

# ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

‘ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ’ – ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ‘ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ’

## ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΝΑΟ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ

**ΓΚΕΡΕΚΟΣ ΧΑΡΙΛΑΟΣ**

ΑΡΧΙΤΕΚΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ

### ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΚΑΘ. Χ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ, ΣΧ. ΑΤΜ ΕΜΠ

ΚΑΘ. Α. ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, ΣΧ. ΧΜ ΕΜΠ



ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016

### **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΠΙΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ:**

ΚΑΘ. Χ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ, ΣΧ. ΑΤΜ ΕΜΠ

ΚΑΘ. Ε. ΚΟΡΡΕΣ, ΣΧ. ΑΜ ΕΜΠ

ΚΑΘ. Α. ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, ΣΧ. ΧΜ ΕΜΠ

Α. ΔΕΛΕΓΚΟΥ, ΔΡ, ΕΔΙΠ ΣΧ. ΧΜ ΕΜΠ

Σ. ΣΟΪΛΕ, ΜSc, ΕΤΕΠ, ΣΧ. ΑΤΜ ΕΜΠ

Σ. ΤΑΠΕΙΝΑΚΗ, ΕΤΕΠ, ΣΧ. ΑΤΜ ΕΜΠ

Ε. ΤΣΙΛΙΜΑΝΤΟΥ, ΜSc, ΑΤΜ, ΥΔ ΣΧ. ΧΜ ΕΜΠ

2

### **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΞΕΤΑΣΗΣ:**

Τ. ΚΑΘ. Μ. ΚΟΡΡΕΣ, ΣΧ. ΑΜ ΕΜΠ

ΚΑΘ. Α. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ, ΣΧ. ΑΤΜ ΕΜΠ

ΚΑΘ. Χ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ, ΣΧ. ΑΤΜ ΕΜΠ

ΚΑΘ. Α. ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, ΣΧ. ΧΜ ΕΜΠ

ΕΠΙΚ. ΚΑΘ. Α. ΜΠΑΚΟΛΑΣ, ΣΧ. ΧΜ ΕΜΠ



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδών του ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» στην κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης». Σκοπός της είναι η χαρτογράφηση των υλικών και των εμφανιζόμενων μορφών φθοράς στο ναό του Ηφαίστου στην Αρχαία Αγορά, στο πλαίσιο Διαγνωστικής Μελέτης, αξιοποιώντας προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του μνημείου και με τη χρήση σχεδιαστικών συστημάτων χωρικής απεικόνισης.

Βασίστηκε στην τρισδιάστατη τοπογραφική τεκμηρίωση του ναού με χρήση επίγειου σαρωτή laser από το εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π με υπεύθυνο τον καθηγητή Χ. Ιωαννίδη. Τα στοιχεία του χαρακτηρισμού των φθορών παρασχέθηκαν από τη συμφοιτήτρια του ΔΜΠΣ Ιωάννα Ντούτση.

Εγινε χαρτογράφηση των επιφανειακών φθορών του μνημείου, την οποία ακολούθησε μια συγκριτική ανάλυση των δεδομένων για να εξαχθούν συμπεράσματα για τους μηχανισμούς που δρουν στις μαρμάρινες επιφάνειές του.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, ευχαριστώ πολύ:

Την Καθ. Α. Μοροπούλου, για την ανάθεση και επιτήρηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας,

Τον Επ. Καθ. Χ. Ιωαννίδη, για την επίβλεψη σε θέματα φωτογραμμετρικών τεχνικών την παροχή τοπογραφικών δεδομένων και την πολύτιμη βοήθειά του.

