώσεων και τα οποία είχαν οξειδωθεί. Αν και τα αρχαία στοιχεία σύνδεσης, στις περισσότερες περιπτώσεις, βρέθηκαν σε αρκετά καλή κατάσταση, καθώς είχαν προφυλαχθεί από τα αρχαία στρώματα μόλυβδου που τα περιεκάλυπτε, ωστόσο, σε άλλες περιπτώσεις, είχαν υποστεί μηχανική καταπόνηση ή οξείδωση, γεγονός που προξένησε ρηγματώσεις στα μάρμαρα.



Εικ. 24. Καταστροφή αρχιτεκτονικού μέλους της ΝΑ γωνίας Θριγκού του Παρθενώνα λόγω διόγκωσης ελασμάτων. Πηγή: Πάσιου (2014)

Κατά τη διάρκεια των σύγχρονων επεμβάσεων, κυρίως μετά το 1980, τα σιδερένια αυτά συνδετήρια στοιχεία αποσπώνται μετά την αφαίρεση του υλικού πλήρωσης του χώρου, υλικό που βρίσκονταν ανάμεσα στο συνδετήριο στοιχείο και το μάρμαρο. Στα ήδη αναστηλωμένα τμήματα, το υλικό πλήρωσης ήταν συνήθως στο τσιμεντοκονίαμα και, σπανιότερα, ο μόλυβδος (Ζάμπας, 1989).

Πλέον, η αποκατάσταση της μονολιθικότητας των αρχιτεκτονικών μελών, επιτυγχάνεται μέσω της συγκόλλησης των επιμέρους τμημάτων τους με λευκό τσιμέντο Portland και οπλισμό από τιτάνιο. Τόσο η χρήση του τσιμέντου Portland, όσο και αυτή των οπλισμών τιτανίων στοχεύει στην ανάληψη εφελκυστικών φορτίων με διεύθυνση κάθετη των επιφανειών θραύσης. Ο υπολογισμός των οπλισμών έχει ως βασικό κριτήριο τη δυνατότητά τους να αναλαμβάνουν με ασφάλεια το φορτίο λειτουργίας και σε οριακή κατάσταση, η αστοχία των οπλισμών να επιβαρύνει τη συγκόλληση και όχι τα μάρμαρα.

Η επιφάνεια των μελών που πρόκειται να συγκολληθούν έχει καθαριστεί από τους ρύπους και την σαθρές φλούδες με οδοντωτό εργαλείο, έτσι ώστε να αφαιρείται ενιαίο στρώμα, πάχους 1mm, περίπου. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται τσιμεντοπολτός για την κάλυψη του χώρου που προκύπτει μετά τον καθαρισμό και τη συγκόλληση, προκειμένου να μην μεταβάλλονται οι γενικές διαστάσεις των μελών. Όπως προανα-

φέρθηκε, ο οπλισμός πραγματοποιείται με ράβδους τιτανίου, στις οποίες έχει διαμορφωθεί σπείρωμα και ακολουθεί «εμφύτευση με τσιμεντοπολτό σε διατρήματα στην μάζα μαρμάρου» (Πάσιου, 2014).



Εικ. 25. Συγκόλληση δύο τμημάτων του εξωτερικού επιστηλίου Β. γωνίας Α. πλευράς Παρθενώνα με οπλισμό τιτανίου. Πηγή: Πάσιου (2014)

Σε ό,τι αφορά στη συγκόλληση των τεμαχίων, η πήξη του τσιμεντοπολτού γίνεται στην διεπιφάνεια συγκόλλησης υπό πίεση. Όπως επισημαίνει η Πάσιου (2014), αν και τα διατρήματα δεν καταλήγουν, στις περισσότερες περιπτώσεις, στις εξωτερικές επιφάνειες των μελών (τυφλά), ωστόσο, όταν αυτό δεν είναι εφικτό, τα «διατρήματα καταλήγουν σε χονδρολαξευμένες επιφάνειες», οι οποίες όμως δεν είναι θεατές μετά την τοποθέτησή τους (Πάσιου, όπ. π.). Να διευκρινιστεί, επίσης, ότι η συνάφεια μεταξύ ράβδων τιτανίου και του τσιμεντοκονιάματος επιτυγχάνεται μηχανικά με την εμπλοκή του τσιμεντοκονιάματος στο σπείρωμα του οπλισμού, ενώ η συνάφεια τσιμεντοκονιάματος και μαρμάρου οφείλεται σε μηχανικούς και φυσικοχημικούς δεσμούς.

Επιπλέον, προκειμένου να ολοκληρωθούν τα αρχιτεκτονικά μέλη, αλλά και να αντικατασταθούν τα προγενέστερα συμπληρώματα από σκυρόδεμα, χρησιμοποιούνται συμπληρώματα νέου μαρμάρου. Η επιφάνεια των νέων συμπληρωμάτων λαξεύεται



προκειμένου να προσαρμοστεί με ακρίβεια «στην επιφάνεια θραύσης του αρχαίου μέλους (με τη χρήση πονταδόρου και παντογράφου), ενώ η συγκόλληση των συμπληρωμάτων πραγματοποιείται και πάλι με τιμεντοπολτό και οπλισμό τιτανίου (Ζάμπας, 1989).

Στη διαδικασία αποξήλωσης χρησιμοποιούνται δύο είδη ράβδων οπλισμού: ο οπλισμός κάμψης, ο οποίος εξασφαλίζει την αντοχή του αρχιτεκτονικού μέλους έναντι της αναμενόμενης μέγιστης εξωτερικής φόρτισης και ο οπλισμός αποκατάστασης, βάσει του οποίου ολοκληρώνεται μορφολογικά το μέλος. Σε περίπτωση αστοχίας οπλισμένων μαρμάρινων δοκών, προκαλείται υπερδιαστασιολόγηση του οπλισμού με αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση των μάρμαρων εκτός του σημείου συγκόλλησης, την απόσχιση τους γύρω από τον οπλισμό και τη σύνθλιψή τους στις θλιβόμενες παρειές (Πάσιου, 2008 & Τουμπακάρη, 2008). Σε περίπτωση, όμως, αστοχίας στη θέση συγκόλλησης, η νέα βλάβη των μελών αποτρέπεται.

Στις τρέχουσες επεμβάσεις, τα επιστύλια των μνημείων της Ακρόπολης θεωρήθηκαν ως σύνθετα δομικά μέλη από νέο μάρμαρο και τιτάνιο και τα οποία υπόκεινται σε απλές κάμψεις (Ioannidou et al., 2002 & Mentzini, 2002). Η ανάλυση που εφαρμόστηκε, βασίστηκε στις παρακάτω υποθέσεις (Kourkoulis et al., 2006):

- Ύπαρξη γραμμικής αναλογίας εξέλιξης μεταξύ των συνιστωσών των τανυστών τάσεων και ανηγμένων παραμορφώσεων, καθώς οι αναπτυσσόμενες τάσεις που αναπτύσσονται δεν ξεπερνούν το όριο γραμμικής ελαστικότητας του μαρμάρου και του τιτανίου.
- Τα καμπτικά φορτία έχουν κάθετη δράση στις στρώσεις του μαρμάρου, το οποίο εκλαμβάνεται ως εγκάρσια ισότροπο υλικό.
- Σύμφωνα με την τεχνική θεωρία κάμψης Euler - Bernoulli, η διατομή παραμένει επίπεδη και κάθετη στον διαμήκη ουδέτερο άξονα της δοκού, καθώς το μήκος των επιστυλίων είναι επαρκώς μεγαλύτερο συγκριτικά με τις άλλες δύο διαστάσεις τους.
- Δεν συνυπολογίζεται η σχετική εξόλκευση ή η ολίσθηση των ράβδων, καθώς είναι συμβατές μεταξύ τους οι ανηγμένες παραμορφώσεις που αναπτύσσονται σε μάρμαρο και τιτάνιο

- Η τάση εφελκυσμού που πιθανά αναλαμβάνεται από το τσιμεντοκονίαμα θεωρείται αμελητέα.

Ειδικότερα, στο σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη όλα τα φορτία που θα μπορούσαν δυνητικά να εφαρμόζονται επί του μέλους μετά την επανατοποθέτησή τους στην αρχική τους θέση. Τα φορτία αυτά περιλαμβάνουν το βάρος του υπερκείμενου μέλους, το κατακόρυφο στατικό φορτίο από ίδιον βάρος, αλλά και το πιθανό δυναμικό φορτίο που μπορεί να προέλθει, για παράδειγμα από μια σεισμική δόνηση. Σε ό,τι αφορά στις συνθήκες στήριξης του μέλους, το επιστύλιο εκλαμβάνεται ως ισοδύναμο με στατικά ορισμένο σύστημα το οποίο έχει τη μορφή μιας απλά εδραζόμενης ή μιας αμφιπροέχουσας δοκού.

Σύμφωνα με τους Σάμπας (1994) & Kourkoulis (2006), ο υπολογισμός σύνδεσης στηρίζεται στην αρχή ότι η εξωτερικά επιβαλλόμενη ροπή «αναλαμβάνεται από το εσωτερικά αναπτυσσόμενο ζεύγος δυνάμεων» και είναι «θλιπτική στο μάρμαρο και εφελκυστική στη ράβδο οπλισμού (Σάμπας, 1994 & Kourkoulis et al., 2006). Σε ορισμένες περιπτώσεις, μάλιστα, η συγκόλληση μπορεί να αποκαθιστά την αρχική αντοχή του μέλους (όπως για παράδειγμα, στο καμπτόμενο μέλος), ενώ σε άλλες, η προσπάθεια ανάκτησης της αρχικής αντοχής απαιτεί μεγάλα ποσοστά οπλισμού. Συνήθως όμως, το απαιτούμενο ποσοστό οπλισμού είναι πολύ μικρό και κυμαίνεται μεταξύ 1 έως 2% της διατομής του μαρμάρου.

Επιπλέον, η απόσταση του άξονα του εφελκυσμένου οπλισμού από την εξωτερική επιφάνεια του συνδεόμενου θραύσματος είναι μεγαλύτερη ή ίση του τετραπλασίου της διαμέτρου του διατρήματος, προκειμένου να αποκλειστεί ο κίνδυνος διάρρηξης του μαρμάρου σε οριακές καταστάσεις. Το βάθος αγκύρωσης προσδιορίζεται σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα που «αφορούν στη συνάφεια των κοχλιοτομημένων ράβδων τιτανίου με τον τσιμεντοπολτό και το μάρμαρο» (Σάμπας, 1989 & Σάμπας, 1994).

## Επανατοποθέτηση και σύνδεση αρχιτεκτονικών μελών

Η επανατοποθέτηση των αρχιτεκτονικών μελών στην αρχική τους θέση πραγματοποιείται μετά την επισκευή τους, ενώ η σύνδεση γίνεται με τη χρήση ελασμάτων τιτανίου τα οποία έχουν διαμορφωθεί σε συνδέσμους ή γομφίους. Στη συνέχεια, η τοποθέτηση των συνδέσμων πραγματοποιείται, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, στις ήδη υπάρχουσες εντορμίες, με τη χρήση τσιμέντου Portland και χαλαζιακής άμμου.

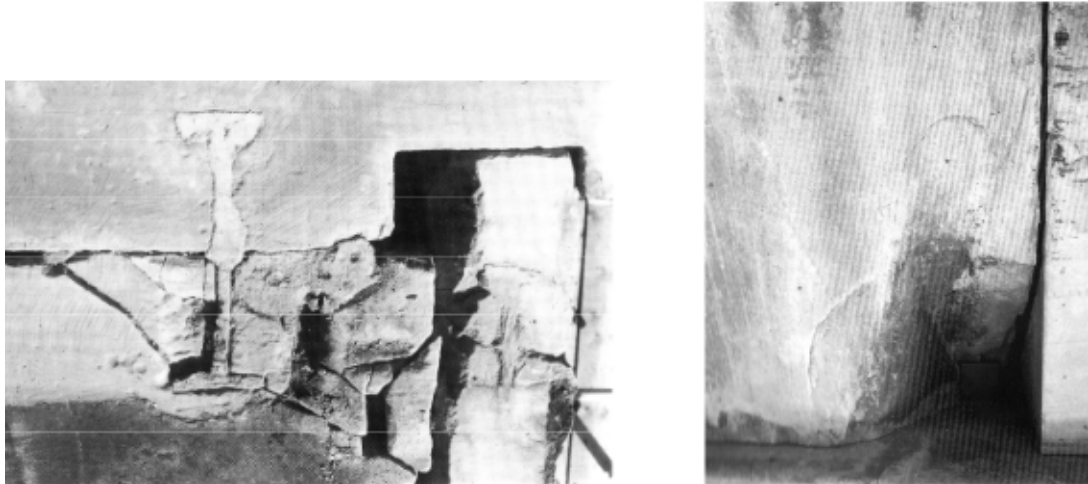


Εικ. 26. Συγκόλληση αυθεντικού τμήματος καταετίου γείσου με συμπλήρωμα νέου μαρμάρου.  
Πηγή: Πάσιου (2014)

Κατά τη διαδικασία επανατοποθέτησης των αρχιτεκτονικών μελών, πραγματοποιείται, παράλληλα, μερική άρση των γεωμετρικών παραμορφώσεων του τμήματος του μνημείου στο βαθμό που επιτρέπεται από τις παραμένουσες παραμορφώσεις των μελών που δεν θα αποξηλωθούν, προκειμένου να είναι εφικτή η προσέγγιση της αρχικής γεωμετρικής μορφής.

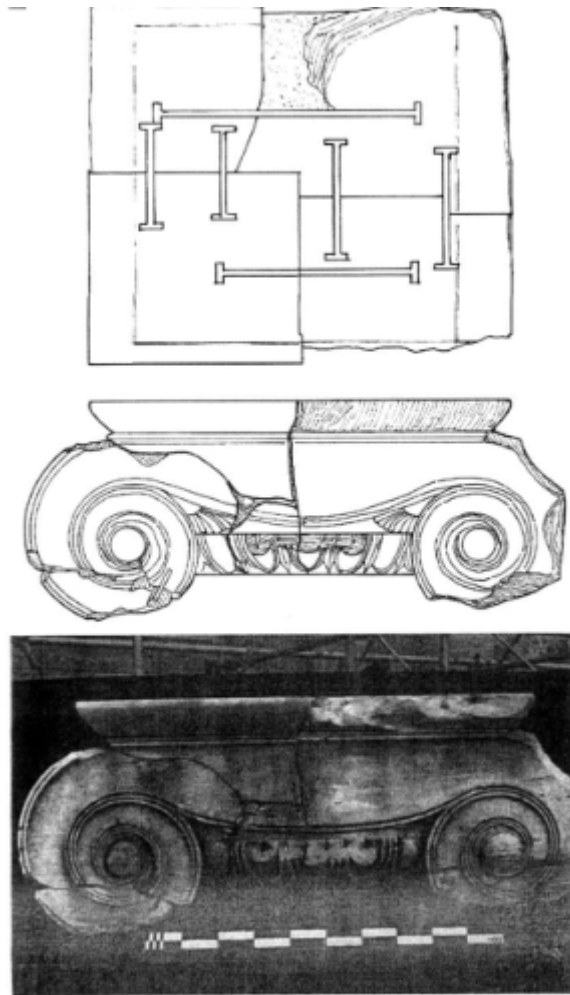
Επιπλέον, εξ αιτίας κάποιων αρμών που παραμένουν ανοικτοί, λόγω της διάρθρωσης των μελών, στην επανατοποθέτηση, «χρησιμοποιούνται φύλλα μολύβδου που διαστρώνονται στις επιφάνειες έδρασης ή σφηνώνονται στους κατακόρυφους αρμούς

ώστε να εξασφαλίζεται η επαφή των μελών» (Ζάμπας, 1989 όπ. αναφ., Πάσιου, 2014). Η επιλογή των φύλλων μολύβδου στηρίζεται στο γεγονός ότι η χρήση τους από τους κατασκευαστές του Παρθενώνα στις εδράσεις των μελών του θριγκού του ναού, επέτρεπε την ομοιόμορφη διανομή των θλιπτικών τάσεων στις επιφάνειες επαφής (Ζάμπας, όπ. π.).



Εικ. 27. Αστοχία σύνδεσης αρχιτεκτονικών μελών με θραύση μαρμάρου χωρίς βλάβη αρχαίου συνδετηρίου (αριστερά) και αστοχία σε γόμφωση με θραύση μαρμάρου σε περιοχή αγκύρωσης (δεξιά). Πηγή: Πάσιου (2014)

Ειδικότερα, όταν έχει διασωθεί η αρχική εντορμία ενός συνδετηρίου, ο σχεδιασμός του συνδέσμου γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει την μέγιστη δυνατή πλαστιμότητα και αντοχή και πλαστιμότητα, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζονται από τη φέρουσα ικανότητα του μαρμάρου στην περιοχή της αρχικής εντορμίας.



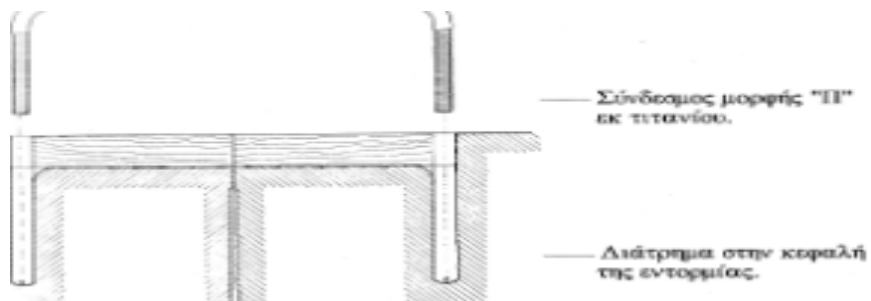
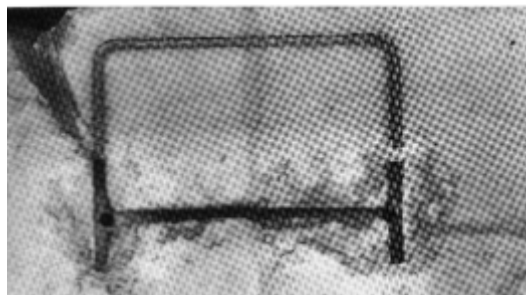
Εικ. 28. Σύνθεση από κατακερματισμένα μέρη μαρμάρου κιονόκranου Προπυλαίων Ακρόπολης και σύνδεση με μεταλλικούς συνδέσμους. Πηγή: Tanoulas, Ioannidou, Moraitou (1994)

Η μορφή που δίνεται στους συνδέσμους τιτανίου ακολουθεί αυτή των αρχαίων συνδέσμων, οι οποίοι, εκ κατασκευής, είχαν εγκάρσια σκέλη, παχύτερα στη θέση συνάντησής τους με το διάμηκες σκέλος. Επομένως, οι σύνδεσμοι τιτανίου σχεδιάζονται έτσι ώστε το εγκάρσιο σκέλος τους, διαμορφωμένο με πλάνισμα, να είναι παχύτερο στη θέση συγκόλλησης με το διάμηκες, στο οποίο διαμορφώνεται λαιμός, σε μεγάλο μήκος. Με τον σχεδιασμό αυτό, όταν ο σύνδεσμος εφελκυστεί και το υλικό ξεπεράσει το όριο διαρροής, η παραμόρφωσή του να προηγηθεί της αστοχίας και συνεπώς να υπάρξει σημαντική απορρόφηση ενέργειας.



Εικ. 29. Σύνδεσμος τιτανίου μορφής διπλού «Τ» και η εντορμία εισαγωγής του. Πηγή: Πάσιου (2014)

Σε περίπτωση που η αρχαία εντορμία είναι κατεστραμμένη, τότε, στο αρχικό μάρμαρο κατασκευής του μνημείου πραγματοποιείται διάνοιξη δύο διατρημάτων στις θέσεις όπου άλλοτε αγκυρώνονταν εγκάρσια τα σκέλη υπό μορφή διπλού «Τ» και χρησιμοποιείται νέος σύνδεσμος από ράβδο τιτανίου, μορφής Π. Όμως, επειδή οι σύνδεσμοι τιτανίου υστερούν συγκριτικά με τους αρχαίους συνδέσμους καθώς τα κατακόρυφα σκέλη τους είναι συνήθως μικρότερα και η αγκύρωσή τους στο μάρμαρο είναι αβαθής, εξολκεύονται σε περίπτωση που δεχτούν σημαντικές εφελκυστικές δυνάμεις.



Εικ. 30. Σύνδεσμος μορφής Π από ράβδο τιτανίου (πάνω) και (κάτω) τοποθέτηση συνδετηρίου Π από τιτάνιο στη θέση κατεστραμμένης εντορμίας. Πηγή: Πάσιου (2014)

Για το λόγο αυτό η κατασκευή τους σχεδιάζεται έτσι ώστε οι ράβδοι να ακυρώνονται επαρκώς χάρη στα μακρά κοχλιοτομημένα κατακόρυφα σκέλη και στη διαμόρφωση λαιμού στο διάμηκες σκέλος. Η διαστασιολόγηση των γόμφων τιτανίου σχεδιάζεται με τη φέρουσα ικανότητά τους να είναι μικρότερη από αυτή του μαρμάρου στα σημεία αγκύρωσης, έτσι ώστε να επιτρέπεται η μέγιστη μόνιμη σχετική μετακίνηση του συνδεόμενου μέλους: η διαφορά του εύρους της εντορμίας μείον το πάχος του γόμφου (Ζάμπας, 1989).

### **Αναστήλωση**

Ο προσδιορισμός της αρχικής θέσης πλήθους διάσπαρτων αρχιτεκτονικών μελών στο χώρο της Ακρόπολης αποτελεί κύριο μέρος μελέτης του Κορρέ (1989) και εμπεριέχεται στη *Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος* (ΥΠΠΟ-ΥΣΜΑ, 1989 2α). Το έργο του Κορρέ είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς η ακριβής επανατοποθέτηση των διάσπαρτων αρχιτεκτονικών μελών στην αρχική τους θέση συντελεί στην καλύτερη διατήρηση του μνημείων.

Η αναστήλωση πραγματοποιείται με τη συγκόλληση των διάσπαρτων αρχιτεκτονικών μελών με τσιμεντοπολτό και ράβδους τιτανίου ενώ όσα μέλη παρουσιάζουν μεγάλη απώλεια αρχικής μάζας συμπληρώνονται με νέο μάρμαρο, ενώ, όπως χαρακτηριστικά επισημαίνεται από την Πάσιου, «τα φορτία που φέρονται από τα in situ τμήματα μετά την αναστήλωση είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερα από αυτά που έφεραν επί 22 αιώνες, μέχρι δηλαδή την ανατίναξη του ναού» (Πάσιου, 2014).

### 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

## Πειραματικές Τεχνικές

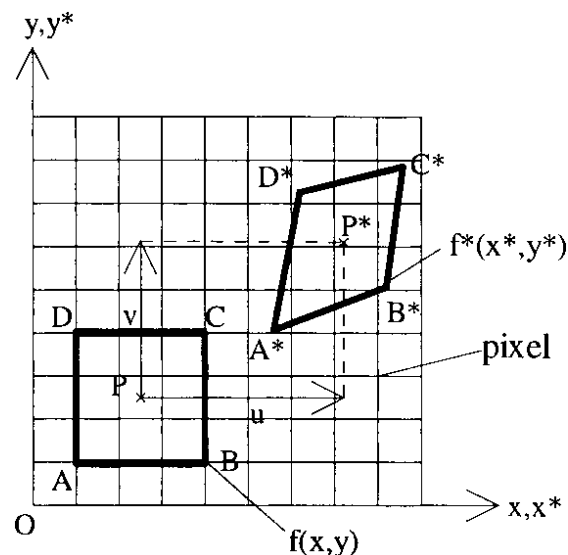


### 3.1. Συσχέτιση ψηφιακής εικόνας

Οι πρώτες θεωρητικές προσεγγίσεις της τεχνικής συσχέτισης της ψηφιακής εικόνας (DIC) προσδιορίζονται την χρονική περίοδο του 1983. Σύμφωνα με την προσέγγιση των Sutton et al., (1983), οι οποίοι και θέτουν τις βάσεις για την μετέπειτα μελέτη της, μέσω της τεχνικής αυτής ορίζεται η θέση των σημείων στο δοκίμιο που μελετάται, τόσο σε κατάσταση παραμόρφωσης όσο και σε κατάσταση ηρεμίας και διατήρησης της αρχικής της μορφής (εικ. 31). Όπως φαίνεται και στην εικόνα, το σημείο P είναι το κέντρο ενός τμήματος της εικόνας που μελετάται στην αρχική κατάσταση της, ενώ το P' είναι το κεντρικό σημείο του στην μετά την παραμόρφωση κατάστασή του. Η σχέση ανάμεσά τους δίνεται από τους παρακάτω τύπους:

$$x^* = x + u(x, y) \quad \text{και} \quad y^* = y + v(x, y)$$

Προκειμένου η συγκεκριμένη τεχνική να θεωρηθεί επιτυχής και να εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο, οφείλει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις. Ανάμεσα σε αυτές συγκαταλέγεται η σωστή τοποθέτηση του συστήματος καμερών, ώστε το επίπεδο του φακού τους να βρίσκεται παράλληλα με την επιφάνεια του υπό μελέτη στοιχείου. Ενώ, στην ίδια επιφάνεια είναι αναγκαίο να παρεμβάλλεται και κοκκοειδές μοτίβο (Πάσιου, 2014).



Εικ. 31. Σχηματική απεικόνιση της σχετικής θέσης των εικόνων στην απαραμόρφωτη και την παραμορφωμένη κατάσταση της επιφάνειας (Chu et al., 1985)

Κατά την διαδικασία εφαρμογής της τεχνικής της ψηφιακής εικόνας, καθίσταται δυνατή η σύγκριση της θέσης ορισμένων σημείων που παραμορφώθηκαν, προσδιορίζοντας επακριβώς την μετατόπισή τους, τόσο σε επίπεδο δύο διαστάσεων όσο και σε χωρικές περιπτώσεις τριών διαστάσεων (Πάσιου, 2014).