Την Κ. Δελέγκου και την Ελ. Τσιλιμαντού για την επίβλεψη και την σημαντική βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Την Σ. Σοϊλέ για τις πολύτιμες συμβουλές της σε θέματα φωτογραμμετρίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εργασίας είναι η χαρτογράφηση της φθοράς των μαρμάρινων επιφανειών του ναού του Ηφαίστου ώστε να πραγματοποιηθεί καταγραφή των φθορών που έχουν υποστεί τα δομικά υλικά του μνημείου, υπό την επίδραση των διαφόρων παραγόντων. Πραγματοποιήθηκε σύνταξη δισδιάστατων αρχιτεκτονικών σχεδίων από την υπάρχουσα τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Τελικός σκοπός είναι οι Θεματικοί Χάρτες της παθολογίας που θα προκύψουν από την επεξεργασία αυτή, σε συνδυασμο με δεδομένα εργαστηριακών αναλύσεων και μη-καταστρεπτικών τεχνικών να βοηθήσουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την επιλογή των βέλτιστων επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης στο μνημείο. Ακόμα, να συμβάλλουν στην καταγραφή της παρούσας κατάστασης διατήρησής του και στην παρακολούθηση της εξέλιξης της φθοράς στο χρόνο

Αναλυτικότερα, στο Γενικό Θεωρητικό Μέρος γίνεται μια ανασκόπηση τεχνικών και εφαρμογών φωτογραμμετρικών μεθόδων αποτύπωσης μνημείων και μεθόδων χαρτογράφησης υλικών, ώστε να δοθεί μια ευρύτερη εικόνα των εφαρμοζόμενων τεχνικών

Το Ειδικό Θεωρητικό Μέρος περιλαμβάνει σχετικές με το ναό πληροφορίες και παρατηρήσεις για την αρχιτεκτονική και τις αλλοιώσεις του, ώστε να δοθεί μια συνολική εικόνα της ιστορίας και της παρούσας κατάστασης του μνημείου. Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα για τη συγκέντρωση σχετικών με το ναό του Ηφαίστου ιστορικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων, καθώς και αναζήτηση των καταγεγραμμένων επεμβάσεων στο μνημείο στα αρχεία της Αμερικανικής Σχολής Κλασικών Σπουδών στην Αθήνα και της Εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας. Ακόμα, παρουσιάζεται συνολικά το μάρμαρο ως δομικό υλικό και η παθολογία του αναφορικά με τα μαρμάρινα μνημεία.

Στη συνέχεια, στην ενότητα της Εφαρμογής, παρατίθεται η διαδικασία σχεδιαστικής απόδοσης του ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Αρχικά εκπονήθηκαν αρχιτεκτονικά σχέδια του μνημείου (κάτοψη και διαγράμματα τομών σε κλίμακα 1:100 και 1:50), τα οποία βασίστηκαν στο τελικό (3D τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας) προϊόν της σάρωσης του ναού με επίγειο σαρωτή laser και πολυεικονικές μεθόδους από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ. Τα μέχρι τη στιγμή της έναρξης της εργασίας διαθέσιμα δεδομένα επέτρεψαν τη σχεδιαστική απόδοση και χαρτογράφηση δύο εκ των όψεων του: τη Νότια και την Ανατολική σε κλίμακα 1:50. Σε αυτές χρησιμοποιήθηκαν τα ορθοφωτομωσαϊκά προϊόντα του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας σαν υπόβαθρο σχεδίασης. Το ίδιο έγινε και στις δύο εγκάρσιες τομές, για τις οποίες υπάρχουν επίσης τμηματικά ορθοφωτογραφικά δεδομένα. Επίσης, δοκιμαστικά σε ένα τμήμα του ναού, για την ακριβέστερη σχεδιαστική απόδοση πάνω στο ορθοφωτομωσαϊκό, χρησιμοποιήθηκε στερεοσκοπική προβολή του με χρήση του τρισδιάστατου μοντέλου επιφανείας.