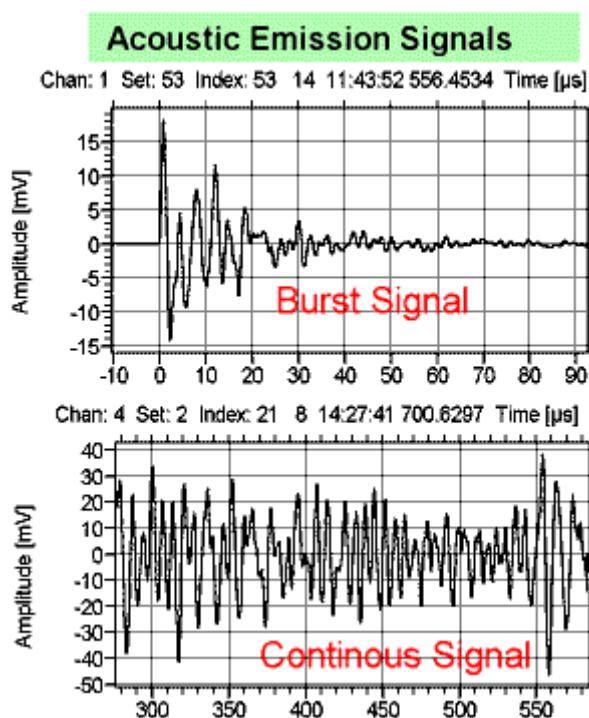
Στο πλαίσιο των παραμορφώσεων που μπορούν να υποστούν τα υλικά κατασκευής, έχουν καταγραφεί μελέτες πάνω στο φαινόμενο της θραύσης που ενδέχεται να προκληθεί στο σκυρόδεμα ή άλλου είδους κονιάματα (π.χ. 24-26). Σε αντίθεση με τα συγκεκριμένα υλικά, στην περίπτωση των λίθων είναι σχετικά αδύνατη η καταγραφή τέτοιων φαινομένων, είτε για τον προσδιορισμό του εύρους των παραμορφώσεων, είτε για την εμφάνιση ρωγμών (Lin and Labuz, 2013, Stirling, Simpson and Davie, 2013).

### **3.2. Μέθοδος ακουστικής εκπομπής**

Μία ακόμη μέθοδος για τον εντοπισμό τυχόν ρωγμών ή οιασδήποτε μορφής ασυνέχεια και σε σημεία μη ορατά του υπό μελέτη κατασκευαστικού στοιχείου, είναι αυτή της ακουστικής εκπομπής. Ήδη από τα αρχαία χρόνια, ο συγκεκριμένος τρόπος ανίχνευσης ατελειών αξιοποιούνταν σε μεγάλο βαθμό, με τους λατόμους μαρμάρων να προκαλούν φόρτιση στο υλικό χτυπώντας το, μεταξύ άλλων, με μεταλλικά εργαλεία, ενώ οι πρώτες αναφορές στην τεχνική αυτή κάνουν την εμφάνισή τους τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Ενδεικτικά, η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε σε ένα κιονόκρανο το οποίο και απορρίφθηκε κατόπιν της εξέτασης αρτιότητάς του από τους λατόμους μαρμάρων. Το συγκεκριμένο μέλος κίονα παραμένει έως σήμερα στην Πεντέλη χωρίς να έχει τελειοποιηθεί η επεξεργασία του, μιας και ποτέ δεν μεταφέρθηκε στο σημείο της Ακρόπολης (Κορρές, 2000).

Σε μία διαδικασία απόδοσης ενός ορισμού για την ακουστική εκπομπή, μπορούμε να πούμε συνοπτικά, πως πρόκειται για ένα φαινόμενο κατά το οποίο απελευθερώνεται μια στιγμιαία ενέργεια από ένα εξωτερικό είτε εσωτερικό μέσο (Miller and McIntire, 1987: ASTM, 1982). Στην συνέχεια, εξαιτίας της ενέργειας αυτής παράγονται εσωτερικά ακουστικά κύματα που διαδίδονται σε όλη την επιφάνεια του υλικού και σε πολλές διευθύνσεις ταυτόχρονα. Τα κύματα αυτά, λόγω των ιδιοτήτων τους, είναι τόσο μηχανικά όσο και ελαστικά, με τον πρώτο προσδιορισμό που τους δίνεται να σχετίζεται με την διάδοσή τους στην ύλη του υπό μελέτη αντικειμένου, και τον

δεύτερο να αφορά την επαναλαμβανόμενη ταλάντωση στην οποία υπόκεινται τα σωματίδια της ύλης (Fahy, 1985, Gillis and Hamstad, 1973). Ο προσδιορισμός της εκπομπής, ωστόσο, ως «ακουστική», είναι σχετικά αδόκιμος μιας και το ουσιαστικό κομμάτι της αφορά ελαστικά κύματα τάσης, με τα σήματα που καταγράφονται να ανήκουν σε υπερηχητικές συχνότητες. Τα στοιχεία εκείνα, ωστόσο, που ορίζουν την παραγωγή των κυμάτων αυτών είναι άμεσα συνδεδεμένα με τα πιθανά στάδια εξέλιξης των ρωγμών (διάδοση, δημιουργία και παραμόρφωση) (Πάσιου, 2014). Η ιδιαιτερότητα κάθε υλικού, αλλά και οι ιδιότητές του είναι και αυτά που καθορίζουν την πηγή προέλευσης των ακουστικών κυμάτων. Παίρνοντας, για παράδειγμα, το μέταλλο, έχει διαπιστωθεί πως τα κύματα αυτά προκύπτουν από μικρού μεγέθους εσωτερικές ρωγμές, μέσω διάσπασης διάφορων ενώσεων και λοιπών ατελειών. Τα σήματα συνεχούς εκπομπής διακρίνονται από εκείνα τα σήματα τα οποία δημιουργούνται απότομα λόγω των ενδεχόμενων ρωγμών που προκαλούνται.



Εικ. 32. Σήματα Ακουστικής Εκπομπής. Πηγή [www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)

Σε υλικά των οποίων η σύνθεση είναι ακόμα πιο περίπλοκη, υπάρχουν κι επιπλέον σημεία εκπομπής ακουστικών κυμάτων μεταξύ των οποίων και η διάσπαση των ινών της μήτρας του υλικού (Evans, 1978). Όλες οι παραπάνω πηγές που προκαλούν την

εκπομπή ακουστικών κυμάτων στο εσωτερικό του εκάστοτε υλικού χαρακτηρίζονται ως πρωτεύουσες, μιας και το παραμορφώνουν μηχανικά. Σε άλλη κατηγορία πηγών που κρίνονται ως δευτερεύουσες -ή διαφορετικά ως ψευδοπηγές - συμπεριλαμβάνονται φαινόμενα όπως η ρευστοποίηση, η σπηλαίωση και η διάδοση μαγνητικών πεδίων. Προκειμένου να διαχωριστούν οι ακουστικές εκπομπές που χρήζουν ενδιαφέροντος κι εξέτασης από τις υπόλοιπες, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν πολλαπλοί αισθητήρες. Με την διαδικασία αυτή γίνεται μια επιλεκτική καταγραφή των ήχων που ενδιαφέρουν κάθε φορά τους μελετητές, απορρίπτοντας τους εξωτερικούς παράγοντες που δρουν ως ηχητικά παράσιτα. Η μορφή των ακουστικών εκπομπών καθιστά δύσκολη την διαδικασία εύρεσης της θέσης που βρίσκεται η εκάστοτε πηγή. Παρόλα αυτά είναι δυνατή η αποτελεσματική παρακολούθηση των μηχανών και της λειτουργίας τους.

Μεταξύ των μεθόδων αυτών, κατά την διεργασία των οποίων δεν δημιουργούνται σημαντικές φθορές και ζημιές στα υπό μελέτη υλικά, εντάσσεται και η μέθοδος της ακουστικής εκπομπής. Ωστόσο, η απορία που προκύπτει, άμεσα, είναι σε ποιον βαθμό μπορεί να θεωρηθεί η τεχνική αυτή ως μη βλαπτική για το υλικό, από τη στιγμή που για να δοκιμαστεί η χρήση της απαιτείται η επί μέρους θραύση του. Το στοιχείο εκείνο που την κατηγοριοποιεί ως ιδιαίτερη είναι η χρονική στιγμή στην οποία και εφαρμόζεται. Έτσι, η ακουστική εκπομπή εφαρμοσμένη κατά την επιφόρτιση του υλικού με εξωτερική ενέργεια, διαχωρίζεται από τις υπόλοιπες μη βλαπτικές τεχνικές οι οποίες πραγματώνονται είτε πριν την φόρτιση είτε με το πέρας αυτής. Συνήθως, η τεχνική της ακουστικής εκπομπής αξιοποιείται σε αρχική φάση ώστε να εξετασθεί η πιθανότητα ενδεχόμενης αστοχίας (Grosse and Ohtsu, 2008).

Ακόμα, εκείνα τα σημεία στα οποία υπερέχει έναντι άλλων αφορούν την μη επιζήμια παρακολούθηση της κατάστασης του υλικού στην διάρκεια που δέχεται φόρτιση και την ύπαρξη μικρού αριθμού αισθητήρων οι οποίοι και είναι ικανοί να καταγράψουν σημαντικής ισχύος σήματα. Η τοποθέτηση των αισθητήρων γίνεται σε τέτοιο σημείο που δεν χρήζουν μετακίνησής τους. Τέλος, η συγκεκριμένη μέθοδος καταγραφής αστοχιών πλεονεκτεί στο γεγονός πως είναι σε θέση να αναγνωρίσει επικείμενες ρωγμές ή επέκταση αυτών. Δεδομένου αυτού, ενδείκνυται η αξιοποίησή της σε πραγματικές

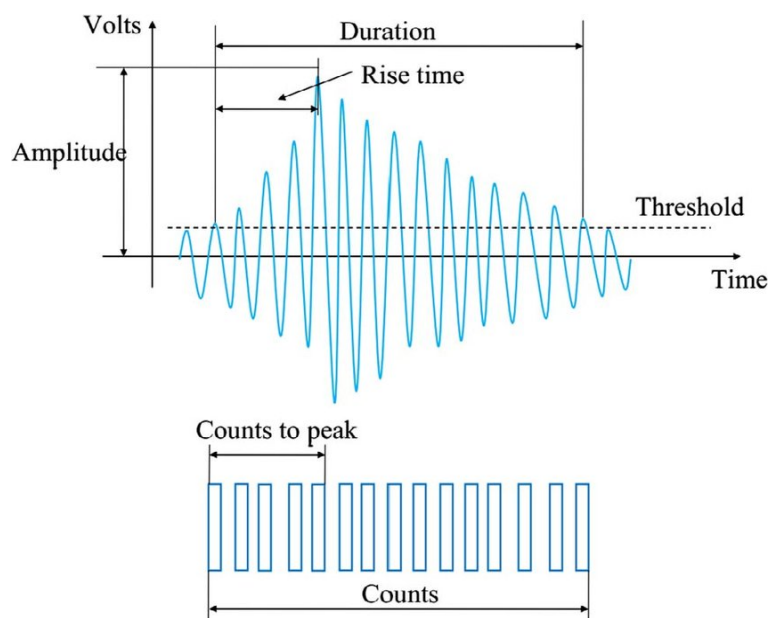
κατασκευές που δέχονται υπαρκτά φορτία κι ενδέχεται λόγω μεγάλης φόρτισης να αστοχήσουν (Grosse and Ohtsu, 2008).

Αντίστοιχα, όμως, εντοπίζονται και σχετικά αρνητικά σημεία, καθώς η μέθοδος της ακουστικής εκπομπής, πέρα της αδυναμίας της να είναι περιοδική -μιας και η δημιουργία μιας νέας ρωγμής δεν είναι προβλέψιμη-, απελευθερώνει και ενέργεια τόσο μικρής συχνότητας που απαιτούνται και αισθητήρες με σχετικά μεγάλη ευαισθησία. Ανάμεσα σ' αυτά υπάρχουν και οι περιπτώσεις κατά τις οποίες μπορούν να δημιουργηθούν και δυσκολίες εξαιτίας των εξωτερικών θορύβων του περιβάλλοντος, της μη κατάρτισης και της ελλειμματικής εκπαίδευσης του μελετητή, αλλά και η μη ισχυρή σχέση μεταξύ αυτών και των σημάτων που εκπέμπονται. Με βάση τα παραπάνω, είναι επόμενο πως η επεξεργασία των δεδομένων σχετικά με την ακριβή θέση των ακουστικών εκπομπών απαιτεί και πιο προηγμένες τεχνικές (Grosse and Ohtsu, 2008).

Κάνοντας μία παράθεση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται σε μία ακουστική εκπομπή, είναι απαραίτητο να αναφερθούν οι εξής: Αρχικά, η παράμετρος του «χτύπου» (hit) είναι ένδειξη της ακουστικής δραστηριότητας και αφορά την περίπτωση στην οποία η τάση του περνά το χαμηλότερο όριο. Στη συνέχεια, η παράμετρος των «απαριθμήσεων» (count or ring-down count or emission count) είναι αυτή που δίνει πληροφορίες σχετικά με την δραστηριότητα του ήχου και για τον αριθμό των φορών εκείνων που ξεπερνάται το όριο της τάσης. Όταν το πλάτος του σήματος (amplitude) που εκπέμπεται κατά την δραστηριότητα φτάνει το μέγιστο όριο, τότε οι απαριθμήσεις αυτές ονομάζονται «απαριθμήσεις μέχρι το μέγιστο (counts to peak)». Η μονάδα μέτρησης του πλάτους είναι τα decibels, κι ενδεικτικά, το 1μV που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας είναι το αντίστοιχο 0 της ακουστικής εκπομπής μετρούμενο σε dB. Ενώ, παράλληλα, το μέγεθος του πλάτους είναι ανάλογο και του μεγέθους της πηγής απ' όπου και παράγεται η ακουστική δραστηριότητα.

Η παράμετρος της διάρκειας (duration) αφορά το χρονικό διάστημα από τη στιγμή του πρώτου περάσματος από το χαμηλότερο όριο της τάσης μέχρι το σήμα αυτό να χαθεί και να γίνει μη ανιχνεύσιμο. Οι μεταβλητές που καθορίζουν την παράμετρο της διάρκειας είναι -εκτός του μεγέθους της πηγής- και η διαδικασία παραγωγής νέας ροής ακουστικών δεδομένων μέσω του φιλτραρίσματος του θορύβου που προκα-

λείται. Σε αντιστοίχιση με την διάρκεια παραπάνω, ο χρόνος ανύψωσης (rise time) αναφέρεται στο διάστημα εκείνο μεταξύ του χαμηλότερου ορίου τάσης και του μέγιστου πλάτους (εικ. 33).



Εικ. 33. Βασικά χαρακτηριστικά παλμών

Η σχέση του με την πηγή της ακουστικής εκπομπής και τον χρόνο είναι στενή και η χρήση του αφορά την καταχώριση της θραύσης ανάλογα τον τύπο και το εύρος της, ή ακόμα και την εξαφάνιση του θορύβου. Η εκπεμπόμενη ενέργεια (energy) μιας και δεν εξαρτάται από το χαμηλότερο όριο της τάσης και τις συχνότητες λειτουργίας, είναι χρήσιμη ώστε να ερμηνεύσει το μέγεθος της πηγής που προκάλεσε την ακουστική δραστηριότητα. Διαγραμματικά απεικονίζεται ως η ορισμένη από την καμπύλη του σήματος επιφάνεια. Θέτοντας, τώρα, ως αριθμητή τις «απαριθμήσεις» και ως παρονομαστή τη διάρκεια, μας δίνεται ο όρος της μέσης συχνότητας (average frequency) για κάθε έναν από τους χτύπους που ανιχνεύονται. Η χρήση της συνιστάται στην περίπτωση που η καταγραφή των κυματομορφών είναι ανέφικτη. Στην ομάδα των παραμέτρων που σχετίζονται με την συχνότητα είναι ακόμα η αρχική συχνότητα (initial frequency) που δίνεται από τον λόγο των counts to peak προς τον χρόνο ανύψωσης, και η συχνότητα αντήχησης (reverberation frequency) συμπεριλαμβάνει και τους δύο

τύπους απαριθμήσεων που αναφέρθηκαν στην αρχή, προς την διάρκεια και τον χρόνο ανύψωσης. Τελευταία παράμετρος είναι η τιμή RA (RA value) που προκύπτει από την σχέση του χρόνου ανύψωσης προς το πλάτος. Η τιμή μέτρησης είναι το ms/V και χρησιμοποιείται προκειμένου να καταχωρηθούν και να ταξινομηθούν οι τύποι των ρωγμών που εντοπίζονται (Grosse and Ohtsu, 2008).

Το πρώτο δείγμα καταγραφής ακουστικής εκπομπής χρονολογείται το 1990 ύστερα από το ενδιαφέρον του Drouillard για την πειραματική απόπειρα του F. Kishinoue (1933), ο οποίος το περάτωσε στο Πανεπιστήμιο του Τόκυο σε συνέδριο του Ινστιτούτου Έρευνας Σεισμών. Το συγκεκριμένο πείραμα, το οποίο την επόμενη χρονιά δημοσιεύτηκε στο Περιοδικό της Ακουστικής Εκπομπής έγινε σε ένα κομμάτι ξύλου καμπτικής μορφής και μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο διαδόθηκε η δόνηση (shock occurrence) (Grosse and Ohtsu, 2008). Σύμφωνα με μία από τις μελέτες που εκπονήθηκαν κατά την διάρκεια του 1950, και ειδικότερα αυτήν του Kaiser (Kaiser, 1950), ο ίδιος υποστήριξε πως ένα από τα χαρακτηριστικά των υλικών είναι η δυνατότητά τους να θυμούνται και να αναγνωρίζουν τις τάσεις που τους έχουν προκληθεί σε προγενέστερο χρόνο. Η θεωρία αυτή ονομάζεται “φαινόμενο Kaiser”.

Αναλυτικότερα, απαραίτητο γεγονός για την καταγραφή μεγαλύτερου φορτίου από το μέχρι τότε μέγιστο, είναι το υλικό που μελετάται να έχει παραμείνει αναλλοίωτο και χωρίς ζημιές, ώστε μετά τον πρώτο κύκλο φόρτισης και αποφόρτισης να καταφέρει να ξεπεραστεί η μέγιστη τιμή. Στο ενδεχόμενο όμως που υπάρξει ακουστική εκπομπή πριν το μέγιστο φορτίο, τότε το φαινόμενο Kaiser δεν υφίσταται. Αντί αυτού, θεωρούμε πως τίθεται σε εφαρμογή ο «Λόγος Ευστοχίας Felicity Ratio FR». Αυτός αναφέρεται στον λόγο εκείνου του φορτίου που καταγράφηκε κατόπιν της επαναφόρτισης ως προς το πρωτύερο μέγιστο φορτίο. Δεδομένης αυτής της σχέσης, όταν ο Λόγος Ευστοχίας είναι ίσος ή μεγαλύτερος της μονάδας, μπορεί να θεωρηθεί πως το υπό μελέτη δοκίμιο δεν υπέστη κάποια σημαντική ζημιά στην διάρκεια της προηγούμενης φόρτισης. Στην αντίθετη συνθήκη, στην οποία ο Λόγος Ευστοχίας είναι μικρότερος από την μονάδα, μπορούμε να πούμε πως η ζημιά που έχει υποστεί το δοκίμιο είναι σίγουρη και αρκετά σημαντική. Ενδέχεται, παρόλα αυτά, η συγκέντρωση και η δημιουργία ακουστικών εκπομπών να είναι απόρροια άλλων διενεργειών, άσχετων με

βλάβες, όπως για παράδειγμα η τριβή μεταξύ του υπό εξέταση δοκιμίου με τις συσκευές που το εξετάζουν.

Ένας άλλος τρόπος για την αξιολόγηση των στοιχείων που προκύπτουν κατά μια ακουστική εκπομπή είναι η επεξεργασία των στατιστικών που υποδηλώνουν την σημαντικότητά του μέσω του υπολογισμού του δείκτη HI (Ιστορικός Δείκτης - Historic Index) και της έντασής του (Severity). Για να υπολογιστεί ο Ιστορικός δείκτης (HI) χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος των Blessing, Fowler και Strauser (1992), Golaski et al., (2002):

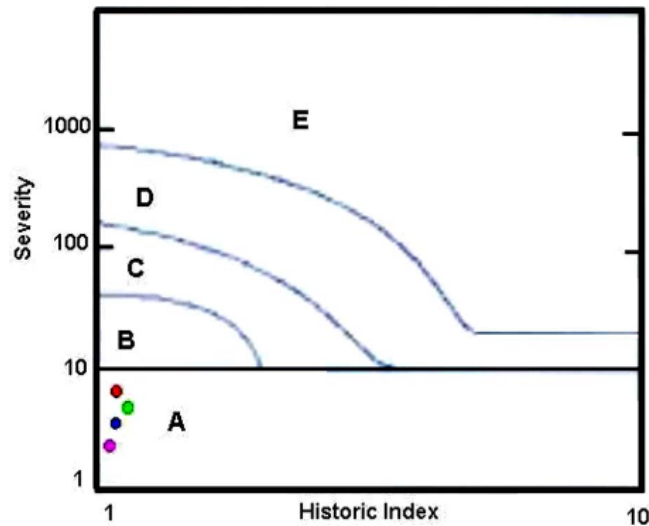
$$H(i) = \frac{N}{N - K} + \left( \frac{\sum_{i=k+1}^N S_{oi}}{\sum_{n=1}^N S_{oi}} \right)$$

όπου το N συμβολίζει τον αριθμό των χτύπων (hits) που καταγράφηκαν, S η ένταση από κάθε σήμα, και K ο τύπος που έχει σχέση με το υλικό και τον N αριθμό των χτύπων (hits). Αντίστοιχα, το Sr συμβολίζει την μέση ένταση του σήματος (average signal strength) των γεγονότων (J) με την υψηλότερη ένταση σημάτων. Η μεταβολή της δριμύτητας είναι θετική και αυξανόμενη -ή ακόμα μπορεί να παραμένει και σταθερή- παράλληλα με την αύξηση του φορτίου. Αν όμως η τιμή της αυξηθεί ξαφνικά, είναι ένα γεγονός ένδειξης αστοχίας. Ύστερα από αυτήν την απότομη αλλαγή, ωστόσο, ενδέχεται να εξακολουθεί να αυξάνεται αλλά σταδιακά και χωρίς μεγάλο ρυθμό (Gostautas et al., 2005). Η σχέση που υπολογίζει την δριμύτητα ενός σήματος είναι η εξής (Blessing, Fowler, Strauser, 1992):

$$Sr = \frac{1}{J} \left( \sum_{m=1}^J S_{om} \right)$$

Σχετικά με την διαγραμματική απεικόνιση της δριμύτητας Sr συναρτήσει του ιστορικού δείκτη HI, υπάρχει ένας διαχωρισμός, ανάλογα το πόσο κρίσιμες είναι οι ακουστικές εκπομπές που καταγράφονται, σε 5 ζώνες. Η Α ζώνη αφορά τις εκπομπές εκείνες που δεν είναι ιδιαίτερης σημασίας, η Β ζώνη αναφέρεται στις ελάχιστου εύρους ατέλειες και η C στις ατέλειες που το εύρος τους είναι σημαντικά μεγάλο και απαιτούν περαιτέρω έλεγχο. Οι τελευταίες περιοχές των D, E είναι και οι πιο κρίσιμες μιας και χρειάζονται ιδιαίτερο τρόπο αντιμετώπισης (εικ. 34) (Golaski, Gebiski, Ono, 2002).





Εικ. 34. Διάγραμμα δριμύτητας  $S_r$  και του δείκτη HI (Golaski et al., 2002)

Η ποσοτικοποίηση της σημαντικότητας της βλάβης που έχει υποστεί το υλικό που μελετάται συνδέεται με διάφορες παραμέτρους και τυχόν συνδυασμό τους.

Σύμφωνα με την μέθοδο των Ledeczki et al., (2009) αξιοποιείται ο αριθμός των γεγονότων με στόχο να καθοριστεί η ακουστική δραστηριότητα και η μέση τιμή του πλάτους των γεγονότων αυτών, με απώτερο σκοπό να γίνει ποσοτικοποίηση της έντασής τους. Ενώ, οι Gong et al., (Gong, Nyborg, Oommen, 1992) επισημαίνουν πως είναι δυνατή και η χρήση της σχέσης μεταξύ του συντελεστή έντασης τάσης  $\Delta K$  (stress intensity factor) με τον ρυθμό των φορών που το σήμα της ακουστικής εκπομπής υπερβαίνει το όριο. Αυτό στοχεύει στο να κατηγοριοποιηθεί η σχηματιζόμενη ρωγμή σε 5 διαφορετικές ζώνες. Η εξίσωση που συνδέει αυτά τα στοιχεία μεταξύ τους είναι παρακάτω:

$$N'' = A (\Delta K)^n$$

όπου  $A$ ,  $n$  σταθερές.

Η σχέση αυτή είναι ίδια με τον νόμο Paris που αναφέρεται στη διάδοση μιας ρωγμής:

$$da/dn = C (\Delta K)^n$$

όπου  $(da/dn)$  ο ρυθμός διάδοσης της ρωγμής,  $C$ : σταθερά και  $n$  ο αριθμός των κύκλων διάδοσης της ρωγμής.

Μια ακόμα αρκετά γνωστή και χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την ανάλυση των ακουστικών εκπομπών είναι η ανάλυση b-value. Προέρχεται από την επιστήμη και τον κλάδο της σεισμολογίας, και αφορά την σχέση ανάμεσα στα γεγονότα μεγάλου πλάτους (αλλά που εμφανίζονται με μικρή συχνότητα) με τα γεγονότα με μικρότερο πλάτος. Η σχέση αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$\log_{10}N = a - b * M_L$$

και είναι γνωστή ως σχέση Gutenberg-Richter (Carpinteri, Lacidogna, Niccolini, 2006: Colombo, Main, Forde, 2003), όπου  $M_L$ : το μέγεθος Richter των γεγονότων,  $N$  είναι ο αριθμός των γεγονότων πλάτους εντός του διαστήματος  $M_L \pm (\Delta M/2)$ , και  $a$ ,  $b$  οι εμπειρικές σταθερές.

Ο παραπάνω τύπος σε αντιστοίχιση με την μέθοδο των ακουστικών εκπομπών γράφεται και διαφορετικά ως εξής:

$$\log_{10}N = a - b' * A_{dB}$$

όπου  $A_{dB}$ : το μέγιστο πλάτος των ακουστικών εκπομπών (ΑΕ) γεγονότων, ενώ μπορεί να αποδοθεί και ως:

$$A_{dB} = 10\log_{10}A^2_{max} = 20\log_{10}A_{max}$$

Τέλος, ισχύει πως  $b\text{-value} = 20b'$ .

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, το b-value ισούται με την κλίση που έχει η καμπύλη του λογαρίθμου της συχνότητας των γεγονότων σε σχέση με το πλάτος των ακουστικών εκπομπών (Carpinteri, Lacidogna, Puzzi, 2009). Όταν η τιμή που μπορεί να πάρει το b-value κυμαίνεται από 1.5 έως 2.5 σημαίνει πως αυτόματα και τα γεγονότα της αποσύνθεσης του υλικού δεν είναι σημαντικά. Παράλληλα, τη στιγμή που οι τιμές συνεχώς μικραίνουν, πληθαίνουν οι μικρές ρωγμές που θα προκαλέσουν εν τέλει τη θραύση. Το γεγονός πως το εύρος των τιμών, αρχικά, είναι υψηλό συσχετίζεται με την αναλογικά μεγάλη σειρά γεγονότων με μικρό πλάτος που σημαίνουν τη δημιουργία καινούργιων ρωγμών και πιθανής επέκτασης προηγούμενων. Σε περιπτώσεις που οι τιμές της b-value είναι μικρού μεγέθους, τότε τα γεγονότα με μεγάλο πλάτος που συμβαίνουν, είναι σχετικά λίγα, και υποδηλώνουν την ανάπτυξη ρωγμών με αστάθεια (Rao and Lakshmi, 2005).

Η b-value δέχτηκε αρκετές αλλαγές, λαμβάνοντας διάφορες στατιστικές τιμές από την κατανομή του πλάτους των μετρήσεων του ήχου (μέσος όρος και τυπική απόκλιση). Η συγκεκριμένη τεχνική χαρακτηρίζεται ως βελτιωμένη b-value (improved b-value) (Shiotani et al., 2001) και δίνεται από τον τύπο:

$$lb = \frac{\log_{10} N(\omega_1) - \log_{10} N(\omega_2)}{(\alpha_1 + \alpha_2)\sigma}$$

$$\omega_1 = \mu - \alpha_1\sigma, \omega_2 = \mu - \alpha_2\sigma$$

στον οποίο όπου  $\mu$  εννοείται η μέση τιμή του πλάτους γεγονότων,  $\sigma$  ως η τυπική απόκλιση της κατανομής πλάτους και τέλος τα  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$  αποτελούν σταθερές.

Στο πέρασμα του χρόνου ο τρόπος με τον οποίο εξελίσσονται αυτές οι παράμετροι του HI και S κρίνεται σημαντικός. Με τον υπολογισμό του Ιστορικού Δείκτη δύναται να γίνουν αντιληπτές οι όποιες αλλαγές στην καμπύλη της συνολικής έντασης από το σήμα (cumulative signal strength) σε σχέση με τον χρόνο. Όταν στην καμπύλη εντοπίζεται το «γόνατο», είναι φανερό πως πρόκειται για ζημιές στο δοκίμιο.

Ύστερα από την καταγραφή -στο γράφημα- της πρώτης βλάβης των ακουστικών εκπομπών, η συνολική ένταση ξεκινά και ελαττώνεται μέχρι την στιγμή που θα καταγραφεί η επόμενη βλάβη. Ενώ, αν η καμπύλη που σχηματίζεται σταδιακά συνεχίζει και μειώνεται, είναι η στιγμή που θεωρούμε δεδομένη την επερχόμενη αστοχία.

Με στόχο την βέλτιστη και πλησιέστερη ανίχνευση των θέσεων των πηγών που προκαλούν τα ακουστικά γεγονότα, η τοποθέτηση περισσότερων αισθητήρων στην επιφάνεια του υπό μελέτη στοιχείου κρίνεται ως απαραίτητη. Το έτος 1993 ο γεωφυσικός επιστήμονας David Lockner ανέδειξε την ανάγκη για τον σχεδιασμό ενός συστήματος που θα μπορεί να καθορίζει έναν σταθερό ρυθμό που θα συμβαίνουν οι ακουστικές εκπομπές. Κι αυτό γιατί σε κατάσταση αστοχίας αυξάνεται αρκετά ο ρυθμός με τον οποίο παράγονται οι ακουστικές δραστηριότητες, κι επομένως είναι και δύσκολο να ανιχνευθούν ανεξάρτητα γεγονότα.

Στην περίπτωση των λίθων και τη μελέτη τους ως προς τις ακουστικές δραστηριότητες που μπορούν να παραχθούν, χρησιμοποιείται η κάμψη. Σε δοκιμές κάμψης που έγιναν περί το 1985, παρατηρήθηκε πως η ακουστική δραστηριότητα -στον λίθο που εξετα-

ζόταν κάθε φορά- ανιχνευόταν τη στιγμή που η καμπύλη δύναμης ήταν μη γραμμική. Μέσω των συγκεκριμένων μελετών προέκυψε πως ο τύπος του εκάστοτε λίθου δεν έπαιξε κανέναν ρόλο στη μορφή που έπαιρναν οι καμπύλες των ακουστικών εκπομπών. Αντίθετα, η σχέση εκείνη που τις επηρέαζε σημαντικά είχε να κάνει με την ταχύτητα με την οποία δημιουργούνταν η ρωγμή αλλά και την επέκτασή της ανά τον χρόνο. Οι δοκιμές αυτές αφορούσαν κάμψη σε τρία σημεία σε υλικά όπως ο γνευσίτης και ο γρανίτης.

Τα αποτελέσματα από τις καταγραφές των ακουστικών εκπομπών αξιολογούνται μέσω δύο προσεγγίσεων. Η μία είναι η προσέγγιση της συγκριτικής ανάλυσης και η άλλη είναι της ανάλυσης της έντασης. Στην πρώτη, οι μέγιστες καταγραφές στα σήματα που εκπέμπονται, συσχετίζονται χρονικά με την συνολική έντασή τους (cumulative signal strength). Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή σχετίζεται με το φαινόμενο Kaiser και τη μνήμη των υλικών που αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά και τον «Λόγο Ευστοχίας» όταν, πλέον, δεν είναι σε ισχύ το πρώτο.

### **3.3. Τεχνική Ηλεκτρικών Σημάτων Διεγερόμενων από Μηχανική Φόρτιση (PSC)**

Ήδη μέσα στην δεκαετία του 1990 καταγράφηκαν αρκετά παροδικά ηλεκτρικά φαινόμενα, για τα οποία έγιναν ενδελεχείς έρευνες. Αυτό ήταν και το σήμα εκκίνησης για την μελέτη υλικών ποικίλλων χαρακτηριστικών που υποβλήθηκαν σε καταπονήσεις, ώστε να γίνει μία πειραματική-εργαστηριακή εξέταση και να καταγραφούν σήματα διεγερόμενα από μηχανικές φορτίσεις – Pressure Stimulated Currents (PSC).

Η στέρεη κατάσταση ενός σώματος οφείλεται στην ύπαρξη πολλών ισχυρών δεσμών που συγκροτούν άτομα στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Οι δεσμοί αυτοί συνεπάγονται και την έλξη των ατόμων η οποία, εξαιτίας των ηλεκτρικών νεφών που παρεμβάλλονται, προκαλεί παράλληλα και απώθηση. Προκειμένου να εκφράσουμε τη συνθήκη αυτή ανάμεσα στα ζεύγη των ατόμων, θεωρούμε τη δυναμική τους ενέργεια  $V$  ως συνάρτηση της μεταξύ τους απόστασης  $r$ :

$$V = \frac{-A}{r^n} + \frac{B}{r^m}$$

Σύμφωνα με την σύμβαση που ακολουθείται, η ενέργεια  $V$  έχει αρνητικό πρόσημο προερχόμενη από δύναμη έλξης και αντίστοιχα το πρόσημό της είναι θετικό όταν προέρχεται από δύναμη απώθησης.

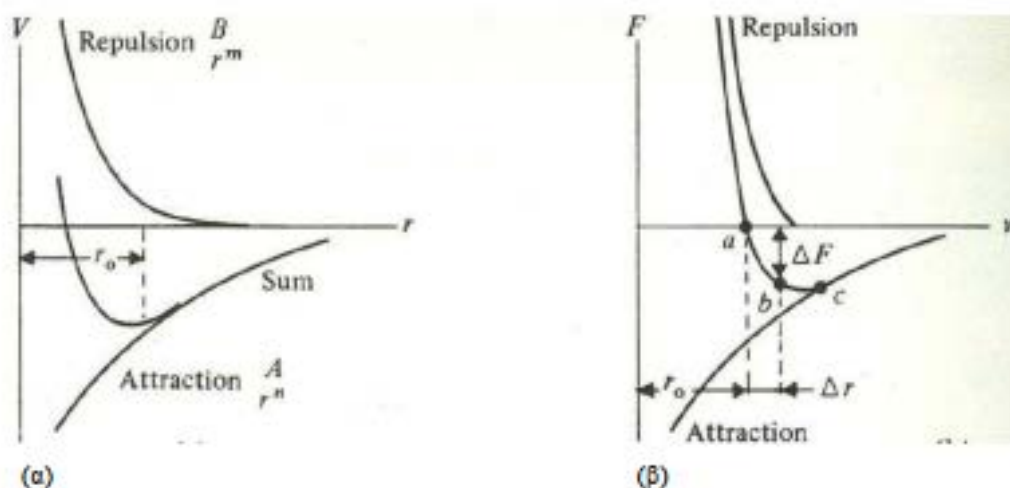
Στα στοιχεία που συνθέτουν την παραπάνω σχέση, οι αριθμητές  $A$  και  $B$  αποτελούν τις σταθερές και οι εκθέτες  $m$ ,  $n$  των αποστάσεων  $r$  είναι άγνωστοι αριθμοί. Παίρνοντας ως παράδειγμα την ηλεκτροστατική έλξη μεταξύ όχι όμοιων φορτίων, η μεταβλητή  $n$  ισούται με τον αριθμό 1. Με βάση τον ορισμό η δύναμη  $F$  μεταξύ των επιμέρους ατόμων δίνεται από την σχέση:

$$F = \frac{-\partial V}{\partial r} = \frac{-nA}{r^{n+1}} + \frac{mB}{r^{m+1}}$$

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω σχέση, στο ενδεχόμενο κατά το οποίο τα άτομα είναι σε κατάσταση ισορροπίας, η δύναμη  $F$  μηδενίζεται σε μία απόσταση  $r$  που χαρακτηρίζεται ως κρίσιμη.

$$0 = \frac{-nA}{r_0^{n+1}} + \frac{mB}{r_0^{m+1}}$$

Σε γραφήματα τυχαίων τιμών για τις μεταβλητές  $n$  και  $m$ , οι εξισώσεις απεικονίζονται ως εξής:



Εικ. 35. Οι καμπύλες Gordon-Morse. α) Η δυναμική ενέργεια  $V$ , και β) η δύναμη συναρτήσει της διατομικής απόστασης  $r$  (Anderson and Leaver, 1969).

Οι καμπύλες που σχηματίζονται και στα δύο γραφήματα ονομάζονται Gordon-Morse. Οι μορφές που λαμβάνουν οι συγκεκριμένες καμπύλες, αν και αφορούν συγκεκριμένο

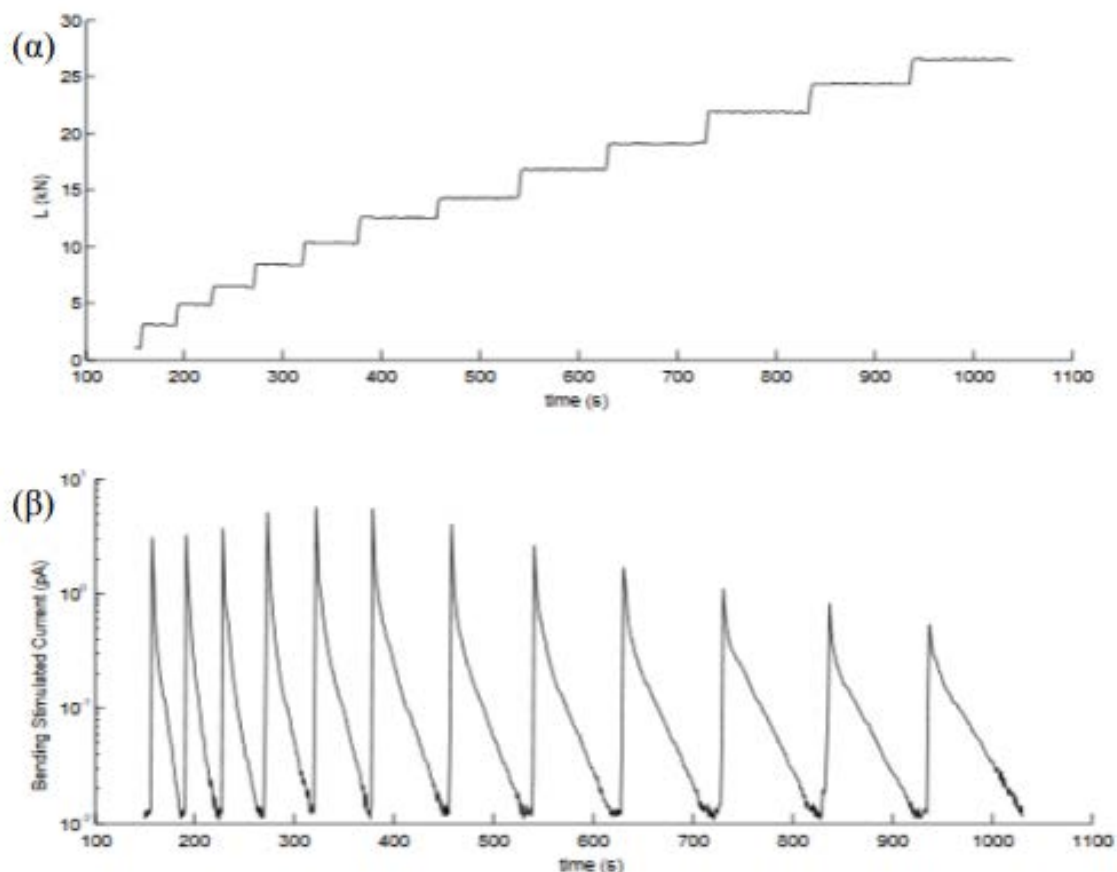
ζευγάρι ατόμων, προσομοιάζουν πιθανές άλλες εκδοχές και ζεύγη ατόμων κρυσταλλικού πλέγματος. Οι τιμές που παίρνουν τα  $n$  και  $m$  είναι άμεσα εξαρτώμενες από τον κρύσταλλο και τις ιδιότητές του.

### **Εφαρμογή της PSC τεχνικής**

Όταν εφαρμόζεται σε μη μεταλλικό υλικό κάποια μηχανική τάση, η ισορροπία των ατόμων του επηρεάζεται σε αρκετά μεγάλο βαθμό κι έτσι αυτή η διαταραχή που προκαλείται γίνεται εύκολα ανιχνεύσιμη μέσω της καταμέτρησης των ηλεκτρικών σημάτων. Στα υλικά των οποίων οι δείκτες ενυδάτωσης είναι χαμηλοί και οι πόροι τους είναι μικροί, όταν προκαλούνται ρωγμές διαταράσσεται παράλληλα και η σύστασή του. Ως αποτέλεσμα αυτού, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Ο όρος αυτός που προσδιορίζει τέτοιου είδους ηλεκτρικές εκπομπές είναι γνωστός ως “Pressure Stimulated Currents” (PSC). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία και τεχνική προτείνεται στην περίπτωση που το ηλεκτρικό ρεύμα είναι χαμηλής έντασης και το μέσο το οποίο χρησιμοποιείται γι’ αυτό είναι το ηλεκτρόμετρο που καταγράφει έως και ήπιας έντασης ρεύμα. Ενώ ο αισθητήρας που το αντιλαμβάνεται ενδέχεται να είναι μία ένωση ηλεκτροδίων. Όταν οι δοκιμές θλίβονται μονοαξονικά, τότε τα ηλεκτρόδια λαμβάνουν, αντίστοιχα, από μία θέση στις δύο απέναντι πλευρές του δοκιμίου. Τα ηλεκτρικά σήματα έχουν δοκιμαστεί σε πειράματα με μονοαξονική θλίψη, και κυρίως στο υλικό του μαρμάρου (Dakanali, 2017).

Ένα στοιχείο που διαχωρίζει την τεχνική του PSC και των σημάτων του, από τις υπόλοιπες, είναι το γεγονός πως την στιγμή που προκαλούνται μικρορωγμές (όταν δηλαδή η τάση που ασκείται υπερβαίνει αυτήν της διαρροής του υλικού), τότε γίνεται και ανάδειξή τους. Όταν, δε, η τάση γίνεται μέγιστη, ή αλλιώς όταν η τάση αυτή «κορυφώνεται», τότε υποθέτουμε πως και το υλικό έχει αστοχία. Σε καταστάσεις διαρκούς επαναφόρτισης, κατά την οποία και η τάση διατηρείται μέγιστη, παρατηρείται πως το ρεύμα που δημιουργείται συνεχώς μειώνεται. Αντίθετα, όταν η τάση αυτή αυξάνεται ανά κάθε περίοδο επαναφόρτισης, χρειάζεται μία επαλήθευση για να επιβεβαιωθεί πως το PSC έχει μεγαλύτερη τιμή τάσης από αυτήν που είχε στην τελευταία επαναφόρτιση. Το σήμα εμφανίζεται μόνο σε αυτήν την περίπτωση. Παρόμοια λογική είναι του φαινομένου Kaiser, το οποίο δεν αναπαράγει τις ακουστικές εκπομπές που σημειώνουν μικρότερες τάσεις ανά κύκλο φόρτισης. Κι έτσι μπορεί να θεωρηθεί κι αυτό ως κατάλληλο εργαλείο για την επαλήθευση PSC εκπομπών (Dakanali, 2017).

Η συγκεκριμένη τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και σε μελέτη δοκιμών από μάρμαρο, τα οποία και δέχτηκαν πιέσεις καμπτικές τριών σημείων έως ότου προκληθεί μερική θραύση στην σύστασή τους. Κατά την φόρτιση που δέχονταν τα δοκίμια μαρμάρου, το φορτίο αυξανόταν σταδιακά ανά βήμα, διατηρώντας όμως σταθερή την τιμή του σε καθένα από αυτά (εικ. 36).

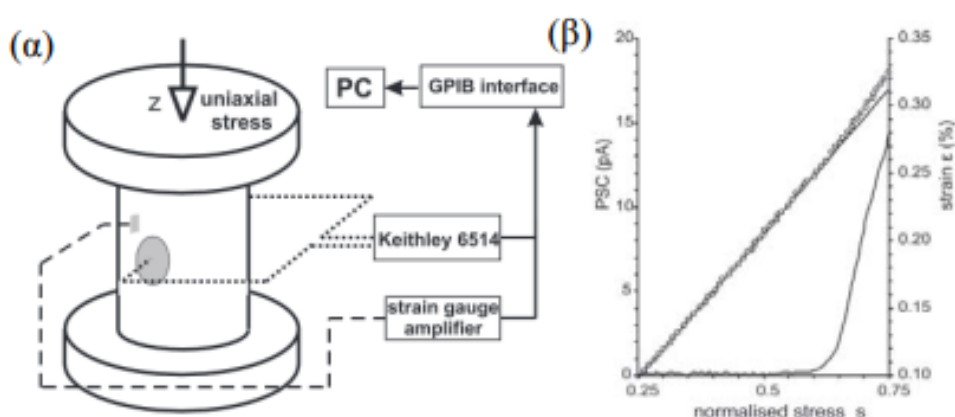


Εικ. 36. α) επιβολή φορτίου υπό μορφή διαδοχικών βημάτων αυξανόμενου φορτίου σε δοκιμές κάμψης 3 σημείων σε μάρμαρο, β) η χρονική μεταβολή των σημάτων PSC (Kyriazis et al., 2009)

Αυτό που παρατηρείται, ακόμα, είναι πως κατά την καταγραφή PSC σημάτων διαπιστώνεται μία μικρή αύξηση στην αρχή κάθε βήματος που σημαίνει πως η τιμή του φορτίου μεγαλώνει, ενώ όταν το φορτίο διατηρεί σταθερή την τιμή του σε κάθε βήμα σημαίνει πως το εκάστοτε PSC σήμα μικραίνει (εικ. 36β). Σε πειραματικές τέτοιες δοκιμές, τα ηλεκτρικά ρεύματα εντοπίζονται με την χρήση ζευγών ηλεκτροδίων. Το ένα εφαρμόζεται στην ζώνη του υπό μελέτη δοκιμίου που εφελκύεται, και το δεύτερο σε αυτήν που θλίβεται.

Πλέον, υπάρχουν και περιπτώσεις δοκιμών στις οποίες γίνεται συνδυασμός και των τριών τεχνικών που προαναφέρθηκαν, και εφαρμόζεται σε όλα τα υλικά κατασκευής (μεταλλικά, λίθοι, σκυρόδεμα). Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί αυτό των Byakov et al., οι οποίοι στην προσπάθειά τους να εξετάσουν κάποια δοκίμια από κράμα AA2024, εφάρμοσαν τόσο την τεχνική της συσχέτισης ψηφιακής εικόνας όσο και την τεχνική ακουστικής εκπομπής. Αυτό που κατέληξαν, είναι η ιδιαιτερότητα καθενός από αυτά τα δύο ως προς τον τρόπο που ανίχνευαν τις τυχόν παραμορφώσεις. Από την μία, η τεχνική της ακουστικής εκπομπής ήταν ιδανική για τον εντοπισμό παραμόρφωσης από το μικρο- στο μεσο- επίπεδο, ενώ αντίστοιχα η τεχνική της συσχέτισης ψηφιακής εικόνας για παραμορφώσεις από το μεσο- στο μακρο- επίπεδο.

Άλλο παράδειγμα συνδυασμού τεχνικών, που περιλαμβάνει αυτή της ακουστικής εκπομπής κι εκείνη των ηλεκτρικών σημάτων, εφαρμόστηκε και σε μάρμαρο Διονύσου υπό την επίδραση μονοαξονικής θλίψης (εικ.37).



Εικ. 37. α) πειραματική διάταξη δοκιμής μονοαξονικής θλίψης σε μάρμαρο Διονύσου με ταυτόχρονη καταγραφή σημάτων PSC, β) διάγραμμα μεταβολής σημάτων PSC και παραμόρφωσης ως προς την μεταβολή της τάσης. (Stavrakas et al., 2004)

Όπως φαίνεται και στο γράφημα της εικόνας, τα σήματα PSC παραμορφώνονται συναρτήσει της μεταβολής της τάσης. Το συμπέρασμα ύστερα από την συνδυαστική εφαρμογή των δύο τεχνικών, έδειξε πως η συσχέτισή τους ήταν αποδοτική. Η κατάγραφή των μέγιστων τιμών κατά τη μεταβολή του ρεύματος συνέβαινε τη στιγμή που και το πλάτος και ο ρυθμός με τον οποίο παράγονταν οι ακουστικές εκπομπές είχαν επίσης μεγάλες τιμές.



## 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Αυθεντικά υλικά & Υλικά αποκατάστασης

## 4.1. Αυθεντικά υλικά δόμησης του Παρθενώνα

### 4.1.1. Μάρμαρο Πεντέλης

Το Πεντελικό μάρμαρο, το οποίο προέρχεται από ιζημάτα ανθρακικού ασβεστίου τα οποία έχουν υποστεί μεταμόρφωση, έχει τις εξής φυσικές ιδιότητες (Κορρές & Μπούρας, 1983, Σκουλικίδης, 2000):

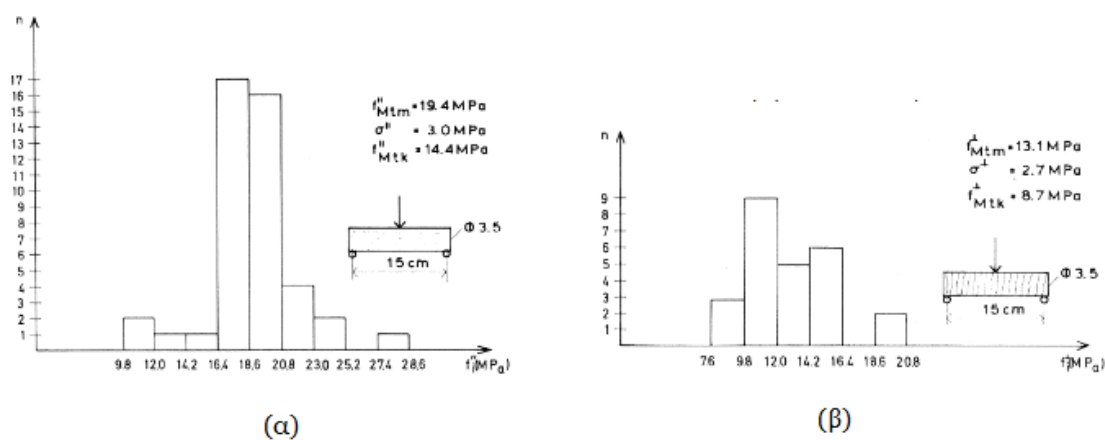
- Ειδικό βάρος:  $2.72 \text{ g/cm}^3$ .
- Συντελεστή θερμικής διαστολής:  $11 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{K}$ .
- Πορώδες: από 0.3% (παρθενική κατάσταση) ως 2.1% (επίδραση διαφόρων φυσικών ή και τεχνητών διαβρωτικών παραγόντων).
- Χρώμα: Λευκό και εντοπίζονται χρωματικές αλλοιώσεις με την πάροδο του χρόνου, όταν εκτεθεί στην ατμόσφαιρα, λόγω των προσμίξεων υδροξειδίων και οξειδίων του σιδήρου που περιέχει.
- Κρυσταλλική δομή: Επάλληλες στρώσεις κρυστάλλων που είναι εν γένει πτυχωμένες αλλά κατά την εγκάρσια διεύθυνση είναι σχεδόν ευθυτενείς.