Η επεξεργασία των όψεων και η καταγραφή σε αυτές των απαιτούμενων πληροφοριών ώστε να αποτελέσουν Θεματικούς Χάρτες των Υλικών Δομής και των Φθορών τους βοηθήθηκε από το χαρακτηρισμό και τη διάγνωση της φθοράς του ναού με χρήση ενόργανων και αναλυτικών τεχνικών, που εκπονήθηκε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας στο ΔΠΜΣ από την Ιωάννα Ντούτση (ΧΜ ΕΜΠ)

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της Χαρτογράφησης στην κλίμακα του μνημείου, με αναλυτικό συγκριτικό σχολιασμό των χαρτών υλικών και φθοράς για τις όψεις του ναού και κάποια εσωτερικά τμήματα.

Η εκτεταμένη παρουσία πορτοκαλί επιδερμίδων -καλύπτουν το 15% της ανατολικής και το 26 % της νότιας όψης- χρήζει περαιτέρω ανάλυσης και συνήθως συνδέεται με υγιή υποκείμενη μαρμάρινη επιφάνεια όπου ανιχνεύονται οξαλικά. Συμπεραίνεται ότι η πλέον διαδεδομένη, αλλά λιγότερο αισθητή μορφή φθοράς των όψεων είναι η έντονη ζαχαροποίηση των εκτεθειμένων επιφανειών λόγω της δράσης ατμοσφαιρικών παραγόντων. Πολύ σημαντική είναι η εμφάνιση μαύρων κρουστών στις λιγότερο εκτεθειμένες περιοχές των όψεων, αλλά και στο εσωτερικό του σηκού όπου και εμφανίζονται εκπλυμένες από την κατερχόμενη υγρασία που εισχωρεί από ρηγματώσεις στο βυζαντινό θόλο. Διαπιστώθηκαν επίσης και άλλες γεωμετρικές παραμορφώσεις στην ανωδομή και τις κιονοστοιχίες και εξετάστηκαν περιοχές θερμικής θραύσης .

## ABSTRACT

The main objective of this project is to map the decay patterns visible on the marble surfaces of the Hephaisteion temple, in order to document the miscellaneous forms of decay attributed to various environmental factors. The 2d architectural drawings were drafted based on the existing 3d Geometrical Documentation of the temple, conducted by the Photogrammetry Laboratory of Agronomy and Topography Faculty of NTUA. The goal is to produce Maps of the surface pathology and to correlate them with data acquired by laboratory tests and non-destructive techniques, in order to draw conclusions about the optimal conservation and restoration interventions needed on the monument. Moreover, the maps will contribute to recording its present preservation status, as well as to monitoring the progression of decay through the years.

The First Part includes a general review of photogrammetric techniques and their applications on the geometric documentation and mapping of monuments. The Second Part of this essay deals with the temple of Hephaistos and includes information and observations on its construction, history and present state. It was based on a bibliographic research to collect the relevant historic and architectural data, as well as on the ASCSA's and the Athens Archaeological Society's archives. This part concludes with a general reference to marble as a structural material and its pathology observed in marble monuments.

The Implementation chapter documents the design production process followed in this project. The first step, drafting the architectural drawings (plan and sections at 1:100 and 1:50 scale), was based on the final product (a 3d digital surface model) of the Geometric Documentation of the temple conducted by the Photogrammetry Lab using a laser scanner and multi-image techniques. By the time the present project began, the available data allowed for the design and mapping of two of the facades : the South and East ones at 1:50 scale. The orthophotomosaic imagery of the Photogrammetry Lab helped as a drafting background. The same was done for the two transverse sections, on surfaces for which orthophotographic data were available. In addition, as a test trial on a small part of the temple, a stereo-orthographic projection was implemented, for a more accurate depiction of the relief on the orthophotomosaic image.

6

The processing of the elevation designs into Decay Thematic Maps, was facilitated by the characterisation of decay samples from the temple, as presented on the postgraduate thesis of Ioanna Ntoutsis (ChemEng NTUA)



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<b>1. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>12</b>
	1.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	12
	– ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	14
	– ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	15
	– ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	15
	– ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	16
	– ΔΙΕΙΚΟΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	17
	– ΣΤΕΡΕΟ-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	18
	– ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER	19
	– ΠΟΛΥΕΙΚΟΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	23
	1.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	25
	1.3. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΘΟΡΩΝ ΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΜΕΣΩ ΧΩΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΧΣΠ)	27
	– ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ	28
	– ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	29
	– ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΧΑ (CAD)	30
	– ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ(GIS)	32
	<b>2. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>34</b>
8	2.1. Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ	34
	2.1.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	34
	2.1.2. ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ - ΑΝΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ	36
	2.1.3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	37
	– Α. Ο ΠΕΡΙΒΑΛΛΩΝ ΧΩΡΟΣ	38
	– Β. Η ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	40
	– Γ. ΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ	42
	– Δ. ΤΑ ΛΑΤΡΕΥΤΙΚΑ ΑΓΑΛΜΑΤΑ	46
	– Ε. Ο ΓΛΥΠΤΟΣ ΔΙΑΚΟΣΜΟΣ	48
	– F. Η ΣΤΕΓΑΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	53
	– Γ. ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΟΣ ΝΑΟΣ / ΝΕΟΤΕΡΕΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ	58
	– Η. ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	63
	2.2. ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ	69
	2.2.1. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	69
	2.2.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ	70
	2.2.3. ΤΑ ΜΑΡΜΑΡΑ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ	72
	– ΠΕΝΤΕΛΙΚΟ	72
	– ΠΑΡΙΑΝΟ	74
	2.3. Η ΦΘΟΡΑ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	75
	2.3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΦΘΟΡΑ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ	75
	– Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗ ΦΘΟΡΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	76
	– Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	78
	2.3.2. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΦΘΟΡΕΣ	79
	– ΟΞΙΝΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ (ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ CO <sub>2</sub> )	79



–	ΓΥΨΟΠΟΙΗΣΗ (ΕΠΙΔΡΑΣΗ SO <sub>2</sub> )	80
–	ΦΑΙΟΜΑΥΡΕΣ – ΜΑΥΡΕΣ ΚΡΟΥΣΤΕΣ	81
–	ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΙΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΚΟΝΗΣ	83
2.3.3.	ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ	84
2.3.4.	ΠΑΤΙΝΕΣ-ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ	86
2.3.5.	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	87
2.3.6.	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ	89
<b>3.</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b>	<b>92</b>
3.1.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	92
3.2.	ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	93
3.3.	ΣΥΝΤΑΞΗ ΚΑΤΟΨΕΩΝ-ΤΟΜΩΝ	95
3.4.	ΣΥΝΤΑΞΗ ΟΨΕΩΝ	99
3.5.	ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ	102
–	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ-ΔΟΜΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ	102
–	ΣΤΕΡΕΟ-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΠΙΔΑΣ	104
<b>4.</b>	<b>ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ</b>	<b>106</b>
4.1.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ	106
–	ΚΑΤΟΨΗ	107
–	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	108
–	ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	110
–	ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ Α-Α'	112
–	ΤΟΜΗ Β-Β'	114
–	ΤΟΜΗ Γ-Γ'	116
–	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΕΠΙΣΤΥΛΙΟΥ & ΚΙΟΝΩΝ	118
4.2.	ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	122
–	Α. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΦΘΟΡΕΣ	122
–	Β. ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ	123
–	Γ. ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ	123
–	Δ. ΠΑΤΙΝΕΣ / ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ / ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ	124
4.2.1.	ΛΟΙΠΕΣ ΦΘΟΡΕΣ	126
4.3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	128
4.4.	ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΦΘΟΡΩΝ	130
–	ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 1	132
–	ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 2	134
–	ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 3	136
–	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΦΘΟΡΩΝ	138
–	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 1	140
–	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 2	142
–	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 3	144
–	ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ	144
–	ΤΟΜΗ Β-Β: ΠΡΟΝΑΟΣ	146
–	ΤΟΜΗ Γ-Γ: ΟΠΙΣΘΟΔΟΜΟΣ	148