Αναφορικά με τις μηχανικές ιδιότητες του μαρμάρου Πεντέλης και κυρίως με τη σκληρότητά του, εντοπίζονται διαφοροποιήσεις στις 3 διευθύνσεις του (Κορρές & Μπούρας, 1983). Λιγότερο σκληρές είναι οι επιφάνειες που είναι παράλληλες στις στρώσεις. Περισσότερο σκληρές είναι οι επιφάνειες που είναι παράλληλες στις πτυχώσεις και εγκάρσιες στις στρώσεις. Πολύ περισσότερο σκληρές είναι οι επιφάνειες που είναι κάθετες στις πτυχώσεις και εγκάρσιες στις στρώσεις.

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του Πεντελικού μαρμάρου έχουν υλοποιηθεί οι παρακάτω πειραματικές δοκιμές (Πάσιου, 2014):

Ο Καθηγητής Π.Σ. Θεοχάρης, το 1976, στο Εργαστήριο Αντοχής Υλικών του ΕΜΠ, πραγματοποίησε: α) δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης σε 3 πρισματικά δοκίμια διαστάσεων  $7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$ , από άμορφο αρχαίο θραύσμα, προσδιορίζοντας την μέση θλιπτική αντοχή του Πεντελικού μαρμάρου ίση με  $77.8 \text{ MPa}$  και β) δοκιμές κάμψης 3 σημείων σε 3 πρισματικά δοκίμια διαστάσεων  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$ , που έδωσαν μέση τιμή εφελκυστικής αντοχής του μαρμάρου ίση με  $18.4 \text{ MPa}$ .

Ο Κ. Ζάμπας, το 1983, πραγματοποίησε δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης σε 43 πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 5 cm x 5 cm x 15 cm, από τις οποίες προέκυψε μέση τιμή θλιπτικής αντοχής ίση με 58.5 MPa. Η διαφορά της τιμής στην θλιπτική του Κ. Ζάμπα, από αυτήν του Π.Σ. Θεοχάρη, ενδεχομένως να οφείλεται στο διαφορετικό μέγεθος των δοκιμίων που εξετάστηκαν και στην ανομοιογένεια και ανισοτροπία του Πεντελικού μαρμάρου. Αργότερα, το 1989, ο Κ. Ζάμπας, στα Εργαστήρια του Έργου Αποκατάστασης του Παρθενώνα, πραγματοποίησε δοκιμές κάμψης 3 σημείων σε 68 κυλινδρικά δοκίμια (διάμετρος 3.5 cm και ύψος 15 cm), προσδιορίζοντας τη μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής ίση με  $19.4 \pm 3$  MPa, στην περίπτωση που οι στρώσεις του μαρμάρου είναι κάθετες στη φόρτιση και ίση με  $13.1 \pm 2.7$  MPa, στην περίπτωση που οι στρώσεις του μαρμάρου είναι παράλληλες στη φόρτιση. Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι στις δοκιμές κάμψης 3 σημείων, προκύπτουν μεγαλύτερες τιμές εφελκυστικής αντοχής, συγκριτικά με τις δοκιμές άμεσου εφελκυσμού (Βαρδουλάκης κ.ά., 2001). Στην εικόνα 38 παρουσιάζονται οι τιμές της εφελκυστικής αντοχής των πειραματικών δοκιμών κάμψης 3 σημείων του Κ. Ζαμπά, με τη μορφή ιστογραμμάτων.



Εικ. 38. Ιστόγραμμα εφελκυστικής αντοχής δοκιμίων με κρυσταλλικό ιστό: α) κατά μήκος του δοκιμίου και β) εγκάρσιο στο μήκος τους (Πηγή: Ζάμπας, 1994).

Ο Θ. Τάσιος, το 1984, πραγματοποίησε δοκιμές θλίψης σε κυλινδρικά δοκίμια με διάμετρο 10 cm και ύψος 10 cm, τα οποία έδωσαν μέση τιμή συντελεστή Poisson για το Πεντελικό μάρμαρο  $\nu=0.35$ .

Τέλος, δοκιμές κάμψης 3 σημείων που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ, σε 3 πρισματικές δοκούς μεγάλου μεγέθους (19 cm x 16.5 cm x 80 cm), έδωσαν μέση τιμή μέτρου ελαστικότητας  $E=23$  GPa.

#### 4.1.2. Αρχαίος δομικός σίδηρος

Από μεταλλουργική άποψη, ο αρχαίος δομικός σίδηρος, δεν είναι ομογενές και ισότροπο υλικό (Varoufakis, 1992). Στις συνδέσεις, οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν στρώματα μαλακού σιδήρου και σκληρού χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εφελκυσμού σε 7 δοκίμια που απεκόπησαν από 2 συνδέσμους του Παρθενώνα (για τη σύνδεση του γείσου της ΒΑ γωνίας του Παρθενώνα με το γειτονικό του της ανατολικής πλευράς). Η επιλογή των διαστάσεων των δοκιμών έγινε με γνώμονα την προσέγγιση των διαστάσεων των βραχέων δοκιμών, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E8-69. Οι προαναφερθείσες δοκιμές εφελκυσμού πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια μηχανής MTS327.12 στα εργαστήρια του ΚΕΤΑ (Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογίας της Αεροπορίας), ενώ η καταγραφή της σχέσης φορτίου - ανηγμένης μήκυνσης ήταν αυτόματη, μέσω της χρήσης καταγραφικού MTS-431 (Zambas, 1992). Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, από τα οποία προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική διακύμανση των τιμών της τάσης διαρροής, της μέγιστης τάσης θραύσης και της ανηγμένης μήκυνσης θραύσης, διακύμανση που αποδίδεται στα πιθανά εγκλείσματα σκουριάς (Varoufakis, 1992).

	min	Max	mean
Τάση διαρροής (MPa)	218	356	265
Μέγιστη τάση θραύσης (MPa)	335	538	428
Ανηγμένη μήκυνση θραύσης (%)	3.5	22.5	

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εφελκυστικών δοκιμών στα δοκίμια σιδήρου του Παρθενώνα (Πηγή: Zambas, 1992).

Επιπλέον κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκε μια σταδιακή αστοχία των χαλύβδινων στρώσεων, που είχε ως αποτέλεσμα να ανακατανεμηθεί το εφελκυστικό φορτίο στο σύνολο της διατομής. Τέλος, προέκυψε ότι η φέρουσα ικανότητα και η

παραμορφωσιμότητα των βραχέων δοκιμίων ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν το δοκιμίων του αρχαίου δομικού σιδήρου. Η εφελκυστική συμπεριφορά του αρχαίου δομικού σιδήρου καθορίζεται από τη φέρουσα ικανότητα και την παραμορφωσιμότητα των στρωμάτων σιδήρου και χάλυβα, οι οποίες επηρεάζονται από τους εξής παράγοντες (Ζάμπας, 1994):

- Την αναλογία των στρωμάτων σιδήρου και χάλυβα.
- Τον τρόπο συγκόλλησης των αναδιπλούμενων στρώσεων και τη μέθοδο κατασκευής τους.
- Την παρουσία εγκλεισμάτων σκουριάς και τη δημιουργία ατελειών κατά την παραγωγή του σιδήρου.
- Την κατάσταση διατήρησης του συνδέσμου.

#### **4.1.3. Μόλυβδος**

Οι λόγοι για τους οποίους οι αρχαίοι Έλληνες, χύτευαν μόλυβδο γύρω από τα συνδετήρια στοιχεία, εφόσον είχε υποστεί ειδική επεξεργασία (μολυβδοχόηση), είναι οι εξής (Γαννιάρη-Παπαγεωργίου, 2010):

- Έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη φυσική και την μερικώς μηχανική σύνδεση, ανάμεσα στο συνδετήριο στοιχείο και στο μάρμαρο, σύνδεση που θα ήταν αδύνατη εν ξηρώ, λόγω της ανελαστικότητας του μαρμάρου.
- Ως μαλακότερο και περισσότερο παραμορφώσιμο υλικό, έχει τη δυνατότητα αποτελεσματικής απορρόφησης μέρους των κραδασμών, αλλά και της παραμορφωσιακής ενέργειας που αναπτύσσεται πάνω στις συνδέσεις, λόγω σεισμών.
- Προστατεύει τον σίδηρο από την οξείδωση, απομονώνοντας τον από το περιβάλλον. Στην περίπτωση που υπάρχει διάβρωση και ο χάλυβας διογκωθεί, ο μόλυβδος εξουδετερώνει τις μηχανικές τάσεις λόγω αυτής της διογκωσης, παρεμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη δημιουργία ρηγμάτων στο περιβάλλον του μαρμάρου.
- Αξίζει βέβαια να αναφερθεί ότι η απορρόφηση ενέργειας από το μόλυβδο, προϋποθέτει τη δυνατότητα παραμόρφωσής του. Όμως, ο μόλυβδος δεν παραμορφώνεται επειδή δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος καθώς εγκιβωτίζεται

πολύ καλά στις εντορμίες και επιπλέον η παρουσία υπερκειμένων μελών δεν επιτρέπουν τη διόγκωσή του (Πάσιου, 2014). Επομένως, ο μόλυβδος βρίσκεται σε τριαξονικό περιορισμό παραμορφώσεων και όχι μόνο δεν απορροφά την ενέργεια, αλλά αντιθέτως μεταφέρει στο ακέραιο την πίεση που ασκεί το συνδετήριο στοιχεία στα τοιχώματα της εντορμίας (Τουμπακάρη, 2006). Βέβαια, αν κατά την εφαρμογή του μολύβδου δημιουργηθούν μικρά κενά, τότε υπάρχει μία περιορισμένη δυνατότητα παραμόρφωσης (Τουμπακάρη, 2006).

Ο ευεργετικός ρόλος του μολύβδου ως προς τη διάβρωση έγκειται στη δημιουργία οξειδίων  $PbO$ ,  $Pb_3O_4$ ,  $Pb_2O_3$  και  $PbO_2$ , που τον παθητικοποιούν. Εντούτοις, η όξινη βροχή εξουδετερώνει τα προαναφερθέντα οξείδια, με αποτέλεσμα να προωθείται η διάβρωσή του, σχηματίζοντας το διαλυτό  $Pb(NO_3)_2$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάβρωση να προχωράει και στον χάλυβα (Κορρές & Μπούρας, 1983). Για τον ανωτέρω λόγο, δεν χρησιμοποιείται στα έργα αποκατάστασης της Ακρόπολης, το σύστημα μόλυβδος - χάλυβας (Kourkoulis et al., 2006).

#### 4.2. Μάρμαρο Διονύσου

Τα περισσότερα μνημεία της Ακρόπολης οικοδομήθηκαν από Πεντελικό μάρμαρο. Δεδομένου ότι τα λατομεία της Πεντέλης είναι εκτός λειτουργίας, για τις αναστηλωτικές εργασίες χρησιμοποιείται σήμερα σαν υποκατάστατο ή σαν υλικό συμπλήρωσης το μάρμαρο Διονύσου, επειδή παρουσιάζει παρόμοιες ιδιότητες με το Πεντελικό αρχαίο μάρμαρο. Το μάρμαρο Διονύσου έχει τις εξής φυσικές ιδιότητες (Tassogiannopoulos, 1986, Γαννιάρη-Παπαγεωργίου, 2010, Πάσιου, 2014):

- Σύσταση: 98% ασβεστίτης, 0.5% μοσχοβίτης, 0.3% σερισίτης, 0.2% χαλαζίας και 0.1% χλωρίτης.
- Πυκνότητα:  $2.73 \text{ g/cm}^3$ .
- Φαινόμενη πυκνότητα:  $2717 \text{ kg/m}^3$ .
- Συντελεστής απορρόφησης κατά βάρος:  $\sim 0.11$
- Συντελεστής θερμικής διαστολής:  $\sim 9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  μεταξύ  $15^\circ\text{C}$  και  $100^\circ\text{C}$ .
- Πορώδες: από 0.3% (παρθενική κατάσταση) ως 0.7% (επίδραση διαφόρων φυσικών ή και τεχνητών διαβρωτικών παραγόντων).
- Μέγεθος κόκκων:  $0.43 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

- Σχήμα / διαστάσεις κρυστάλλων: πολυγωνικό σχήμα με ομοιόμορφες διαστάσεις που κυμαίνονται από 900 x 650 μm έως 950 x 874 μm.
- Χρώμα: Λευκό και παρουσιάζονται τοπικά περιοχές χρώματος ασημί λόγω της παρουσίας μοσχοβίτη και χλωρίτη καθώς και στακτόχρωμες φλέβες κατά τη διεύθυνση της σχιστότητας.



(α)



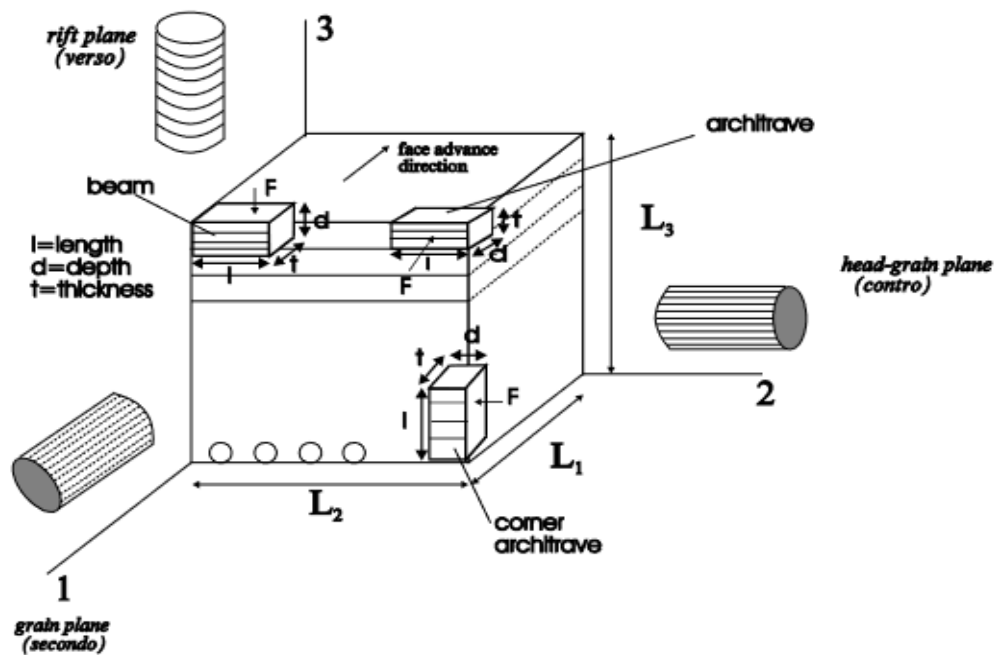
(β)

Εικ. 39. α) Μάρμαρο Διονύσου, β) Μάρμαρο Διονύσου που χρησιμοποιήθηκε στην αναστήλωση του Παρθενώνα. Πηγή: [www.dionyssomarble.gr](http://www.dionyssomarble.gr)

Αναφορικά με τις μηχανικές ιδιότητες του μαρμάρου Διονύσου παρατηρείται μεγάλη διασπορά στις τιμές της εφελκυστικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές της εφελκυστικής αντοχής κυμαίνονται από 2.4 MPa ως 19.4 MPa, ενώ οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας από 23 GPa ως 90 GPa. Αυτή η διασπορά οφείλεται, όχι μόνο στις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες υπό τις οποίες εκτελούνται οι μετρήσεις, αλλά και στο γεγονός ότι το μάρμαρο Διονύσου είναι ανισότροπο υλικό (Vardoulakis & Kourkoulis, 1997). Η ανισοτροπία που χαρακτηρίζει τη μηχανική συμπεριφορά του μαρμάρου Διονύσου παρουσιάζεται στην εικ. 40, από την οποία παρατηρείται ότι υπάρχουν 3 διευθύνσεις ανισοτροπίας: 1 κάθετη στις στρώσεις (rift plane ή verso ή Pplane) και 2 εντός του επιπέδου των στρώσεων (grain plane ή secondo ή M-plane & head-grain plane ή contro ή κ-plane) (Βαρδουλάκης κ.ά., 2001).

Στον Πίνακα 2 τα πειραματικά αποτελέσματα για τις μηχανικές ιδιότητες (μέτρο ελαστικότητας E, λόγος Poisson ν και εφελκυστικής αντοχής σ<sub>f</sub>) του μαρμάρου Διονύσου, των Vardoulakis & Kourkoulis (1997), από τις μετρήσεις αμέσου εφελκυσμού και

μονοαξονικής θλίψης που υπέβαλαν σε κυλινδρικά δοκίμια. Παρατηρώντας αυτά τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι εντοπίζονται παραπλήσιες μηχανικές ιδιότητες στις 2 διευθύνσεις εντός του επιπέδου (grain - ισχυρή διεύθυνση & head grain - ενδιάμεση διεύθυνση). Η προαναφερθείσα παρατήρηση επιβεβαιώνει την πλέον ευρέως αποδεκτή άποψη ότι το μάρμαρο Διονύσου είναι ισότροπο εγκάρσια, με τη διεύθυνση που είναι κάθετη στις στρώσεις (rift plane), να αποτελεί τον άξονα ελαστικής συμμετρίας Vardoulakis & Kourkoulis, 1997).



Εικ. 40. Η ανισοτροπία του μαρμάρου Διονύσου. Πηγή: Βαρδουλάκης κ.ά., 2001

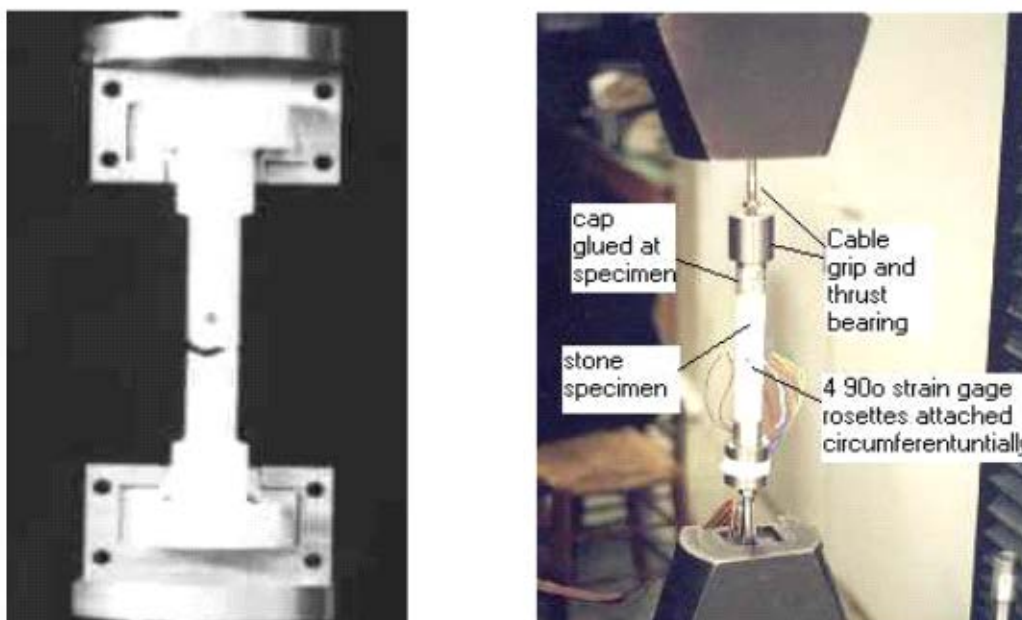
	E [GPa]	$\nu$	$\sigma_f$ [MPa]
Ισχυρή διεύθυνση (1)	84.5	0.26	10.8
Ενδιάμεση διεύθυνση (2)	79.5	0.26	9.5
Ασθενής διεύθυνση (3)	50.0	0.11	5.3

Πίνακας 2. Μηχανικές ιδιότητες του μαρμάρου Διονύσου (Πηγή: Vardoulakis & Kourkoulis, 1997, Vardoulakis et al., 2002).



## Δοκιμές άμεσου εφελκυσμού

Οι Vardoulakis & Kourkoulis (1997) υπέβαλαν σε δοκιμές άμεσου εφελκυσμού κυλινδρικά δοκίμια από μάρμαρο Διονύσου, χρησιμοποιώντας τις 2 πειραματικές συσκευές που παρουσιάζονται στην εικ. 41. Στην πρώτη πειραματική συσκευή χρησιμοποιήθηκαν τυποποιημένα δοκίμια μορφής “dogbone”, προκειμένου να μπορούν να συγκρατηθούν από τις αρπάγες (εικ. 41α). Η μεταφορά του φορτίου γίνεται μέσω των αρπαγών διαμητικά (δεν λαμβάνει χώρα σύνθλιψη). Οι δοκιμές σε αυτήν την πειραματική διάταξη παρουσιάζουν υψηλό βαθμό δυσκολίας, αφενός διότι απαιτείται να λάβουν τα δοκίμια την κατάλληλη μορφή μέσω ειδικής κατεργασίας, αφετέρου διότι η δυσκολία απόλυτης ευθυγράμμισης του άξονα φόρτισης, δημιουργεί παρασιτικές καμπτικές τάσεις που επηρεάζουν τα πειραματικά αποτελέσματα. Για την εξάλειψη των προαναφερθέντων τάσεων, πραγματοποιήθηκε τροποποίηση της πειραματικής διάταξης (εικ. 41), όπου το φορτίο ασκήθηκε μέσω «εύκαμπτων» αρπαγών (συρματόσχοινων ειδικού τύπου), σε ειδικό κέλυφος, στο οποίο κοχλιώνεται ειδική μεταλλική κεφαλή, εσωτερικής διαμέτρου όσο αυτής του δοκιμίου. Η συγκράτηση του δοκιμίου στην ειδική μεταλλική κεφαλή γίνεται με ειδική κυανοακρυλική συγκολλητική ουσία.

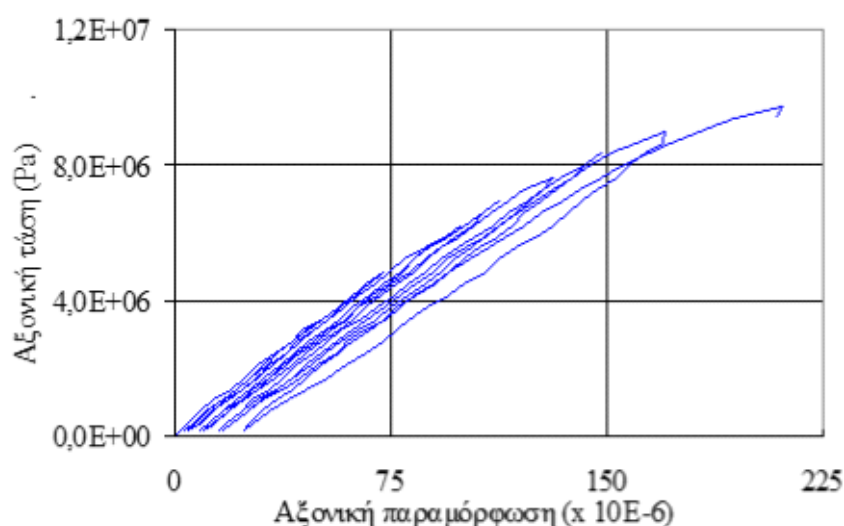


Εικ. 41. Δοκιμές άμεσου εφελκυσμού με α) τυποποιημένα δοκίμια και β) κυλινδρικά δοκίμια  
Πηγή: Vardoulakis & Kourkoulis, 1997

Στα σημαντικότερα αποτελέσματα αυτής της μελέτης των Vardoulakis & Kourkoulis (1997) περιλαμβάνονται τα εξής:

Κατά τους 8 κύκλους φόρτισης - αποφόρτισης, το μάρμαρο Διονύσου, εμφανίζει μη γραμμική συμπεριφορά, ακόμα και στα αρχικά στάδια της φόρτισης (εικ. 42). Το ίδιο ισχύει και για το λόγο της εγκάρσιας συστολής σε συνάρτηση με τη διαμήκη επιμήκυνση (λόγος Poisson).

Επιπλέον παρατηρείται ότι οι σημαντικές παραμένουσες παραμορφώσεις που εμφανίζονται στο μάρμαρο Διονύσου, στο 4<sup>ο</sup> κύκλο φόρτισης - αποφόρτισης πλησιάζουν το  $10 \times 10^{-6}$  ενώ στον 8<sup>ο</sup> το  $25 \times 10^{-6}$ . Συνεπώς το μάρμαρο Διονύσου προσεγγίζει φαινομενικά όλκιμη συμπεριφορά (αντίστοιχη του αλουμινίου).

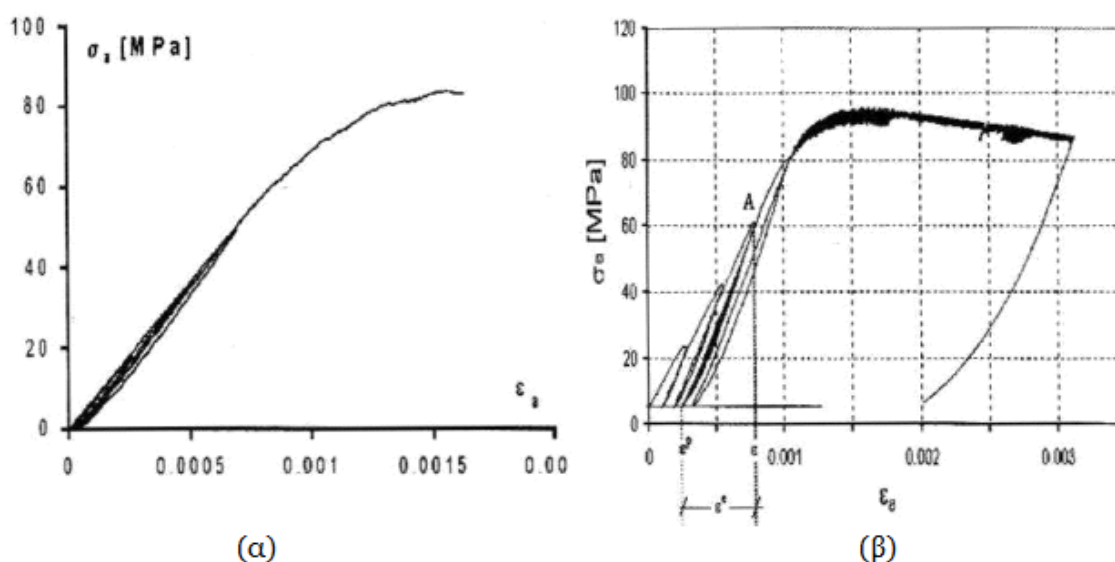


Εικ. 42. Διάγραμμα αξονικών τάσεων-παραμορφώσεων σε άμεσο μονοαξονικό εφελκυσμό με κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης. Πηγή: Vardoulakis & Kourkoulis, 1997, Vardoulakis et al., 2002.

### Δοκιμές μονοαξονικής και τριαξονικής θλίψης

Οι Βαρδουλάκης κ.ά. (2001) υλοποίησαν δοκιμές τόσο υπό μονοαξονική θλίψη όσο και υπό θλίψη με παράπλευρη πίεση, σε δοκίμια από μάρμαρο Διονύσου, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στην εικ. 43. Παρατηρώντας τις καμπύλες της μονοαξονικής θλίψης (εικ. 43α) εντοπίζεται σημαντικά μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην εφελκυστική και στη θλιπτική αντοχή του μαρμάρου Διονύσου (θλιπτική αντοχή/

εφελκυστική αντοχή = 10). Η μη γραμμική συμπεριφορά του μαρμάρου Διονύσου που εντοπίστηκε στις δοκιμές εφελκυσμού παρουσιάζεται και στις δοκιμές θλίψης. Εντούτοις, αυτή η μη γραμμική συμπεριφορά παρουσιάστηκε σε μεγαλύτερες τιμές παραμόρφωσης της θλίψης από τις αντίστοιχες του εφελκυσμού. Επίσης εμφανίζονται σημαντικές παραμένουσες παραμορφώσεις και στις δοκιμές θλίψης, στην περίπτωση της αποφόρτισης. Στις δοκιμές παράπλευρης πίεσης (εικ. 43), παρατηρήθηκε αύξηση της ολκιμότητας του μαρμάρου Διονύσου και παράλληλα εντοπίστηκε ότι στον κλάδο της αποφόρτισης το μέτρο ελαστικότητας είναι 40% μικρότερο σε σχέση με το αρχικό, γεγονός που δείχνει την παρουσία μηχανικής φθοράς.

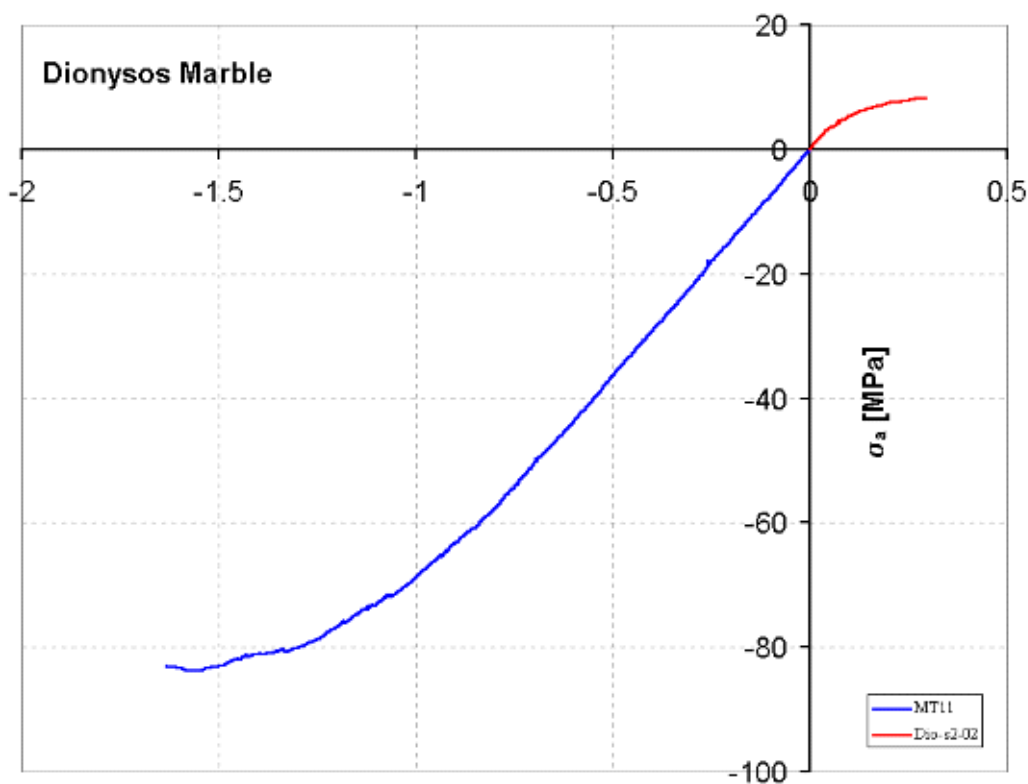


Εικ. 43. Το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων υπό α) μονοαξονική και β) τριαξονική θλίψη  
 Πηγή: Βαρδουλάκης κ.ά, 2001.

Στην εικ. 44 παρουσιάζεται το πλήρες διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων του μαρμάρου Διονύσου από τους Βαρδουλάκης κ.ά. (2001), όπως προέκυψε από δοκίμια που κόπηκαν και δέχθηκαν φόρτιση στην ισχυρή διεύθυνση της ανισοτροπίας (grain plane), δηλαδή παράλληλα στις στρώσεις του υλικού. Μελετώντας την εικ. 44 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις τιμές των τάσεων και των παραμορφώσεων.

- Στην περιοχή του εφελκυσμού το μάρμαρο Διονύσου, εμφανίζει από την αρχή μη γραμμική συμπεριφορά, ενώ στην αντίστοιχη περιοχή της θλίψης εμφανίζει απολύτως γραμμική συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ιδιαίτερα στις σύνθετες καταπονήσεις, όπου συνυπάρχουν εφελκυσμός και θλίψη.
- Το μάρμαρο Διονύσου παρουσιάζει μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη συγκριτικά με το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό (ο λόγος είναι περίπου 1.15), γεγονός που το κατατάσσει στα ελαφρώς «διπλομετρικά» (bimodular) υλικά.



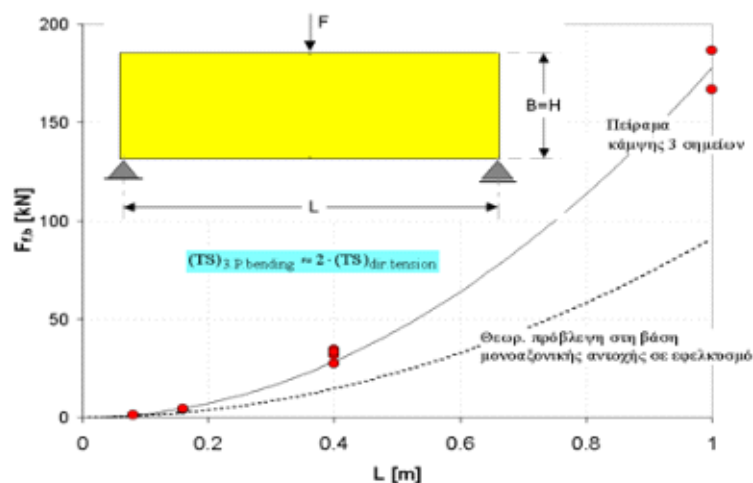
Εικ. 44. Το πλήρες διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων. Πηγή: Βαρδουλάκης κ.ά., 2001

### Δοκιμές κάμψης 3 σημείων

Τέλος πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κάμψης 3 σημείων (Exadaktylos et al., 2001, Kourkoulis et al., 1999, Vardoulakis et al., 1998) σε δοκίμια μαρμάρου Διονύσου, τετραγωνικής διατομής, με μήκη 8, 15, 40 και 100 cm και με λόγο μήκους δοκιμίου / ύψος διατομής ίσο με 4. Τα αποτελέσματα δοκιμών κάμψης 3 σημείων σε δοκίμια μαρμά-

ρου Διονύσου παρουσιάζονται στην εικ. 45. Τα δοκίμια δέχθηκαν φόρτιση με διεύθυνση κάθετη στις στρώσεις του υλικού (rift plane). Για την μέτρηση των παραμορφώσεων χρησιμοποιήθηκε σύστημα ηλεκτρομηκυσιομέτρων, που τοποθετήθηκαν με γραμμικό τρόπο στις διάφορες διατομές και στα διάφορα ύψη των δοκιμίων, προκειμένου να μπορεί να μελετηθεί η επίδραση του φαινομένου Poisson στη διατομή επιβολής του συγκεντρωμένου φορτίου. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις προαναφερθείσες δοκιμές είναι:

- Εντοπίζεται υστέρηση κατά περίπου 50% του φορτίου αστοχίας από την αναγωγή των δεδομένων εφελκυσμού σε κάμψη, σε σχέση με το φορτίο αστοχίας υπό κάμψη.
- Το συγκεντρωμένο φορτίο επιδρά στην κατανομή των παραμορφώσεων. Η κεντρική διατομή του δοκιμίου βρίσκεται συνέχεια σε κατάσταση εφελκυσμού, σε όλο το ύψος της (Kourkoulis et al., 1999, Vardoulakis et al., 1998).
- Παρουσιάζεται στο φορτίο αστοχίας του υλικού, εντονότατο φαινόμενο κλίμακος (Βαρδουλάκης κ.ά., 2001).



Εικ. 45. Αποτελέσματα δοκιμών κάμψης 3 σημείων σε δοκίμια μαρμάρου Διονύσου.  
Πηγή: Βαρδουλάκης κ.ά., 2001

### 4.3. Κονιάματα

Στα έργα αναστήλωσης και αποκατάστασης αρχαίων μνημείων, τα υλικά που χρησιμοποιούνται όπως τα κονιάματα, θα πρέπει να παρουσιάζουν όμοια μικροδομή με την αρχαία πέτρα και αυτό γιατί η μικροδομή επιδρά στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Πιο συγκεκριμένα, το κονίαμα που χρησιμοποιείται στην αναστήλωση και αποκατάσταση των αρχαίων μνημείων θα πρέπει να έχει (Aggelakoroulou, 2013):

- Υψηλό ποσοστό πορώδους (~30%) και μέση ακτίνα πόρου μεγαλύτερη των 0.2 μm, προκειμένου να εξασφαλιστεί, αφενός η εξάτμιση του νερού με γρήγορο ρυθμό, αφετέρου η απορρόφηση του νερού και της υγρασίας που προέρχονται, είτε από το φθαρμένο μάρμαρο, είτε από τις ενώσεις.
- Υψηλή μηχανική αντοχή προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνοχή, η επαρκής σύνδεση και η διάρκεια ζωής της επέμβασης. Εντούτοις η μηχανική αντοχή του κονιάματος θα πρέπει να είναι μικρότερη από εκείνη του μαρμάρου προκειμένου να υποστεί φθορά το υλικό αποκατάστασης και όχι το αυθεντικό μάρμαρο, σε περίπτωση αστοχίας.
- Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας προκειμένου να επιτευχθεί αφενός επαρκής συμβατότητα με το αρχαίο μάρμαρο, αφετέρου υψηλή ικανότητα απορρόφησης των δονήσεων και των μικρών μετακινήσεων.

Στα έργα αναστήλωσης και αποκατάστασης των μνημείων της Ακρόπολης των Αθηνών, το κονίαμα που χρησιμοποιείται - ύστερα από υπόδειξη του καθηγητή Θ. Ν. Σκουλικίδη - είναι το ειδικής κατασκευής λευκό τσιμέντο, προκειμένου να υπάρχει μικρό ποσοστό θεικών. Η προαναφερθείσα υπόδειξη βασίστηκε στα εξής δεδομένα (Σκουλικίδη, 2000):

- Από την εξέταση του γκρίζου τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε από το Ν. Μπαλάνο για την αναστήλωση του Ερεχθείου προέκυψαν απολύτως ανεκτά όρια ως προς τη μηχανική του αντοχή, την ανθράκωση και τη θείωσή του, μολονότι η ποιότητά του την εποχή εκείνη ήταν κατώτερη της σημερινής.

- Από την εξέταση των επιφανειών του μαρμάρου που ήταν σε επαφή με το τσιμέντο (ηλικίας περίπου 80 ετών), δεν εντοπίστηκαν μηχανικές ή χημικές φθορές.
- Από την εξέταση των επιφανειών του πεντελικού μαρμάρου που ήταν σε επαφή με το τσιμέντο δεν εντοπίστηκαν οι αναμενόμενες επιπτώσεις των αλάτων του τσιμέντου, που εμφανίζονται στα πετρώματα με μεγάλο πορώδες και διαμπερείς πόρους. Αυτό το αποτέλεσμα στηρίζεται στο γεγονός ότι το πεντελικό μάρμαρο έχει εξαιρετικά μικρό πορώδες, που κυμαίνεται από 0.3 ως 2.1 (η υψηλότερη τιμή αναφέρεται σε ιδιαίτερα διαβρωμένο υλικό), συγκριτικά με τα περισσότερα γνωστά πετρώματα.

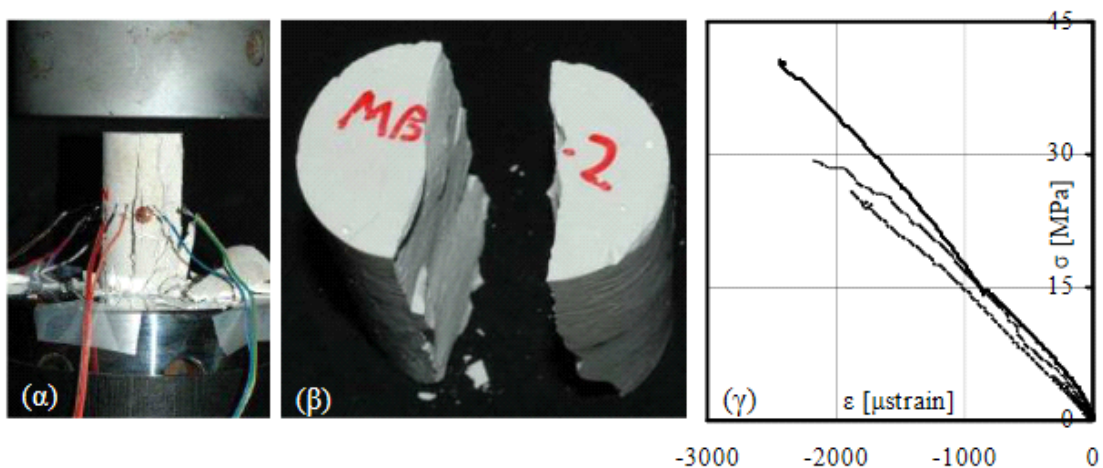
Η σύσταση του κονιάματος που χρησιμοποιείται στα έργα αποκατάστασης εξαρτάται από το λόγο για τον οποίο χρησιμοποιείται. Υπάρχουν δύο ειδών κονιάματα:

- Κονίαμα αποκατάστασης θραυσμένων δομικών μελών με τη βοήθεια ράβδων οπλισμού (τύπος I).
- Κονίαμα συνδεσης δομικών μελών με τη χρήση συνδετηρίων στοιχείων (τύπος II).

#### **Τύπος I: Κονίαμα αποκατάστασης θραυσμένων δομικών μελών με τη βοήθεια ράβδων οπλισμού**

Αυτός ο τύπος κονιάματος αποτελείται από λευκό τσιμέντο και νερό. Οι Marinelli et al., (2009), προκειμένου να προσδιορίσουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του κονιάματος, εξέτασαν κυλινδρικά δοκίμια με λόγο διαμέτρου προς ύψος 1/2 περίπου, μέσω πειραμάτων μονοαξονικής θλίψης (εικ. 46). Για την μέτρηση των παραμορφώσεων χρησιμοποιήθηκε σύμπλεγμα ηλεκτρομηκυνσιομέτρων, που τοποθετήθηκαν σε 3 διαφορετικά σημεία της περιφέρειας του κάθε δοκιμίου. Η μορφή αστοχίας που εντοπίστηκε ήταν ψαθυρή, με σημαντική ή πλήρη καταστροφή των δοκιμίων, στο μέγιστο φορτίο (Marinelli et al., 2009). Στην εικ. 46 παρουσιάζονται οι καμπύλες των αξονικών τάσεων - παραμορφώσεων. Τα πειράματα των Marinelli et al., (2009) έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

- Μέτρο ελαστικότητας:  $E \sim 15.5 \text{ GPa}$ .
- Λόγος Poisson:  $\nu \sim 0.26$ .
- Τάση διαρροής:  $\sigma_y \sim 10 \text{ MPa}$ .
- Τάση θραύσης:  $\sigma_u \sim 35 \text{ MPa}$ .
- Επιπλέον οι Marinelli et al., (2009) εξέτασαν παρόμοια κυλινδρικά δοκίμια σε πειράματα αντιδιαμετρικής θλίψης (Brazilian test) (εικ. 46), από τα οποία προέκυψε ότι η εφελκυστική αντοχή είναι περίπου ίση με  $2 \text{ MPa}$ .



Εικ. 46. Μηχανική συμπεριφορά του κονιάματος τύπου Ι. α) Δοκίμιο υπό θλίψη, β) Δοκίμιο υπό αντιδιαμετρική θλίψη (Brazilian test), γ) Καμπύλη τάσεων - παραμορφώσεων υπό μονοαξονική θλίψη.  
Πηγή: Marinelli et al., 2009.

## Τύπος ΙΙ: Κονιάμα σύνδεσης δομικών μελών με τη χρήση συνδετηρίων στοιχείων

Αυτός ο τύπος κονιάματος αποτελείται από λευκό τσιμέντο, χαλαζιακή άμμο και νερό (τσιμέντο/άμμος = 1/3 κατά βάρος) και χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει τον αρχαίο μόλυβδο στις κατεστραμμένες συνδέσεις. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου κονιάματος προσδιορίστηκαν με πειράματα που πραγματοποίησε η Πάσιου (2014) για τη διδακτορική της διατριβή.

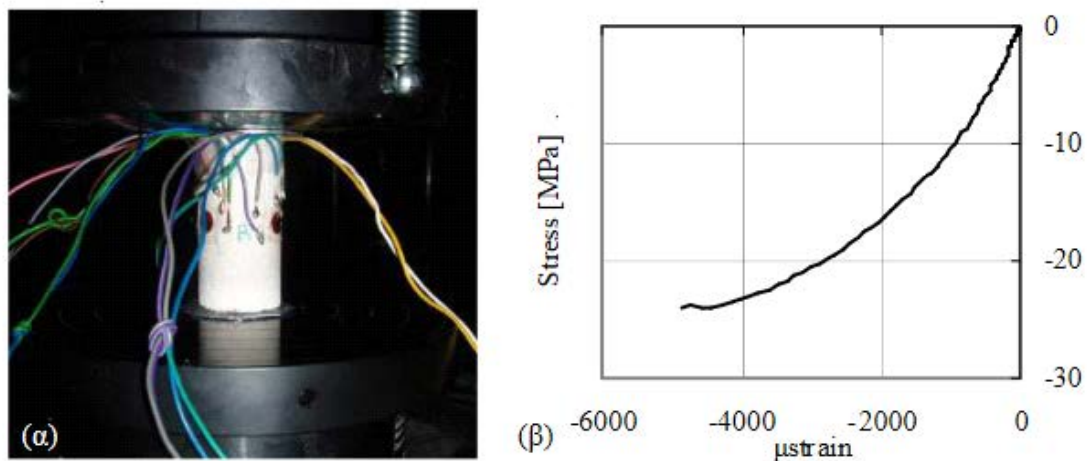




Εικ. 47. α) Τυπική μήτρα χύτευσης του κονιάματος, β) Κονίαμα μέσα στη μήτρα, γ) Συντήρηση δοκιμίων σε νερό. (Πηγή: Πάσιου, 2014).

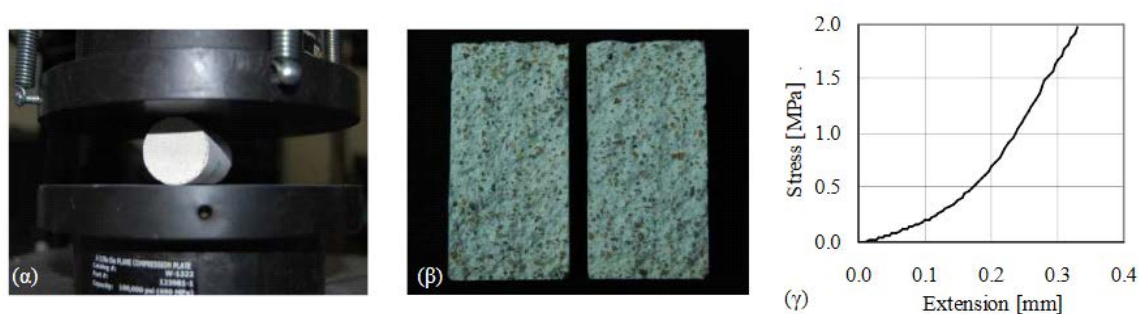
Αρχικά, τα δοκίμια, που κατασκευάστηκαν από τεχνίτες του εργοταξίου του Παρθενώνα, τοποθετήθηκαν σε κατάλληλες μήτρες (εικ. 47), προκειμένου να αποκτήσουν κυλινδρική μορφή, με λόγο διαμέτρου προς ύψος  $\frac{1}{2}$ . Ακολούθησε η συντήρησή τους σε νερό για 28 ημέρες (εικ. 47), σύμφωνα με τον Κανονισμό των τσιμέντων. Τα κυλινδρικά αυτά δοκίμια υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης στο πλαίσιο φόρτισης INSTRON 300 kN του Εργαστηρίου Αντοχής των Υλικών του ΕΜΠ. Για την μέτρηση των παραμορφώσεων χρησιμοποιήθηκε σύμπλεγμα ηλεκτρομηκυσιομέτρων, που τοποθετήθηκαν σε 3 διαφορετικά σημεία της περιφέρειας του κάθε δοκιμίου (εικ. 48), ανά  $120^\circ$  και τα οποία συνδέθηκαν με κατάλληλη συσκευή για την καταγραφή των δεδομένων του πειράματος. Ο έλεγχος της μετατόπισης των δοκιμών που υλοποιήθηκαν, έγινε με ρυθμό μεταβολής  $0.01 \text{ mm/sec}$ , προκειμένου να γίνει προσομοίωση των συνθηκών «οιονεί» στατικές (quasi-static). Στην εικ. 48 παρουσιάζεται η καμπύλη τάσεων - παραμορφώσεων για το συγκεκριμένο τύπο κονιάματος. Τα πειράματα της Πάσιου (2014) έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

- Μέτρο ελαστικότητας:  $E \sim 10.5 \text{ GPa}$ .
- Τάση διαρροής σε θλίψη:  $\sigma_{y,c} \sim 17 \text{ MPa}$
- Τάση θραύσης σε θλίψη:  $\sigma_{u,c} \sim 24 \text{ MPa}$ .
- Λόγος Poisson:  $\nu \sim 0.18$ .



Εικ. 48. α) Τυπικό δοκίμιο κονιάματος στο πλαίσιο φόρτισης πριν την έναρξη του πειράματος μονοαξονικής θλίψης, β) Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης - παραμόρφωσης. Πηγή: Πάσιου (2014).