<b>5.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ / ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ</b>	<b>152</b>
–	ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ / ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	152
–	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ	157
–	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟ-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	160
–	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	160
<b>6.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	<b>163</b>
–	ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	163
–	ΕΙΔΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	165



# 1. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 1.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Τεκμηρίωση μνημείων καλείται η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας, απόδοσης και καταχώρησης στοιχείων για τα μνημεία. Η **γεωμετρική τεκμηρίωση** συγκεκριμένα είναι η καταγραφή της θέσης και της πραγματικής, υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους του μνημείου στο χώρο των τριών διαστάσεων, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Η γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελεί ένα μέρος της συνολικότερης (ιστορικής, αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής, κλπ.) διεπιστημονικών απαιτήσεων τεκμηρίωσης μικρών ή μεγάλων μνημείων, εκτεταμένων συνόλων ή αρχαιολογικών χώρων. Στα πλαίσια της αποτελεσματικής προστασίας τους είναι απαραίτητη η πλήρης αποτύπωση της μορφής τους, αλλά και της εμφανιζόμενης παθολογίας και των **επεμβάσεων** που έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτά, ώστε να σχηματιστεί μια τεκμηριωμένη εικόνα της **σημερινής τους κατάστασης**.

Ήδη η Χάρτα της Βενετίας υπογράμμισε την ανάγκη για εξακριβωμένη τεκμηρίωση των εργασιών συντήρησης, αποκατάστασης και ανασκαφής, με «**αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες**»<sup>1</sup>. Σε μια σειρά μετέπειτα συμβάσεων και καταστατικών Χαρτών διεθνών οργανισμών και επιτροπών (UNESCO, ICOMOS, CIPA), διατυπώνεται η σπουδαιότητα της τεκμηριωτικής καταγραφής των μνημείων συνολικά, των υλικών και της φθοράς τους (γεωμετρικής, φυσικοχημικών χαρακτηριστικών) καθώς και των επεμβάσεων που έχουν υποστεί, πριν την οποιαδήποτε επέμβαση συντήρησης και αποκατάστασης. Τις τελευταίες δεκαετίες ειδικά, αποκτά όλο και μεγαλύτερη βαρύτητα η οργάνωση και διάθεση των δεδομένων που συγκεντρώνονται για τα μνημεία, πριν, μετά αλλά και κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων.