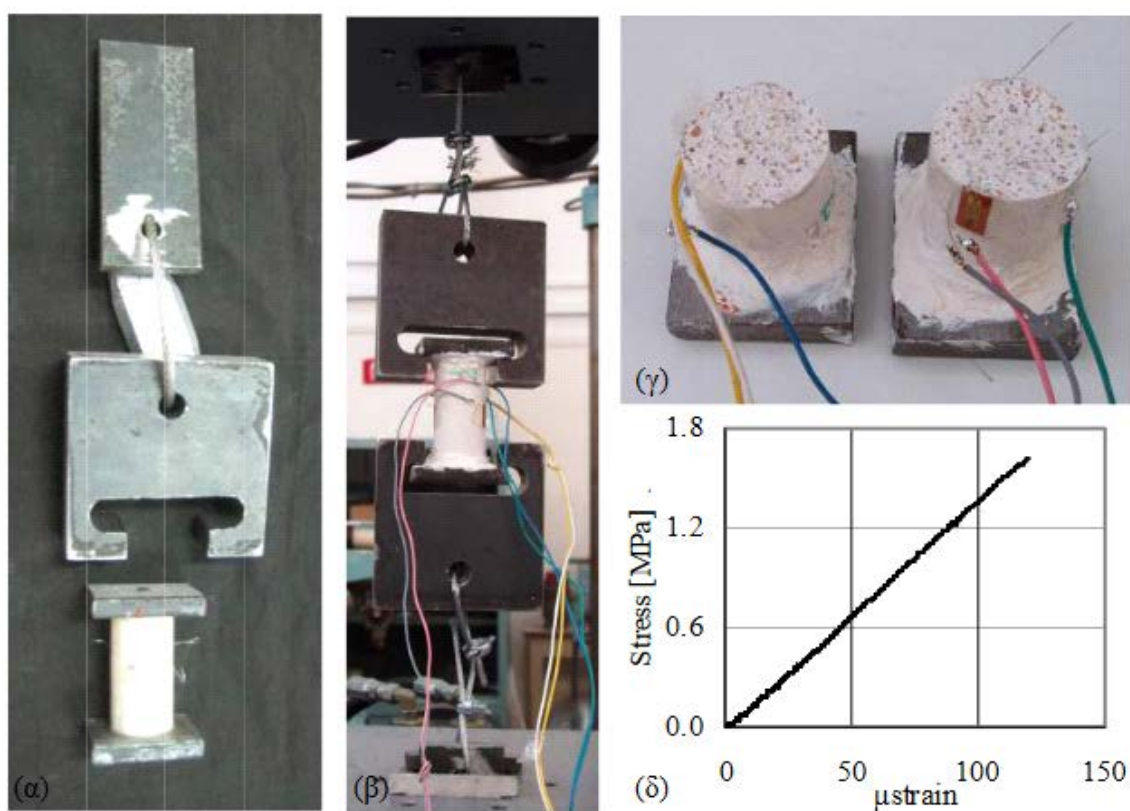
Δεδομένου ότι τα ψαθυρά υλικά, όπως τα κονιάματα, δεν παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά σε εφελκυσμό και θλίψη, η Πάσιου (2014), υλοποίησε μετρήσεις δοκιμών αντιδιαμετρικής θλίψης (Brazilian test) (εικ. 49), στο πλαίσιο φόρτισης INSTRON 300 kN και με ρυθμό μεταβολής 0.005 mm/sec. Από τις προαναφερθείσες μετρήσεις προέκυψε ότι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής ήταν ίση περίπου με 2.14 MPa.



Εικ. 49. α) Τυπικό δοκίμιο κονιάματος στο πλαίσιο φόρτισης πριν την έναρξη του πειράματος αντιδιαμετρικής θλίψης, β) Τυπική μορφή θραύσης, γ) Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης στο κέντρο του δοκίμιου - επιβαλλόμενης μετατόπισης. Πηγή: Πάσιου (2014)

Επιπλέον η Πάσιου (2014), στη διδακτορική της διατριβή, υλοποίησε συμπληρωματικές δοκιμές άμεσου εφελκυσμού, με στόχο τον προσδιορισμό της εφελκυστικής συμπεριφοράς του κονιάματος. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση των προαναφερθέντων δοκιμών παρουσιάζεται στην εικ. 50. Στις βάσεις

του δοκιμίου κολλήθηκαν δύο μεταλλικές πλάκες, οι οποίες τοποθετούνται σε δύο αρπάγες, ειδικά διαμορφωμένες (εικ. 50). Συρματόσχοινα συνδέουν αυτές τις αρπάγες με δύο άλλες μεταλλικές πλάκες, οι οποίες είναι τοποθετημένες στις αρπάγες του πλαισίου φόρτισης (εικ. 50). Μέσα από την εν λόγω πειραματική διάταξη - η οποία έχει πολλούς βαθμούς ελευθερίας - είναι δυνατή η ευθυγράμμιση του δοκιμίου καθώς και η αποφυγή των παρασιτικών φορτίσεων. Από τη χαρακτηριστική καμπύλη τάσης - παραμόρφωσης προκύπτει ότι η σχέση τους είναι γραμμική, μέχρι το μέγιστο φορτίο αστοχίας που είναι περίπου 1.70 MPa (εικ. 50).



Εικ. 50. α) Η “μισή” πειραματική διάταξη για την υλοποίηση των δοκιμών αμέσου εφελκυσμού, β) Η πειραματική διάταξη, με ένα τυπικό δοκίμιο κονιάματος, τοποθετημένη στο πλαίσιο φόρτισης, γ) Τυπική μορφή θραυσμένου δοκιμίου, δ) Τυπική καμπύλη τάσης - παραμόρφωση.  
Πηγή: Πάσιου, (2014).

#### 4.4. Τιτάνιο

Στα έργα αποκατάστασης μνημείων (αντικαταστάσεις των μεταλλικών σκελετών και συνδέσμων μορφής «I» και γόμφων), τα υλικά επιλέγονται με κριτήριο την αναστρεψιμότητα. Με τον όρο αναστρεψιμότητα νοείται η δυνατότητα επαναφοράς του έργου στην αρχική του κατάσταση πριν την επέμβαση, σε περίπτωση αστοχίας του υλικού αντικατάστασης. Στα κριτήρια επιλογής των μετάλλων ή των κραμάτων, που θα χρησιμοποιηθούν για την αντικατάσταση των μεταλλικών σκελετών και των συνδέσμων καθώς και για τη συγκόλληση των δομικών μελών που έχουν υποστεί θραύση, εμπίπτουν (Πάσιου, 2014):

- Η αντοχή στη διάβρωση, για την οποία λαμβάνεται υπόψη η ατμοσφαιρική ρύπανση και η ρύπανση του εδάφους καθώς και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας, από τις οποίες εξαρτάται η τριχοειδής αναρρίχηση (ο ρυθμός ρόφησης υγρασίας μέσω των τριχοειδών πόρων του κάθε υλικού).
- Η μηχανική αντοχή, με στόχο την αποφυγή μεγάλων διατομών συνδέσμων ή μεγάλων διαμέτρων οπλισμών, που έχουν ως αποτέλεσμα τον τραυματισμό του αυθεντικού πετρώματος.
- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής, ο οποίος πρέπει να είναι παρόμοιος με εκείνον του πετρώματος.

Ένα μεταλλικό υλικό που καλύπτει τα προαναφερθέντα κριτήρια για τη χρήση του στην κατασκευή συνδέσμων για την αποκατάσταση μνημείων είναι το **τιτάνιο (Ti)**. Μάλιστα, ο Θ. Ν. Σκουλικίδης το 1971 είχε προτείνει τη χρήση του τιτανίου, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε από το 1979 τόσο στην Ακρόπολη, όσο και σε άλλα μνημεία της Ελλάδας και του εξωτερικού (Σκουλικίδης, 2000). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του τιτανίου.

Πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]	4.51
Μέτρο ελαστικότητας [GPa]	105
Συντελεστής Poisson	0.32
Συντελεστής θερμικής διαστολής [ $10^{-6}$ grad <sup>-1</sup> ]	9
Θερμοαγωγιμότητα [cal/cm·grad·sec]	0.007
Σκληρότητα [HB]	130
Εφελκυστική αντοχή [MPa]	420
Όριο διαρροής [MPa]	300
Επιμήκυνση θραύσης [%]	20-22

Πίνακας 3. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τιτανίου. Πηγή: Ζάμπας (1994)

Οι λόγοι που καθιστούν το Ti το ιδανικότερο μεταλλικό υλικό κατασκευής συνδέσμων για την αποκατάσταση μνημείων εντοπίζονται στα χαρακτηριστικά και στις ιδιότητές του και είναι οι εξής (Πάσιου, 2014):

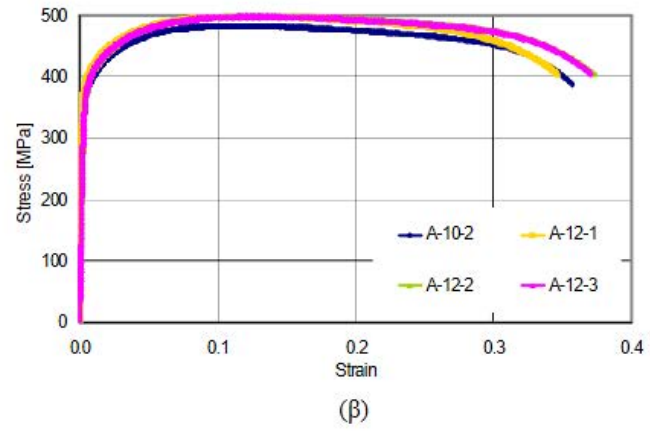
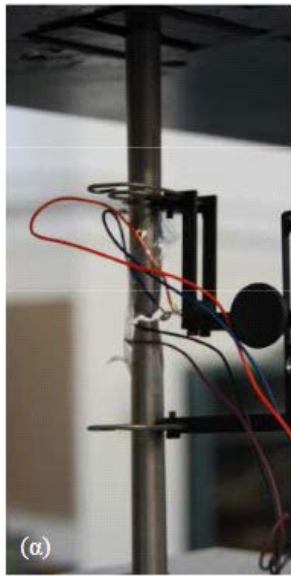
- Έχει πολύ μεγάλη αντοχή σε όλα τα είδη της διάβρωσης (Penelis, 1996). Αυτή του η ιδιότητα στηρίζεται στον άμεσο σχηματισμό  $TiO-TiO_2-Ti_2O_3$  όταν έρθει σε επαφή με τον αέρα. Σε ένα έντονα διαβρωτικό περιβάλλον, το πάχος του  $TiO_2$  αυξάνεται μέχρι ένα κρίσιμο σημείο, με αποτέλεσμα να σταματάει η οξειδωση (Σκουλικίδης, 2000).
- Έχει συντελεστή Poisson (0,32) σχεδόν ίσο με αυτό του μαρμάρου (0,33). Στη περίπτωση διαφορικής εγκάρσιας συστολής των δύο υλικών δεν υπάρχει κίνδυνος διάρρηξης.
- Έχει συντελεστή θερμικής διαστολής ( $\epsilon_M = 9 \times 10^{-6}$  grad<sup>-1</sup>) πολύ κοντά σε αυτόν του μαρμάρου ( $\epsilon_M = 8 \times 10^{-6}$  grad<sup>-1</sup>). Στην περίπτωση διαφορικής διαστολής των δύο υλικών δεν υπάρχει κίνδυνος διάρρηξης.
- Έχει σχετικά μικρό βάρος και παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε σχέση με το βάρος του (διπλάσια του χάλυβα St 42).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του καθαρού τιτανίου που είναι διαθέσιμο στο εμπόριο (Grade 2 κατά ASTM B265 και B348) είναι συμβατές με αυτές του μαρμάρου και για αυτό χρησιμοποιείται στα έργα αποκατάστασης και αναστήλωσης της Ακρόπολης των Αθηνών (Ζάμπας, 1994). Επιπλέον το εμπορικώς διαθέσιμο τιτάνιο παρουσιάζει ικανοποιητική πλαστιμότητα (ικανότητα να υποβληθεί σε σημαντική πλαστική παραμόρφωση), επομένως είναι κατάλληλο υλικό για τη διαμόρφωση συνδέσεων με σημαντική ικανότητα στην παραμόρφωση θραύσης (Ζάμπας, 1994).

Η Πάσιου (2014), στη διδακτορική της διατριβή, υλοποίησε συμπληρωματικές πειραματικές μετρήσεις μονοαξονικού εφελκυσμού σε ράβδους τιτανίου (πλαίσιο φόρτισης INSTRON 300 kN). Οι μετρήσεις για την παραμόρφωση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκαν τόσο με παραδοσιακό μηκυνσιόμετρο (εικ. 51), όσο και με ηλεκτρομηκυνσιόμετρο. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του τιτανίου που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4, ενώ οι χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης παρουσιάζονται στην εικ. 51.

Μέτρο ελαστικότητας [GPa]	100-108
Συντελεστής Poisson	0.34
Όριο διαρροής [MPa]	270-415
Εφελκυστική αντοχή [MPa]	430-492
Επιμήκυνση θραύσης [%]	25-37

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά τιτανίου σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Πηγή: Πάσιου (2014)



Εικ. 51. α) Τυπικό δοκίμιο τιτανίου στο πλαίσιο φόρτισης, β) Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης. Πηγή: Πάσιου (2014)

## 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

Αποκατάσταση μονολιθικότητας  
δομικών μελών αρχαίων μνημείων  
κατασκευασμένων από φυσικούς δομικούς λίθους  
με χρήση ράβδων τιτανίου



### 5.1. Μέθοδος σχεδιασμού αποκατάστασης επιστυλίων

Η δομική ακεραιότητα της κατασκευής ενός αρχαίου μνημείου συνδέεται άμεσα με τη διαδικασία αποκατάστασης της μονολιθικότητας θραυσμένων ή και κατακερματισμένων δομικών μελών του. Στην Ελλάδα, έχει αναπτυχθεί από τη δεκαετία του '70 από τους επιστήμονες της Υπηρεσίας Συντήρησης Μνημείων της Ακροπόλεως (ΥΣΜΑ), μια θεωρητική μέθοδος σχεδιασμού για την αναγκαία και επιτακτική ανωτέρω διαδικασία, που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για την περίπτωση αποκατάστασης πολυρηγματωμένων επιστυλίων των μνημείων της ελληνικής πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην προσομοίωση των επιστυλίων, ως καμπτόμενες δοκούς, που αποτελούνται από μάρμαρο, ράβδους τιτανίου και κονιάματα. Βασικός στόχος της μεθόδου είναι να δεχτούν οι οπλισμοί στην κάθετη διεύθυνση των θραυσμένων επιφανειών, τα εφελκυστικά φορτία. Κύριο μέλημα κατά το σχεδιασμό είναι η αστοχία του οπλισμού κατά τη συγκόλληση και σε καμία περίπτωση του μαρμάρου. Σε περίπτωση υπερδιαστασιολόγησης του οπλισμού υπάρχει κίνδυνος ρηγμάτωσης του μαρμάρου εκτός συγκολλησεως ή σύνθλιψης του στη θλιβόμενη παρειά ή απόσχισης του γύρω από τον οπλισμό (Τουμπακάρη, 2008). Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη παραδοχές τόσο για τις μηχανικές ιδιότητες και τη συμβατότητα αυτών των υλικών, όσο για τις συνθήκες στήριξης του φορέα, τις φορτίσεις και τη δυνατότητα παραλαβής εφελκυστικών τάσεων.

Οι βασικές αρχές οι οποίες ακολουθούνται κατά το σχεδιασμό της αποκατάστασης της μονολιθικότητας των επιστυλίων είναι οι εξής (Ζάμπας, 1984 Kourkoulis, Ganniari-Parageorgiou & Mentzini, 2006, Μαρινέλλη, 2010):

- Στο μάρμαρο και στο τιτάνιο, δεν πρέπει να εφαρμόζονται τάσεις που ξεπερνούν το όριο γραμμικής ελαστικότητας τους.
- Το μάρμαρο, ως εγκαρσίως ισότροπο υλικό, διατηρεί σταθερό μέτρο ελαστικότητας, με την προϋπόθεση ότι η δράση των καμπτικών φορτίων είναι κάθετη στις στρώσεις του υλικού.
- Οι διατομές θα πρέπει να παραμένουν επίπεδες και κάθετες στον διαμήκη ουδέτερο άξονα της δοκού και ως εκ τούτου το μήκος του επιστυλίου θα

πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερο συγκριτικά με τις άλλες δύο διαστάσεις του (Αρχή Euler - Bernoulli).

- Οι ανηγμένες παραμορφώσεις του μαρμάρου και του τιτανίου θα πρέπει να είναι συμβατές ούτως ώστε να μην εμφανίζεται ολίσθηση και εξόλκευση του οπλισμού από το μάρμαρο.
- Η εφελκυστική αντοχή του κονιάματος θεωρείται αμελητέα.

Κατά το σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη τα εξής φορτία: α) τα κατακόρυφα λόγω ίδιου βάρους, β) το βάρος των υπερκείμενων στοιχείων και γ) τα πιθανά σεισμικά φορτία (μέσω μιας προσαύξησης των αντίστοιχων στατικών φορτίων με κατάλληλους συντελεστές ασφαλείας).

Το επιστύλιο θα λάβει ροπή, η οποία θα αναλυθεί σε 2 δυνάμεις: την εφελκυστική που θα αναλάβουν οι ράβδοι οπλισμού και τη θλιπτική που θα παραλάβει το μάρμαρο. Γενικά τα ποσοστά οπλισμού κυμαίνονται μεταξύ 1-2% της διατομής του μαρμάρου.

Προκειμένου να αποφευχθεί η διάρρηξη του μαρμάρου, θα πρέπει η διάμετρος του διατρήματος να είναι μικρότερη ή ίση του  $\frac{1}{4}$  της απόστασης των οπλισμών από τις ακραίες επιφάνειες των τμημάτων μαρμάρου που συνδέουν.

Η επιλογή του βάθους αγκύρωσης θα πρέπει να βασίζεται στη συνάφεια των κοχλιοτομημένων ράβδων τιτανίου.

Στις συνδέσεις των μελών ασκούνται είτε εφελκυστικά είτε διατμητικά φορτία. Τα συνδετήρια στοιχεία καλούνται: α) «γόμφοι» όταν συνδέουν μάρμαρα διαδοχικών στρώσεων και παραλαμβάνουν διατμητικά κυρίως φορτία και β) «σύνδεσμοι» όταν παραλαμβάνουν κυρίως εφελκυστικά φορτία επειδή βρίσκονται στην ίδια στρώση του μαρμάρινου όγκου.

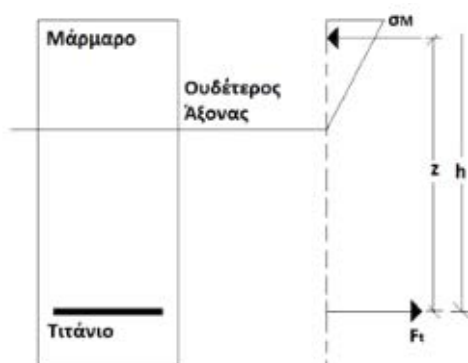
## **5.2. Θεωρητική μέθοδος υπολογισμού οπλισμών σύνδεσης θραυσμένων επιστυλίων**

Η διατύπωση προτάσεων σχετικά με τα μέτρα αποκατάστασης μελών αρχαίων μνημείων, τα οποία μέτρα θα πρέπει να ικανοποιούν ένα σύνολο διεπιστημονικών αντικρουόμενων απόψεων (αρχαιολόγοι, αρχιτέκτονες, πολιτικοί μηχανικοί, χημικοί κ.ά.), προϋποθέτει τη διάγνωση της παθολογίας. Για κάθε δομικό μέλος, η λύση

επέμβασης ή και αποκατάστασης είναι μοναδική και εξαρτάται τόσο από την παθολογία του, όσο και από τις απαιτήσεις φορτίων που καλείται να παραλάβει. Η συμπεριφορά του μέλους στο οποίο έχει γίνει παρέμβαση ή αποκατάσταση, ελέγχεται ποιοτικά και ποσοτικά, με μετρητικά συστήματα καταγραφής παραμορφώσεων, ρωγμών κα. Τόσο ο σχεδιασμός των επεμβάσεων, όσο και τα υλικά αποκατάστασης που χρησιμοποιούνται, μπορεί να τροποποιηθούν στο πέρασμα του χρόνου, αν κριθεί αναγκαίο και απαραίτητο από τους ελέγχους που λαμβάνουν χώρα (Kourkoulis, Ganniari-Parageorgiou, & Mentzini, 2010). Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί, ότι οι αποκτηθείσες εμπειρίες των επιστημόνων στο εργοτάξιο, είναι ικανές να αλλάξουν, ολόκληρη τη φιλοσοφία των επεμβάσεων (Kourkoulis, Ganniari-Parageorgiou, & Mentzini, 2010).

Η παρακάτω συλλογιστική προσέγγιση αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε σε συνεργασία των Μ. Ιωαννίδου, Μ. Μεντζίνη και Β. Πασχαλίδη πολιτικών μηχανικών της ΥΣΜΑ.

Τα επιστύλια προσομοιώνονται ως καμπτόμενες δοκοί από μάρμαρο και ράβδους τιτανίου.



Εικ. 52. Σχηματική αναπαράσταση επιστυλίου ορθογωνικής διατομής σπλισμένης με μια στρώση ράβδων τιτανίου. Πηγή: Paschalides et al., (2005)

Από το νόμο του Hooke και την εξίσωση συμβιβαστού των παραμορφώσεων:

$$\frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_\tau} = \frac{\frac{\sigma_M}{E_M}}{\frac{\sigma_\tau}{E_\tau}} = \frac{n\sigma_M}{\sigma_\tau} = \frac{x}{(h-x)} \Rightarrow \sigma_M = x \frac{\sigma_\tau}{(h-x)n} \quad (\text{Σχέση 5.1})$$

Όπου:

$\sigma_M$ : η θλιπτική τάση του μαρμάρου στην άνω ίνα,

$\sigma_\tau$ : η εφελκυστική τάση στο τιτάνιο,

$x$ : η απόσταση του ουδέτερου άξονα από την άνω παρειά της δοκού,

$h$ : η απόσταση της στρώσης των τιτανίων από την άνω παρειά της δοκού

$n$ : ο λόγος  $E_M/E_\tau$  όπου  $E_M$ ,  $E_\tau$  τα μέτρα ελαστικότητας μαρμάρου και τιτανίου αντίστοιχα.

Από την εξίσωση ισορροπίας των ροπών προκύπτει:

$$\frac{\sigma_M x b z}{2} = F_\tau z \quad (\text{Σχέση 5.2})$$

Όπου,

$b$ : το πλάτος της δοκού,

$z$ : ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων και

$F_\tau = \sigma_\tau A_\tau$ : η συνολική εφελκυστική δύναμη του οπλισμού τιτανίου, όπου  $A_\tau$  η συνολική διατομή του τιτανίου.

Από τις σχέσεις 5.1 και 5.2 προκύπτει η θέση του ουδέτερου άξονα:

$$x = \frac{nA_\tau}{b} \left[ -1 \pm \left( 1 + \frac{2bh}{nA_\tau} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad 0 < x < h \quad (\text{Σχέση 5.3})$$

Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι αναπτυσσόμενες τάσεις τόσο για το μάρμαρο όσο και για το τιτάνιο και συγκρίνονται με τις μέγιστες επιτρεπόμενες.

$$M_{\varepsilon\xi} = \frac{1}{2} \sigma_M x b z \Rightarrow \sigma_M = \frac{2M_{\varepsilon\xi}}{x b z} < \sigma_{M \text{ επιτρεπόμενη}} \quad (\text{Σχέση 5.4})$$

$$M_{\varepsilon\xi} = \sigma_\tau A_\tau z \Rightarrow \sigma_\tau = \frac{M_{\varepsilon\xi}}{A_\tau z} < \sigma_{\tau \text{ επιτρεπόμενη}} \quad (\text{Σχέση 5.5})$$

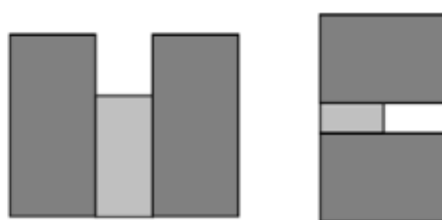
Σε περίπτωση που ο οπλισμός είναι ανεπαρκής ή υπερβολικός, η αρχική εκλογή τροποποιείται ανάλογα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Ο οπλισμός σχεδιάζεται για το σύνολο των φορτίων που θα κληθεί να παραλάβει όταν επανατοποθετηθεί στο μνημείο. Σε αυτά τα φορτία υπολογίζονται τα κατακόρυφα φορτία, όπως το ίδιο βάρος, ο άνεμος, το χιόνι, το βάρος υπερκειμένων μελών είτε των αρχαίων, είτε των πρόσθετων για την αποκατάσταση του μνημείου, π.χ. στεγάνωση ναού καθώς και δυναμικά φορτία (σεισμός ο οποίος λαμβάνεται υπόψη με προσαύξηση των στατικών φορτίων). Επιπλέον στο σχεδιασμό θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι δυνάμεις που ασκούνται στο μέλος κατά τη μεταφορά και τοποθέτησή του.

Στις αποκαταστάσεις χρησιμοποιούνται 2 είδη οπλισμού (Paschalides et al., 2005):

- Ο οπλισμός κάμψης, προκειμένου να αποκατασταθεί η επιθυμητή αντοχή.
- Ο οπλισμός αποκατάστασης του σχήματος διατομής που έχει ως στόχο την επαναφορά της ολότητας της διατομής.

Από την αναστήλωση Μπαλάνου, έχουν προκύψει οι μεταβλητές διατομές επιστυλίων (εικ. 52), λόγω ύπαρξης της αύλακας. Βέβαια κατά την αποκατάσταση, γίνεται πλήρωση της αύλακας με νέο μάρμαρο. Στη μέθοδο υπολογισμού οπλισμών σύνδεσης θραυσμένων επιστυλίων, η διατομή θεωρείται μεταβλητή, δηλαδή ότι δεν υπάρχει συνεισφορά στην αντοχή από το μάρμαρο πλήρωσης (Paschalides et al., 2005).



Εικ. 53. Μεταβλητές διατομές. Πηγή: Paschalides et al., 2005

Για τον υπολογισμό του οπλισμού σε διατομές μεταβλητής διατομής διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

Α. Όταν ο ουδέτερος άξονας είναι μεταξύ  $0 < x < h$ . Τότε η απόσταση  $x$  προσδιορίζεται από την εξίσωση:

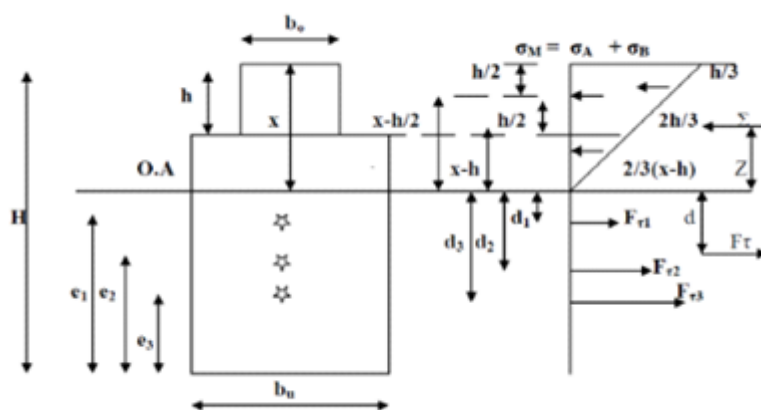
$$b_0 x^2 + 2nA_\tau x - 2n(E - HA_\tau) = 0 \quad (\text{Σχέση 5.6})$$

Όπου:

$A_\tau$ : το άθροισμα των εμβαδών των οπλισμών

$E$ : η στατική ροπή των οπλισμών ως προς την κάτω επιφάνεια της δοκού.

Β. Όταν ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του διαστήματος  $h < x < H$ , τότε ισχύουν οι σχέσεις της εικ. 54.



$$\frac{\sigma_M}{x} = \frac{\sigma_A}{x-h} = \frac{\sigma_B}{h} \qquad \sigma_M = \frac{x\sigma_\tau}{(H - \beta_l - x)h}$$

$$Z + d = \frac{M_{\text{εσωτερική}}}{\Sigma} = \frac{M_{\text{εξωτερική}}}{\Sigma}$$

$$Z = \frac{M_0}{\Sigma}$$

$$d = \frac{M_0}{F_\tau}$$

$$M_0 = \frac{1}{2} b_u \sigma_A \frac{2}{3} (x-h)^2 + \sigma_A b_0 \left(x - \frac{h}{2}\right) + \frac{1}{2} \sigma_B b_0 h \left(x - \frac{h}{3}\right)$$

$$M'_0 = F_{\tau 1} d_1 + F_{\tau 2} d_2 + F_{\tau 3} d_3 = A_{\tau 0} \sigma_{\tau 1} \left( \mu_1 d_1 + \frac{\mu_2 d_2^2}{d_1} + \frac{\mu_3 d_3^2}{d_1} \right)$$

$$= A_{\tau 0} \sigma_{\tau 1} \Sigma \mu_1 \left( \frac{d_i^2}{d_1} \right)$$

$$\Sigma = \frac{1}{2} b_u \sigma_A (x-h) + \sigma_A b_0 h + \frac{1}{2} \sigma_B b_0 h$$

$$F_\tau = F_{\tau 1} + F_{\tau 2} + F_{\tau 3} = A_{\tau 0} \sigma_{\tau 1} \left( \mu_1 d_1 + \frac{\mu_2 d_2^2}{d_1} + \frac{\mu_3 d_3^2}{d_1} \right) = A_{\tau 0} \sigma_{\tau 1} \Sigma \mu_1 \left( \frac{d_i}{d_1} \right)$$

Εικ. 54. Αναπαράσταση μεταβλητής διατομής με πολλές στρώσεις ράβδων τιτανίου.  
Πηγή: Paschalides et al., 2005

Όπου:

$z$  και  $d$  οι αποστάσεις της συνισταμένης δύναμης  $\Sigma$  των θλιπτικών τάσεων του μαρμάρου και της συνισταμένης δύναμης των οπλισμών τιτανίου από τον ουδέτερο άξονα.

$M_0$  και  $M_0'$  οι ροπές των  $\Sigma$  και  $F_t$  ως προς τον ουδέτερο άξονα.

$A_{t0}$  το εμβαδόν της διατομής μιας ράβδου τιτανίου.

$\sigma_{t1}$  η εφελκυστική τάση των τιτανίων της στρώσης 1.

$F_{ti}$  η συνολική εφελκυστική δύναμη των οπλισμών της  $i$  στρώσης.

$m_i$  ο αριθμός των ράβδων οπλισμού στην  $i$  στρώση.

### **5.3. Αποκατάσταση μονολιθικότητας θραυσμένου επιστυλίου, συγκολλημένου από φυσικούς δομικούς λίθους με χρήση ράβδων τιτανίου**

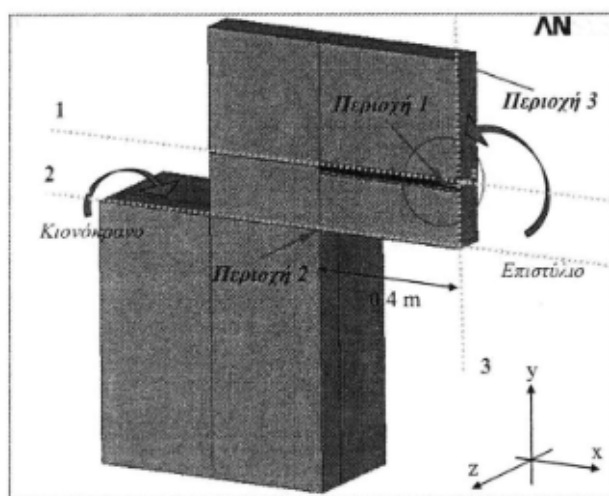
Σκοπός της διδακτορικής διατριβής της Γαννιάρη-Παπαγεωργίου (2010) ήταν τόσο ο έλεγχος της προαναφερθείσας θεωρητικής μεθόδου, όσο και η κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς μαρμαρίνων επιστυλίων, είτε ακέραιων είτε θραυσμένων, αποκαταστημένης μονολιθικότητας με τη χρήση ράβδων τιτανίου και κατάλληλου κονιάματος. Κρίσιμο σημείο ελέγχου αυτής της μεθόδου αποτελούν τα πεδία τάσεων και παραμορφώσεων που αναπτύσσονται στο εσωτερικό των δοκιμίων και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές των διεπιφανειών μάρμαρο-κονίαμα και κονίαμα-μέταλλο. Έναυσμα αυτής της μελέτης αποτέλεσε η ανάγκη αποκατάστασης του 5ου εξωτερικού της βόρειας κιονοστοιχίας πολυ-θραυσμένου επιστυλίου του Παρθενώνα. Το εν λόγω επιστύλιο, που παρουσίαζε ρηγμάτωση στο μέσον του, είχε ενισχυθεί με δύο σιδηροδοκούς διατομής διπλού ταυ, οι οποίες όμως οξειδώθηκαν, διογκώθηκαν και προκάλεσαν διάρρηξη του μαρμάρου σε οκτώ κομμάτια αυθαιρέτου σχήματος. Προς τούτο, η Γαννιάρη-Παπαγεωργίου (2010), πραγματοποίησε παραμετρική αριθμητική μελέτη για το πρόβλημα κάμψης θραυσμένων επιστυλίων αποκαταστημένων με μία ράβδο τιτανίου.

Η μηχανική συμπεριφορά σε κάμψη θραυσμένων επιστυλίων αποκαταστημένων με ράβδους τιτανίου μελετήθηκε αριθμητικά με τη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων και τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης ANSYS 11.0. Οι παράμετροι, των οποίων η επίδραση μελετήθηκε, με στόχο την καλύτερη και εις βάθος κατανόηση του

προβλήματος, πηγάζουν από αριθμητικά μοντέλα παραμετρικής ανάλυσης (Kourkoulis & Ganniari-Parageorgiou, 2008, Ganniari-Parageorgiou, 2009, Kourkoulis & Ganniari-Parageorgiou, 2010, Kourkoulis, Ganniari-Parageorgiou, & Mentzini, 2010), είναι:

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ράβδων τιτανίου.
- Η παρουσία στρώσεως κονιάματος μεταξύ μαρμάρου και τιτανίου.
- Οι μηχανικές ιδιότητες του κονιάματος.
- Οι διεπιφάνειες μαρμάρου-τιτανίου, μαρμάρου-κονιάματος και κονιάματος-τιτανίου.

Τα γεωμετρικά στοιχεία του επιστυλίου που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση (εικ. 55), κατασκευάστηκαν βάσει της γεωμετρίας ενός πραγματικού τυπικού εξωτερικού επιστυλίου της βόρειας κιονοστοιχίας του Παρθενώνα, με κλίμακα 1:3 ( $x=1.43$  m,  $y=0.45$  m και  $z=0.18$  m). Χρησιμοποιήθηκαν 2 κυβικές βάσεις ακμής 0.63 m, πάνω στις οποίες τοποθετήθηκε το επιστύλιο, με στόχο να προσομοιώνουν τα κιονόκρανα.

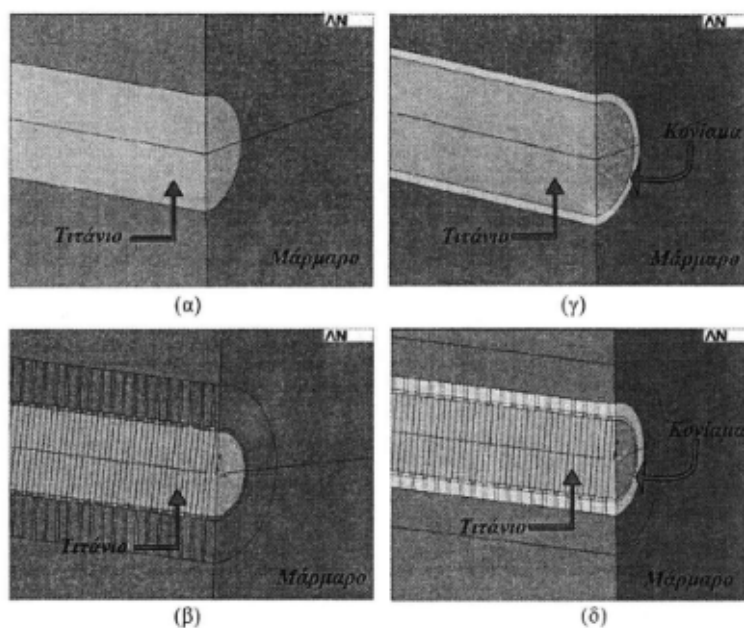


Εικ. 55. Σχηματική αναπαράσταση του αριθμητικού μοντέλου. Οι περιοχές 1, 2 και 3 αντιστοιχούν σε κρίσιμες θέσεις του μοντέλου. Οι άξονες 1, 2 και 3 αποτελούν τους άξονες κατά μήκος των οποίων θα υλοποιηθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, για το επιστύλιο έγινε η θεώρηση ότι είχε στο μήκος του, ένα κεντρικό κατακόρυφο επίπεδο θραύσης, στο οποίο πραγματοποιήθηκε η σύνδεση των 2 όμοιων προκύπτωντων θραυσμάτων, με μία ράβδο τιτανίου. Εντούτοις, η προαναφερθείσα κατάσταση ρηγμάτωσης του επιστυλίου προσομοίωσης, χαρακτηρίζεται ως ιδανική, απέχοντας από τις πραγματικές καταστάσεις ρηγμάτωσης των επιστυλίων του



Παρθενώνα, που στην πλειοψηφία τους, είτε παρουσιάζουν μη συμμετρικά ρήγματα, είτε έχουν κατακερματιστεί σε περισσότερα από 2 και αυθαίρετου μήκους κομμάτια. Συνεπώς, η λόγω προσομοίωση αποτελεί μια προσπάθεια, τόσο επιβεβαίωσης της μεθόδου μελέτης της μηχανικής συμπεριφοράς σε κάμψη θραυσμένων επιστυλίων αποκαταστημένων με ράβδους τιτανίου, που εφαρμόζονται στην Ακρόπολη Αθηνών, όσο και κατανόησης των περιορισμών και των υποθέσεων, στις οποίες η μέθοδος αυτή βασίζεται.



Εικ. 56. Μεγέθυνση της περιοχής γύρω από τον οπλισμό στην θέση της κεντρικής κατακόρυφης διατομής του επιστυλίου, α) μοντέλα (i) και (ii), β) μοντέλα (iii) και (iv), γ) μοντέλο (v) και δ) μοντέλο (vi).

Βάσει των παραγόντων της παραμετρικής ανάλυσης, έλαβε χώρα κατάλληλη τροποποίηση του αρχικού μοντέλου, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν 6 αριθμητικά μοντέλα για τη σύνδεση των 2 όμοιων τμημάτων του επιστυλίου (εικ. 56):

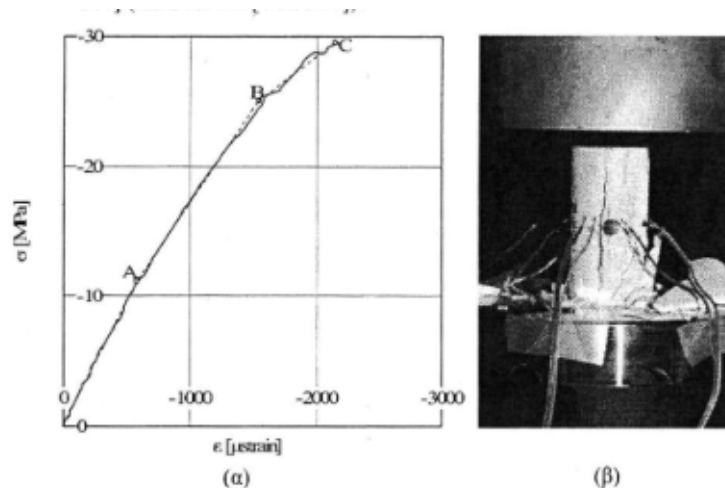
- Κυλινδρική ράβδος τιτανίου πλήρως συσσωματωμένη με το μάρμαρο.
- Κυλινδρική ράβδος τιτανίου σε απλή επαφή με τριβή με το μάρμαρο.
- Κοχλιοτομημένη ράβδος τιτανίου πλήρως συσσωματωμένη με το μάρμαρο.
- Κοχλιοτομημένη ράβδος τιτανίου σε απλή επαφή με τριβή με το μάρμαρο.
- Κυλινδρική ράβδος τιτανίου και λεπτή στρώση κονιάματος.
- Κοχλιοτομημένη ράβδος τιτανίου και λεπτή στρώση κονιάματος.

Η ακτίνα του κυλίνδρου, για τα μοντέλα με την κυλινδρική ράβδο ((i), (ii) και (v)), σχεδιάστηκε ίση με 6.35 mm. Στα μοντέλα με την κοχλιοτομημένη ράβδο ((iii), (iv) και (vi)), αντιστοιχούσαν 200 σπείρες στο μήκος αγκύρωσης, ενώ για το τιτάνιο έγινε προσομοίωση στα χαρακτηριστικά γεωμετρίας των ράβδων οπλισμού, που χρησιμοποιούνται για την αναστήλωση της Ακρόπολης Αθηνών (Kourkoulis & Ganniari-Parageorgiou, 2008, Ganniari-Parageorgiou, 2009). Στα μοντέλα (v) και (vi), το κονίαμα ήταν πάχους 2 mm και έγινε η θεώρηση ότι είναι πλήρως συσσωματωμένο με το τιτάνιο. Τέλος, θεωρήθηκαν συνθήκες απλής επαφής με τριβή, ανάμεσα: α) στο επιστύλιο και τη βάση, για όλα τα μοντέλα, με συντελεστή τριβής  $\mu_k=0.7$ , β) στο τιτάνιο και στο μάρμαρο, για τα μοντέλα (ii) και (iv), με συντελεστή τριβής  $\mu_k=0.5$  και γ) στο κονίαμα και στο μάρμαρο, για τα μοντέλα (v) και (vi), με συντελεστή τριβής  $\mu_k=0.5$ . Αν και οι συνθήκες απλής επαφής με τριβή θεωρούνται ως μια εξιδανίκευση του προβλήματος, εντούτοις οι πειραματικές μελέτες των Kourkoulis et al., (2008) και των Marinelli et al., (2009) έχουν δείξει ότι ολίσθηση δεν παρατηρείται μεταξύ κονιάματος και τιτανίου, αλλά αποκλειστικά στη διεπιφάνεια μαρμάρου-κονιάματος. Δεδομένου ότι δεν θα αναπτυχθούν στρεπτικές ροπές (ή το μέτρο τους δεν θα είναι συγκρίσιμο με αυτό των αναπτυσσόμενων καμπτικών ροπών), οι οποίες θα προκαλέσουν αποκοχλίωση της ράβδου από το περιβάλλον υλικό, τότε η παραδοχή ότι υπάρχει πλήρης συσσωμάτωση μεταξύ τιτανίου και κονιάματος, δε θα αλλοιώσει τα αποτελέσματα της εν λόγω αριθμητικής μελέτης.

Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών (μάρμαρο, τιτάνιο και κονίαμα) που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των μοντέλων, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Υλικά	Μηχανικές Ιδιότητες
Μάρμαρο Διονύσου  (επιστύλιο & κιονόκρανα)	<p>Τα επίπεδα των στρώσεων είναι παράλληλα στον διαμήκη άξονα του επιστυλίου. Τα καμπτικά φορτία ασκούνται κάθετα στα επίπεδα αυτά.</p> <p>Αγνοήθηκαν: η εγκάρσια ισοτροπία, η μη γραμμικότητα και διπλομετρικότητα. Επομένως το υλικό θεωρήθηκε γραμμικώς ελαστικό και ισότροπο.</p> <p>Ιδιότητες στην ισχυρή διεύθυνση: μέτρο ελαστικότητας <math>E=84.5 \text{ GPa}</math>, λόγο Poisson <math>\nu=0.26</math> και πυκνότητα <math>\rho=2.78 \text{ gr/cm}^3</math>.</p>
Τιτάνιο	<p>Θεωρήθηκε γραμμικώς ελαστικό και ισότροπο με ιδιότητες: <math>E=105 \text{ GPa}</math>, λόγο Poisson <math>\nu=0.32</math> και πυκνότητα <math>\rho=4.51 \text{ gr/cm}^3</math>.</p>
Κονίαμα	<p>Γραμμικώς ελαστικό και ισότροπο (<math>E=15.4 \text{ GPa}</math>, <math>\nu=0.26</math> και <math>\rho=1.7 \text{ gr/cm}^3</math>).</p> <p>Γραμμικώς ελαστικό - γραμμικώς κρατυνόμενο και ισότροπο (<math>E=15.4 \text{ GPa}</math>, <math>\nu=0.26</math>, <math>H=1.5 \text{ GPa}</math> και <math>\sigma_y=10 \text{ MPa}</math>).</p> <p>Γραμμικώς ελαστικό - πολυγραμμικώς κρατυνόμενο και ισότροπο (ειδικότερα για τα μοντέλα (ν) και (ν<sub>i</sub>)), που απεικονίζει καλύτερα την πραγματική συμπεριφορά του κονιάματος, πως αυτή προέκυψε ύστερα από σειρά πειραμάτων θλίψεως σε κυλινδρικά δοκίμια κονιάματος των Marinelli et al., (2009) (εικ. 56).</p>

Πίνακας 5. Μηχανικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των μοντέλων, για τη διδακτορική διατριβή της Γαννιάρη-Παπαγεωργίου (2010)



Εικ. 57. α) Χαρακτηριστική πειραματική καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων του κονιάματος (συμπαγής γραμμή). Τα ευθύγραμμα τμήματα ΟΑ, ΟΒ και ΟC (διακεκομμένες γραμμές) απεικονίζουν την πολυγραμμική κράτηση που χρησιμοποιήθηκε στην αριθμητική ανάλυση, β) Χαρακτηριστικό κυλινδρικό δοκίμιο κονιάματος μετά την αστοχία του.  
 Πηγές: Kourkoulis et al., (2008) και των Marinelli et al., (2009)

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προέκυψε η εμφάνιση ισχυρών συγκεντρώσεων τάσεων σε 3 περιοχές:

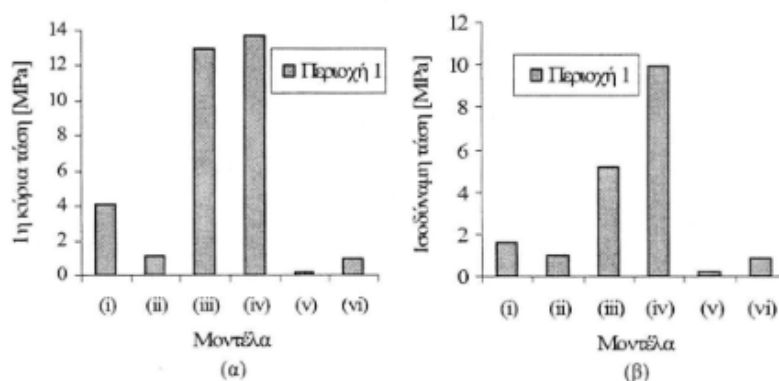
- Περιοχή 1: Στη κεντρική διατομή του επιστυλίου στη θέση που είχε τοποθετηθεί η ράβδος από τιτάνιο.
- Περιοχή 2: Στα γωνιακά σημεία των δύο βάσεων που έρχονται σε επαφή με το επιστύλιο.
- Περιοχή 3: Στην άνω έδρα του επιστυλίου στη θέση της κεντρικής κατακόρυφης διατομής του.

Στις εικ. 58 - 60 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των μέγιστων τάσεων που εμφανίστηκαν στις ανωτέρω περιοχές.

Στην Περιοχή 1, για κάθε μοντέλο καταγράφηκε η 1η κύρια τάση (εικ. 58) και η ισοδύναμη τάση (εικ. 58). Παρατηρείται ότι στα μοντέλα (v) και (vi) (εκεί που υπήρχε λεπτή στρώση κονιάματος μεταξύ σπλισμού και μαρμάρου) εμφανίστηκαν οι μικρότερες τάσεις, ενώ στα μοντέλα (iii) και (iv) (κοχλιοτομημένη ράβδος τιτανίου χωρίς στρώση κονιάματος) εμφανίστηκαν οι υψηλότερες τάσεις, που κάποιες περιπτώσεις ήταν διπλάσιες (μοντέλο (vi)) ή ακόμα και δεκαπλάσιες (μοντέλο (iv)), συγκριτικά με τις τάσεις που παρατηρήθηκαν στις υπόλοιπες σπείρες του σπλισμού. Στην Περιοχή 2, για

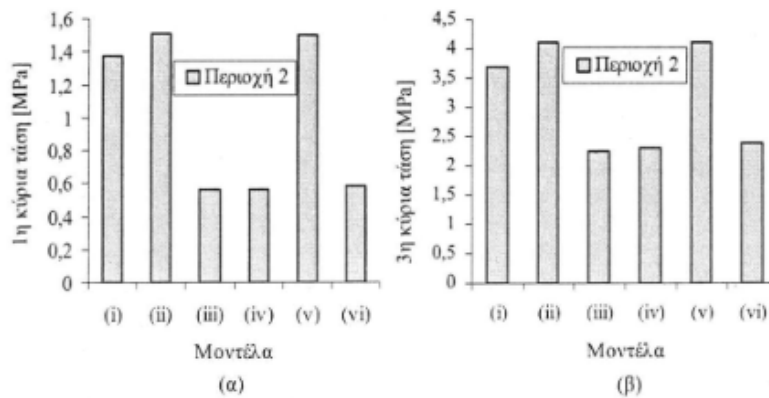
κάθε μοντέλο καταγράφηκε η 1η κύρια τάση (εικ. 59) και η 3η κύρια τάση (εικ. 59). Παρατηρείται ότι στα μοντέλα (i), (ii) και (v) (με κυλινδρική ράβδο τιτανίου) εμφανίστηκαν υψηλότερες τάσεις. Συγκρίνοντας τις τάσεις της Περιοχής 1 με τις τάσεις της Περιοχής 2, για τα μοντέλα (i), (ii) και (v), παρατηρείται ότι στην περιοχή γύρω από τα γωνιακά σημεία των δύο βάσεων, η κυλινδρική ράβδος είναι πιο επιρρεπής σε αστοχία, συγκριτικά με την κοχλιοτομημένη, η οποία χωρίς κονίαμα, εμφανίζει ισχυρότερο τασικό πεδίο στην Περιοχή 1. Από τα αυτά τα αποτελέσματα προκύπτει ότι ακόμα και αν απλοποιηθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σπλισμού, με σκοπό να περιοριστούν οι υψηλές τάσεις στις σπείρες του κοχλία, εντούτοις ενισχύονται οι συγκεντρώσεις στα γωνιακά σημεία των δύο βάσεων.

Τέλος, στην Περιοχή 3, για κάθε μοντέλο καταγράφηκε η 1η κύρια τάση (εικ. 60) και η 3η κύρια τάση (εικ. 60). Παρατηρείται ότι αυτή η περιοχή παρουσιάζουν μικρότερης τάξης τάσεις συγκριτικά με τις άλλες δύο περιοχές για όλα τα μοντέλα, στα οποία δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα σημαντικές διαφοροποιήσεις.

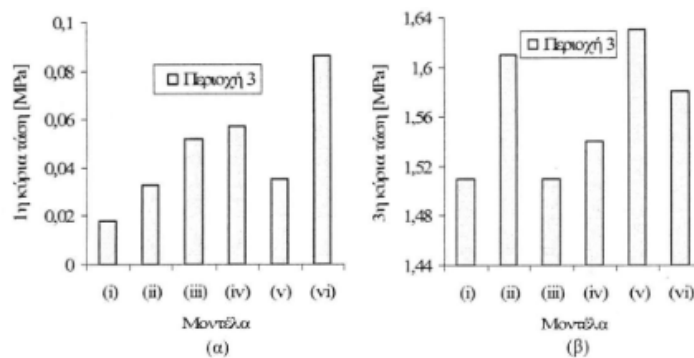


Εικ. 58. α) Η 1η κύρια τάση και β) η ισοδύναμη τάση που εμφανίζονται στην κεντρική διατομή του επιστυλίου γύρω από τη ράβδο τιτανίου (Περιοχή 1) και για τα έξι μοντέλα.