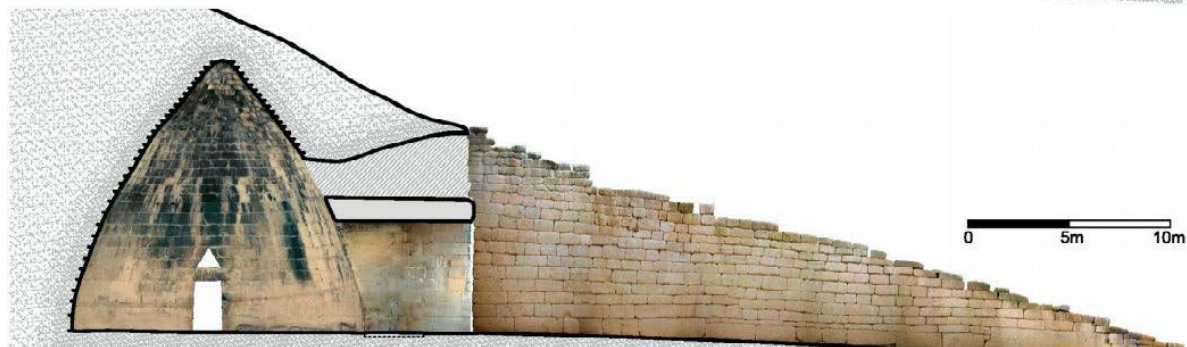
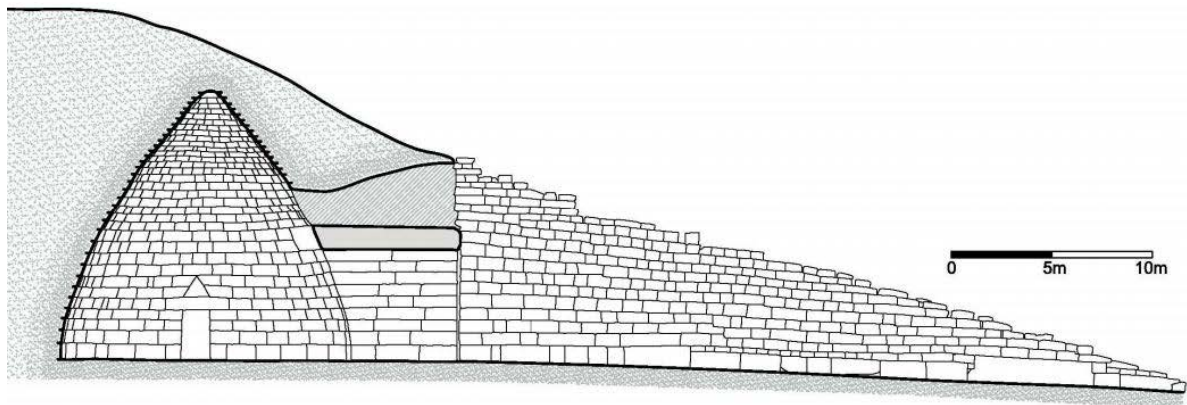
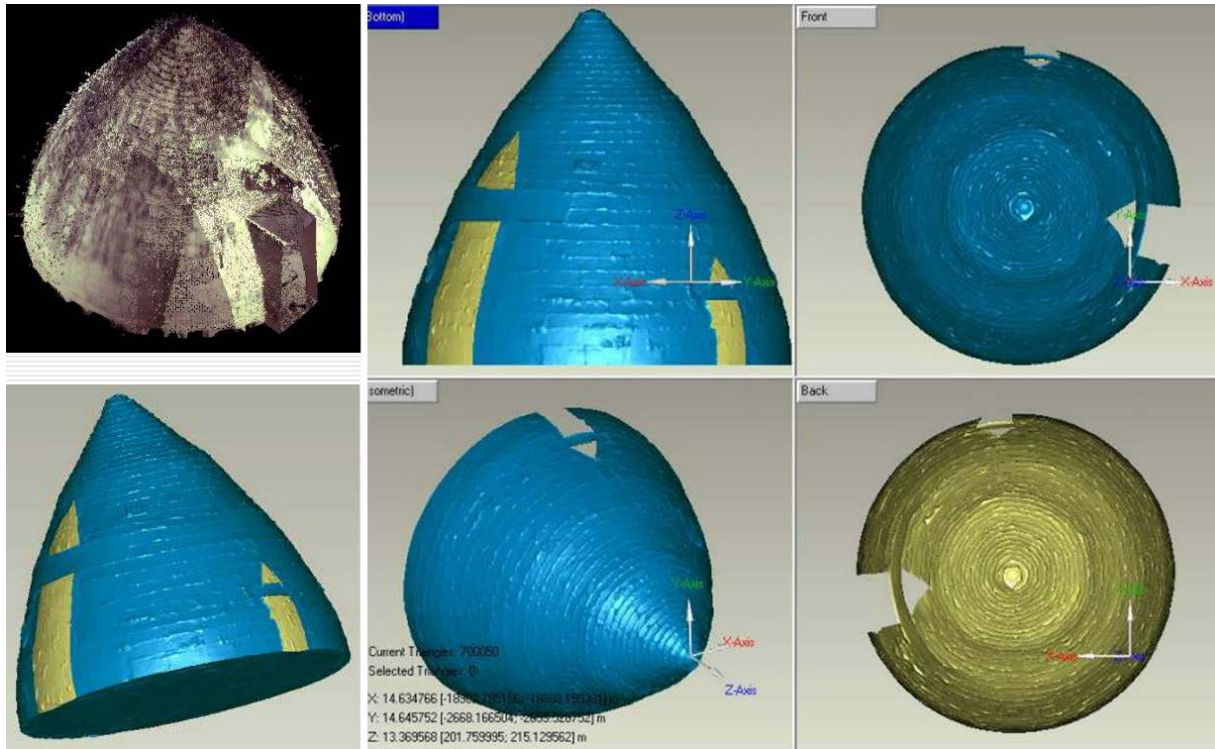
12