Πηγή: Kourkoulis & Ganniari-Parageorgiou (2010)



Εικ. 59. α) Η 1η και β) η 3η κύρια τάση που παρατηρείται στα γωνιακά σημεία των δύο βάσεων που έρχονται σε επαφή με το επιστύλιο (Περιοχή 2) και για τα έξι μοντέλα. Πηγή: Kourkoulis & Ganniari-Parageorgiou (2010)



Εικ. 60. α) η 1<sup>η</sup> και β) η 3<sup>η</sup> κύρια τάση που παρατηρείται στην άνω έδρα του επιστυλίου στη θέση της κεντρικής διατομής του (Περιοχή 3) και για τα έξι μοντέλα. Πηγή: Kourkoulis & Ganniari-Parageorgiou, 2010

Το σημαντικότερο εύρημα της ανωτέρω αριθμητικής μελέτης αφορά στην επίδραση της παρουσίας και των μηχανικών ιδιοτήτων του κονιάματος, στη μηχανική συμπεριφορά των αποκαταστημένων επιστυλίων. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση κατάλληλου κονιάματος, μειώνονται σημαντικά (από 4 ως 6 φορές συγκριτικά με τις περιπτώσεις απουσίας κονιάματος) οι ισχυρές συγκεντρώσεις τάσεων, που αναπόφευκτα εμφανίζονται στην Περιοχή 1, ειδικότερα για τα μοντέλα με τις κοχλιοτομημένες ράβδους. Επιπλέον, η χρήση γραμμικώς ελαστικού - γραμμικώς κρατυνόμενου και γραμμικώς ελαστικού - πολυγραμμικώς κρατυνόμενου κονιάματος, μείωσε ακόμα περισσότερο τα αναπτυσσόμενα τασικά και παραμορφωσιακά πεδία, τόσο για τις περιπτώσεις με απουσία κονιάματος, όσο και για την περίπτωση του γραμμικώς ελαστικού κονιάματος (σχεδόν οι μισές τάσεις). Εύλογα προκύπτει το συμπέρασμα, ότι η χρήση κονιάματος με μεγαλύτερη πλαστιμότητα ενδεχομένως να ελαττώσει ακόμα περισσότερο τις συγκεντρώσεις των τάσεων.

## 6° Κεφάλαιο

### Συμπεράσματα - Επίλογος

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε μελέτη σχετικά με την συμβολή των Μηχανικών και της Μηχανικής σε ζητήματα ανασύλωσης και συντήρησης των μνημείων της Ακρόπολης, από την ίδρυση του νέου Ελληνικού Κράτους μέχρι και σήμερα, τόσο μέσα από μια εκτενή βιβλιογραφική περιοδολόγηση όσο και μέσα από συγκεκριμένες καινοτόμες πειραματικές και εφαρμοσμένες τεχνικές.

Στο πέρας της εργασίας, έχοντας αποκτήσει μια σφαιρικότερη εικόνα για τα προαναφερθέντα ζητήματα, οδηγούμαστε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Οι παρεμβάσεις στην Ακρόπολη, μετά την ανακήρυξη ανεξαρτησίας του νεοσύστατου ελληνικού κράτους, διενεργήθηκαν σε μια προσπάθεια απόκτησης κοινών σημείων αναφοράς, μέσα από την αποκατάσταση των πιο ένδοξων μνημείων της κλασσικής αρχαιότητας.
- Οι παρεμβάσεις της πρώτης περιόδου (1834 - 1836) με την ανόρθωση, συμπλήρωση και επανατοποθέτηση διάσπαρτων αρχιτεκτονικών μελών και όχι απαραίτητα στη σωστή τους θέση, υποβάθμισαν αισθητικά τα μνημεία και επέφεραν περεταίρω δομικά πλήγματα, ενώ δεν έλειψαν και οι περιπτώσεις εκείνες κατά τις οποίες χάθηκε πολύτιμο αυθεντικό υλικό.
- Οι παρεμβάσεις της δεύτερης περιόδου (1836 - 1863) ξεκίνησαν με την εκτεταμένη ανεύρεση, περισυλλογή και καταγραφή διάσπαρτων αρχιτεκτονικών μελών. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από τον έντονο αυτοσχεδιασμό με αποτέλεσμα να επιβαρυνθούν σοβαρά τα αυθεντικά δομικά υλικά λόγω χρήσης ακατάλληλων υλικών, να χαθούν αυθεντικά στοιχεία και να υποβαθμιστούν αισθητικά τα μνημεία.
- Η επόμενη περίοδος (1864 - 1884) ήταν κυρίως σωστικού χαρακτήρα και όχι αναστηλωτικών επεμβάσεων. Αγνοήθηκαν οι ιδιαιτερότητες των αρχιτεκτονικών μελών. Οι συνέπειες των επεμβάσεων αυτών ήταν καταστροφικές.
- Το 1975 ιδρύεται η Επιτροπή Συντηρήσεως Μνημείων Ακροπόλεως (ΕΣΜΑ και μετέπειτα ΥΣΜΑ) την οποία αποτελούν πλέον, αρχαιολόγοι, αρχιτέκτονες, πολιτικοί και χημικοί μηχανικοί και η οποία έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο της κατάστασης



των μνημείων και τον εντοπισμό παθολογίας και βασικών βλαβών που χρήζουν άμεσης επέμβασης, με στόχο:

α) την αποκατάσταση της στατικότητας και της ευστάθειας των μαρμάρινων μελών στις αναστηλωμένες ή μη περιοχές και β) την αντιμετώπιση της φθοράς των επιφανειών.

- Τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις τεχνικές των ηλεκτρικών σημάτων και των ακουστικών εκπομπών, αποδεικνύουν ότι στην περίπτωση εφαρμογής στα μνημεία η αστοχία γίνεται αντιληπτή πριν την καταστροφική της εμφάνιση επιτρέποντας, έτσι, μια έγκαιρη σωστική επέμβαση.
- Από τα τυποποιημένα όσο και τα μη τυποποιημένα πειράματα μεγάλης κλίμακας αντλούνται αξιόπιστα ποσοτικά δεδομένα: α) από τα τυποποιημένα (μονοαξονική θλίψη, μονοαξονικός εφελκυσμός, κάμψη τριών σημείων), αντλούνται χρήσιμα δεδομένα που αφορούν στην κατανομή των πεδίων μετατοπίσεων και παραμορφώσεων αλλά και τον χωροχρονικό εντοπισμό των εσωτερικών βλαβών και της εξέλιξής τους και β) από τα πειράματα μεγάλης κλίμακας τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στη σχεδίαση και βαθμονόμηση - αξιολόγηση αριθμητικών προσομοιωμάτων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, τόσο στα πειράματα εξόλκευσης όσο και στα πειράματα κάμψης.

### **Επίλογος - Πρόταση μελλοντικής έρευνας**

Οι παρεμβάσεις διάσωσης, συντήρησης και αναστήλωσης βρίσκονται στο κέντρο ενδιαφέροντος καθώς άπτονται του επιστημονικού πεδίου των Μηχανικών. Ως εκ τούτου, για τη συνέχιση αυτής της εργασίας, η οποία αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια προσέγγισης των διεργασιών που προαναφέραμε, προτείνεται αρχικά μια περισσότερο στοχευμένη βιβλιογραφική περιοδολόγηση επικεντρωμένη σε θέματα που αφορούν στην πρόβλεψη φθοράς τόσο των αρχιτεκτονικών μελών όσο και της επιφάνειας των μνημείων της Ακρόπολης. Επιπλέον, προτείνεται συγκριτική πειραματική έρευνα σχετικά με την φυσικοχημική διερεύνηση της αποσάθρωσης του πεντελικού μαρμάρου του Παρθενώνα και του μαρμάρου Διονύσου.

## Βιβλιογραφία

- Aggelakopoulou, E., Design and evaluation of restoration mortars for the Acropolis monuments, *The Acropolis Restoration News*, 13, p. 13-17, 2013
- ASTM, Standard Definition of Terms Relating to Acoustic Emission, E610 Philadelphia, 1982
- Blessing, J.A., Fowler, T. J., Strauser, F.E., Intensity Analysis, Proc. of 4<sup>th</sup> Int. Symp., On Acoustic Emission from Composite Materials, 1992
- Carpinteri, A., Lacidogna, G., Niccolini, G., Critical behaviour in concrete structures and damage localization by acoustic emission, *Key Engineering Materials*, Vol. 312, p. 305-310, 2006
- Carpinteri, A., Lacidogna, S., Puzzi, From criticality to final collapse: Evolution of the b-value from 1.5 to 1.0., *Chaos, Solitons & Fractals*, Vol. 41, 2, p. 843-853, 2009
- Colombo, S., Forde, M.C., Main, I.G., Halliday, J., Shigeshi, M., AE energy analysis on concrete bridge beams. *Materials and structures*, Vol. 38, p. 851-856, 2005
- Evans, A. G., *Acoustic Emission Sources in Brittle Solids - Fundamental of Acoustic Emission*, 1978
- Exadaktylos, G.E., Vardoulakis, I. & Kourkoulis, S., Influence of nonlinearity and double elasticity on flexure of rock beams - II. Characterization of Dionysos marble, *International Journal of Solids and Structures*, 38(22-23), 4119-4145, 2001
- Fahy, F., *Sound and Structural Vibration Radiation, Transmission and Response*, Academic Press INC. London, 1985
- Faro Convention, Council of Europe, 2005
- [www.coe.int/en/web/culture-and-heritage/faro-convention](http://www.coe.int/en/web/culture-and-heritage/faro-convention)
- Fowler, T.J., Blessing, J.A., Conlisk, P.J., New Direction in Testing. Proc. of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Acoustic Emission from Composite Materials (AECM-3), p. 16-27, 1989
- Ganniari-Papageorgiou, E., Joining fragmented epistyles using threaded titanium bars: a numerical analysis. *Strain*, 45(5), 445-455, 2009
- Gillis, P.P. and Hamstad, M.A., *Some Fundamental Aspects of the Theory of Acoustic Emission*, Elsevier, 1973
- Golaski, L., Gebiski, P., Ono, K., Diagnostics of reinforced concrete bridges by acoustic emission, *Journal of acoustic emission*, Vol. 20, p. 83-98, 2002

- Gong, Z., Nyborg, E.O., Oommen, G., Acoustic emission monitoring of steel railroad bridges. *Materials Evaluation*, Vol. 50, 7, p. 883-887, 1992
- Gostautas, R.S., Ramirez, G., Peterman, R.J., Meggers, D., Acoustic emission monitoring and analysis of glass fiber-reinforced composites bridge decks. *Journal of bridge engineering*, Vol. 10, 6, p. 713-721, 2005
- Grosse, C.U., Ohtsu, M., Aggelis, D. & Shiotani, T. (Eds.), *Acoustic Emission Testing, Basics for Research - Applications in Civil Engineering*, Springer, 2008
- Holtzmann, B., L' Acropole d' Athènes en chantier: restaurations et études depuis 1975, 2012 <https://journals.openedition.org/perspective/128>
- Ioannidou, M. & Paschalides, V., Joining Propyleæ beams with titanium bars. *Proc. 5th Int. Symp. for the Restoration of Acropolis Monuments: 291-300*. Athens: Committee for the Preservation of the Acropolis Monuments, 2002
- Jenkins, I.D. & Middleton, A.P., Paint on the Parthenon Sculptures, *The Annual of the BSA at Athens*, Vol. 83, p.183, 1988
- Kaiser, J., Untersuchungen über das Auftreten Geräuschen beim Zugversuch, PhD Thesis, Technische Hochschule, Munich, 1950
- Kourkoulis, S.K., Stavropoulou, M.C., Vardoulakis, I., & Exadaktylos, G.E., Local strains due to punch effect in three point bending of marble beams, In 9th ISRM Congress One Petro, 1999
- Kourkoulis, S.K., Ganniari-Papageorgiou, E. & Mentzini, M., Experimental and numerical evaluation of a new method for joining together fragmented structural members, *Proc. Heritage, Weathering & Conservation (HWC-2006) Conference*, Madrid, Spain, published by R. Fort et al. editors, Balkema, The Netherlands, p. 657-665, 2006
- Kourkoulis, S.K., Ganniari-Papageorgiou, E., & Mentzini, M., Experimental and numerical evaluation of a new method for joining together fragmented structural members. *Proc. Heritage, Weathering and Conservation (HWC2006) Conference*, June 2006, Vol. 2, p. 657-665, 2006
- Kourkoulis, S.K., Ganniari-Papageorgiou, E., & Mentzini, M., Conservation Approaches, Applications, Case Studies, In *Fracture and Failure of Natural Building Stones*, p. 269-286, Springer, Dordrecht, 2006

- Kourkoulis, S.K., & Ganniari-Papageorgiou, E., Bending of fragmented architraves restored with bolted titanium bars: A numerical analysis. *Engineering Transactions*, 56(2), 159-180, 2008
- Kourkoulis, S.K., & Ganniari-Papageorgiou, E., Mechanical behaviour of architraves restored with titanium bars: Some critical points. *Journal of Cultural Heritage*, 11, 420-429, 2010
- Kourkoulis, S.K., Papanicolopoulos, S.A., Marinelli, A., & Vayas, I. Restaurierung antiker Tempel: Experimentelle Untersuchungen zum Ausziehverhalten von Verankerungen im Marmor, *Bautechnik*, 85(2), 109-119, 2008
- Kourkoulis, S.K., Ganniari-Papageorgiou, E., & Mentzini, M., Dionysos marble beams under bending: A contribution towards understanding the fracture of the Parthenon architraves, *Engineering Geology*, 115(3-4), 246-256, 2010
- Kouzeli, K., Dogani, Y., Beloyiannis, N., Study of the Remain Colouring on the Architectural Surfaces of the Parthenon, *Superfici dell' Architettura, Le Finiture*, Bressanone, 1990
- Kyriazis, P., Anastasiadis, C., Stavrakas, I., Triantis, D., Stonham J., Modelling of electric signals stimulated by bending of rock beams, *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, 4, p. 5-18, 2009
- Ledeczki, A., Hay, T., Volgyesi, P., Hay, D.R., Nadas, A. & Jayaraman, S., Wireless acoustic emission sensor network for structural monitoring, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 9, 11, p. 1370-1377, 2009
- Lin, Q. and Labuz, J.F., Fracture of Sandstone Characterized by Digital Image Correlation, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 60, p. 235-245, 2013
- Marinelli, A., Papanicolopoulos, S.A., Kourkoulis, S., & Vayas, I. (2009). The Pull-Out Problem in Restoring Marble Fragments: A Design Criterion Based on Experimental Results. *Strain*, 45(5), 433-444
- Marinelli, A., Papanicolopoulos, S.A., Kourkoulis, S.K. & Vayas, I., The Pull-Out Problem in Restoring Marble Fragments: A Design Criterion Based on Experimental Results, *Strain*, 45(5), 433-444, 2009
- Mentzini, M., Joining together architraves and drums of Parthenon using titanium: A new approach, *Proc.5th Int. Symp. for the Restoration of Acropolis Monuments:*

- 233-242, Athens: Committee for the Preservation of the Acropolis Monuments, 2002
- O'Keefe P.J. & Prott L.V., *Law and the Cultural Heritage, Volume 1: Discovery and Excavation*, Abingdon, Oxon 1984
- Paschalides, V., Mentzini, M., Kourkoulis, S.K. & Vardoulakis, I., Experimental evaluation of a new method for the calculation of the put-together reinforcement of fractured structural members (in Greek), 1st Nat. Conf. Greek Association of Mechanical Engineers, Athens, Greece, March 28–30, p. B56/72-83, 2005
- Penelis, G.G., Techniques and materials for structural restoration Proc. 11<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering (11WCEE), 1996
- Rao, M.V.M.S., Lakshmi, P.K.J., Analysis of b-value and improved b-value of acoustic emissions accompanying rock fracture. *Current Science*, Vol. 89, 9, p. 1577-1582, 10 November 2005
- Shiotani, T., Yuyama, S., Li, Z.W., Ohtsu, M., Application of AE improved b-value to quantitative evaluation of fracture process in concrete materials, *Journal of acoustic emission*, Vol. 19, p. 118-133, 2001
- Stavrakas, I., Triantis, D., Agioutantis, Z., Maurigiannakis, S., Saltas, V., Vallianatos, F., Clarke, M., Pressure stimulated currents in rocks and their correlation with mechanical properties, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, p. 563-567, 2004
- Stirling, A., Simpson, D.J. and Davie, C.T., The Application of Digital Image Correlation to Brazilian Testing of Sandstone, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 60, p. 1-11, 2013
- Tassogiannopoulos, A.G., A contribution to the study of the properties of structural natural stones of Greece, National Technical University of Athens Doctoral Dissertation, Athens, Greece, 1986
- Vardoulakis, I. & Kourkoulis, S.K., Mechanical properties of Dionysos marble, Final report of the Environment Project EV5V-CT93-0300: Monuments Under Seismic Action, National Technical University of Athens, Athens, Greece, 1997
- Vardoulakis, I., Exadaktylos, G., & Kourkoulis, S.K., Bending of marble with intrinsic length scales: Experiment and modeling. In *Proceedings of 2nd European Mechanics of Materials Conference: Mechanics of Materials with Intrinsic Length Scale* (pp. 401-408). A. Bertram, S. Forest and F. Sidoroff, 1998

- Vardoulakis, I., Kourkoulis, S.K., Exadaktylos, G.E., & Rosakis, A., Mechanical properties and compatibility of natural building stones of ancient monuments: Dionysos marble. In Proc. of the Interdisciplinary Workshop "The building stone in monuments" (p. 187-210). M. Varti-Mataranga and Y. Katsikis, 2002
- Varoufakis, G.J., The iron clamps and dowels from the Parthenon and Erechthion. Historical metallurgy, 26, 1-18, 1992
- Zambas, C., Structural Repairs to the Monuments of the Acropolis-the Parthenon, In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering Vol. 92, No. 4, p. 166-176, Thomas Telford-ICE Virtual Library, 1992
- Βαρδόπουλος, Ι. & Μπεκιάρη, Ε., Ανακαίνιση και Επανάχρηση βιομηχανικού κτιρίου της ΒΕΣΟ στη Πάτρα σε ξενώνα ανηλίκων. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πατρών, 2011
- Βαρδουλάκης, Ι., Κουρκουλής, Σ., Εξαδάκτυλος, Γ. και Ροζάκης, Α., Μηχανικές Ιδιότητες και Συμβατότητα Φυσικών Δομικών Λίθων στα Αρχαία Μνημεία: το Διονυσιακό Μάρμαρο, Διεπιστημονική Ημερίδα: «Ο δομικός λίθος στα μνημεία», ICOMOS-ΙΓΜΕ, Αθήνα, 9 Νοεμβρίου 2001
- Βενιέρη, Ι. [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh3530.jsp?obj\\_id=2384](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh3530.jsp?obj_id=2384) , 2012
- Γαννιάρη-Παπαγεωργίου, Ε., Αποκατάσταση μονολιθικότητας δομικών μελών αρχαίων μνημείων κατασκευασμένων από φυσικούς δομικούς λίθους με χρήση ράβδων τιτανίου (Doctoral dissertation, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών. Τομέας Μηχανικής), 2010
- Ζάμπας, Κ., Δομικά Προβλήματα της Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, Μελέτη Αποκατάστασης του Παρθενώνος 2α , ΥΠΠΟ-ΕΣΜΑ, 162-180, Αθήνα, 1989
- Ημερίδα για τα αναστηλωτικά έργα στην Αθηναϊκή Ακρόπολη, ΥΠΠΟ, ΥΣΜΑ, Θεσσαλονίκη, 16 Μαρτίου 2007
- Κορρές, Μ., & Μπούρας Χ., Μελέτη αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, Υπουργείο Πολιτισμού και Επιστημών, Επιτροπή Συντηρήσεως Μνημείων Ακροπόλεως, Αθήνα, 1983
- Κορρές, Μ., Ο Πρόναος του Παρθενώνα, Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος 2α, ΥΠΠΟ-ΕΣΜΑ, Αθήνα, 1989
- Κορρές, Μ., Από το λατομείο στον Παρθενώνα, Μέλισσα, 2000

- Μαλλούχου-Τυφάνο, Φ., Η αναστήλωση των μνημείων της Ακρόπολης 1975-2000.  
<https://www.culture.gov.gr/DocLib/appendix8-gr.pdf> , 1999
- Μαλλούχου-Τυφάνο, Φ., Ενισχύσεις αρχαίων μνημείων στην Ελλάδα και την Ιταλία: διαφορές και ομοιότητες. Διαθέσιμο στο: [www.academia.edu/11973257/](http://www.academia.edu/11973257/) , 2014
- Μαρινέλλη, Α., Αποκατάσταση μονολιθικότητας δομικών μελών αρχαίων μνημείων: πειραματική και αριθμητική διερεύνηση (Doctoral dissertation, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Δομοστατικής. Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών), 2010
- Μαστραπάς, Α., Μνημειακή τοπογραφία Αρχαίας Αθήνας. Αθήνα: Καρδαμίτσας , 1992
- Μπούρας, Χ., Σημειώσεις του μαθήματος «Αποκαταστάσεως των Μνημείων Ι», Αθήνα, 1983
- Μπούρας, Χ. και Ζάμπας, Κ., Τα Έργα της Επιτροπής Συντηρήσεως Μνημείων Ακροπόλεως στην Αθηναϊκή Ακρόπολη, Υπουργείο Πολιτισμού, Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων και Απαλλοτριώσεων, 1983
- Ορλάνδος Α.Κ. & Βρανούσης, Λ., Τα χαράγματα του Παρθενώνος, Ακαδημία Αθηνών, Αθήνα, 1973
- Παπανικολάου, Α. Η αποκατάσταση του Ερεχθείου (1979-1987). Η απόδοση του έργου, Τ.1., Επιστημονική επιμέλεια Μαλλούχου-Τυφάνο Φ., Μπούρας Χ., 2012  
[www.academia.edu/6183876/Anastilonontas to Erechtheion in Greek](http://www.academia.edu/6183876/Anastilonontas_to_Erechtheion_in_Greek)
- Πάσιου, Ερμ., Μελέτη Συνδέσμου Τιτανίου Μορφής Διπλού «Τ» και του Περιβάλλοντος Μαρμάρου υπό Διάτμηση, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ, 2008
- Πάσιου, Ερμ., Σύνδεση δομικών μελών αρχαίων μνημείων με χρήση μεταλλικών ενισχύσεων και κατάλληλων κονιαμάτων: Πειραματική μελέτη με καινοτόμες τεχνικές και αριθμητική προσομοίωση. Διδακτορική διατριβή. ΕΜΠ. ΣΕΜΦΕ. Τομέας Μηχανικής. Εργαστήριο Αντοχής και Υλικών. Αθήνα, 2014
- Πέτσου, Αθ., Αποτίμηση της φθοράς αρχαίων μαρμάρινων επιφανειών με τη χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών. Διπλωματική εργασία. ΕΜΠ. Τμ. Χημικών Μηχανικών. Τομέας ΙΙΙ Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών. Αθήνα, 2015
- Πίττας, Σ., Προσέγγιση δόκιμου Ελληνικού γλωσσαρίου για τον προσδιορισμό εννοιών σχετικών με την φροντίδα των μνημείων. Μνημείο και Περιβάλλον, 2, 183, 1994
- Σάμπας, Κ., Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, Τόμος 3β, ΥΠΠΟ - ΕΣΜΑ, Αθήνα, 1994

- Σοφιανός, Α.Ι., Μη Καταστροφικές Δοκιμές, Σημειώσεις του μαθήματος «Προχωρημένη Μηχανική των πετρωμάτων» για το ΔΠΜΣ ΕΜΠ «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων»
- Τανούλας, Τ., Τα Προπύλαια της Αθηναϊκής Ακρόπολης κατά τον Μεσαίωνα, Αθήνα, 1997
- Τουμπακάρη, Ε., Τεκμηρίωση φέροντος οργανισμού, ανάλυση & ερμηνεία δομικής παθολογίας, μέθοδοι ελέγχου σχεδιασμός επεμβάσεων, συσχετισμός δομικής παθολογίας με τη δράση των συνδετήριων στοιχείων. Μελέτη Δομικής Αποκαταστάσεως Ορθοστατών Βορείου Τοίχου Σηκού Παρθενώνος. Δεκέμβριος 2004 / Ιούλιος 2006, Τομ. 1, 2006
- Τουμπακάρη, Ε., Δομική Παθολογία των Κιονοκράνων και του Θριγκού του Οπισθονάου του Παρθενώνα και ο Ρόλος των Συνδετήριων Στοιχείων. Αθήνα: 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, 2008
- Τράπεζα Νομικών Πληροφοριών ΙΣΟΚΡΑΤΗΣ, Ν. 3387/2005  
[http://www.dsnet.gr/Epikairothta/Nomothesia/n3378\\_05.htm](http://www.dsnet.gr/Epikairothta/Nomothesia/n3378_05.htm)
- Φυλακτός, Ευ., Η αναστήλωση των μνημείων της Ακρόπολης από το 1834 μέχρι σήμερα. [http://filaktos.gr/?dt\\_catalog=%CE%B7](http://filaktos.gr/?dt_catalog=%CE%B7), 2012
- Χαρκιολάκης, Σ., Ειδικά θέματα σχεδιασμού περιβαλλοντικής διαχείρισης ιστορικών συνόλων - Αρχαιολογικά Πάρκα. Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Β' Κατεύθυνση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης. Αθήνα, 2001