Στόχος της γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης και η παραγωγή σχεδίων, που θα αποτελέσουν το κατάλληλο αξιόπιστο **υπόβαθρο** για τους ειδικούς που συνεργάζονται στη μελέτη προστασίας ενός μνημείου (αρχιτέκτονες, χημικοί μηχανικοί, πολιτικοί μηχανικοί, συντηρητές και αρχαιολόγοι) καθώς και συγκριτικό υλικό για μελλοντική χρήση. Η **επιλογή της μεθόδου** που θα εφαρμοστεί στη γεωμετρική τεκμηρίωσή του εξαρτάται από συνδυασμό πολλών παραγόντων, που σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά και η επιλογή τους να αξιολογείται μετέπειτα. Κρίσιμος παράγοντας είναι η βαρύτητα του μνημείου, καθώς επίσης το είδος και η έκταση των επεμβάσεων που θα εφαρμοσθούν για συντήρηση ή και ανάδειξή του. Αυτό θα καθορίσει τις προδιαγραφές ακριβείας και το είδος των προϊόντων που απαιτούνται.

Η σύγχρονη πρακτική στη Γεωμετρική Τεκμηρίωση μνημείων είναι ένας **συνδυασμός των τοπογραφικών μετρήσεων** (καθορισμός σημείων στον τρισδιάστατο χώρο), των **φωτογραμμετρικών διαδικασιών** & προϊόντων (Διανυσματικά σχέδια 2D ή 3D, Εικονιστικά (2D), Video και Ρεαλιστικές οπτικοποιήσεις) και των επίγειων σαρωτών **laser** (Νέφη μεγάλου πλήθους σημείων στο χώρο, Τρισδιάστατα μοντέλα), τεχνικές που ο συνδυασμός τους επιφέρει αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας και πλήρως ελεγχόμενης αποτύπωσης των μνημείων. Τα ποικίλα ανομοιογενή στοιχεία που παράγονται και συλλέγονται -όπως φωτογραφίες, σκαριφήματα, σημειώσεις, τοπογραφικές μετρήσεις, συντεταγμένες, διανυσματικά σχέδια κ.ά. - απαιτούν ιδιαίτερη διαχείριση. Αυτή γίνεται συχνά με τη δημιουργία βάσης δεδομένων, η οποία θα μπορεί να οργανώνει όλα τα στοιχεία και τις πληροφορίες που απαιτούνται και να μετατρέπει τα ανομοιογενή αυτά δεδομένα σε διαχειρίσιμη πληροφορία. Για παράδειγμα, για τον αρχαιολογικό χώρο των Μυκηνών έχει δομηθεί ένα σύστημα πληροφοριών, του οποίου η βάση δεδομένων περιλαμβάνει: τα προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης τμημάτων του, κείμενα από ιστορικές πηγές, φωτογραφίες και ψηφιακές εικόνες, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και video<sup>2</sup>.

1 Venice Charter 1964, Άρθρο 16

2 Ιωαννίδης Χ., Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β' Κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης», Συστήματα Πληροφοριών για Μνημεία



Θησαυρός του Ατρέα, Μικήνες. Συνδυασμός τεχνικών: επίγειες φωτογραφίες, τοπογραφικές μετρήσεις, φωτογραμμετρικές διαδικασίες (αναγωγές, ορθοφωτογραφίες, στερο-αποδόσεις), σαρώσεις με Laser Scanner, για την παραγωγή διδιάστατων και τρισδιάστατων εικονιστικών και σχεδιαστικών προϊόντων

## ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Παλαιότερα, η γεωμετρική καταγραφή ενός μνημείου αποτελούσε αρμοδιότητα κυρίως των αρχαιολόγων και των αρχιτεκτόνων. Τις τελευταίες δεκαετίες, ποικίλες τεχνολογικές εξελίξεις δίνουν τη δυνατότητα στις φωτογραμμετρικές και τοπογραφικές τεχνικές να παράγουν τεκμηριωτικά παράγωγα και τελικά προϊόντα, που καλύπτουν πλήρως τις όποιες απαιτήσεις ακρίβειας και πληρότητας, ανεξαρτήτως κλίμακας και τρόπου απεικόνισης. Προσφέρονται έτσι νέα εργαλεία και δυνατότητες στους ειδικούς των επεμβάσεων συντήρησης και ανάδειξης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Νέες τεχνολογίες και μέθοδοι εμπλουτίζουν με ταχείς ρυθμούς, σε επίπεδο οργάνων και λογισμικού, όλα τα στάδια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, από τη συλλογή των δεδομένων μέχρι την παραγωγή των τελικών προϊόντων. Τα τελευταία χρόνια η πληθώρα λογισμικών τρισδιάστατης σχεδίασης και η απλοποίηση-αυτοματοποίηση των πολυεικονικών τεχνικών κάνουν πιο προσιτή την παραγωγή τεκμηριωτικών προϊόντων και από χρήστες μη εξειδικευμένους ή δίχως ιδιαίτερα εξεζητημένο εξοπλισμό.

Η εισαγωγή των σαρωτών laser από τα τέλη της δεκαετίας του '90 και λίγο αργότερα ο συνδυασμός τους με ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές υψηλής ανάλυσης άνοιξε νέους ορίζοντες και διεύρυνε τις απαιτήσεις των χρηστών. Ξεκίνησαν να παράγονται εικονιστικά προϊόντα που συνδυάζουν τη γεωμετρική ακρίβεια του σχεδίου με την οπτική (ποιοτική) πληροφορία της φωτογραφίας, όπως ορθοφωτογραφίες, αναπτύγματα, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις, φωτορεαλιστικές οπτικοποιήσεις ή διαδραστικές εικονικές περιηγήσεις<sup>3</sup>. Παράλληλα δημιουργούνται νέες απαιτήσεις για αποτελεσματική και αυτοματοποιημένη διαχείριση τεραστίων ποσοτήτων τρισδιάστατων δεδομένων ακριβείας, μοντελοποίησή τους ή/και ένταξή τους σε (Αρχαιολογικά) Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών<sup>4</sup>.

Από την πληθώρα των προσφερόμενων εργαλείων και τεχνικών θα πρέπει κάθε φορά να επιλέγεται αυτό που είναι επιστημονικά (αλλά και οικονομοτεχνικά) καταλληλότερο για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, συνυπολογίζοντας πάντα τις απαιτήσεις σε ακρίβεια, την πολυπλοκότητα του αντικειμένου και το κόστος.

### SUMMARY TABLE OF METRIC SURVEY TECHNIQUES

TECHNIQUE	PRODUCT	TYPICAL APPLICATION	SUBJECT SIZE	CONSTRAINTS ON USE	
<b>INDIRECT TECHNIQUES: UNDIFFERENTIATED DATA AT CAPTURE:</b>					
REMOTE SENSING	3D	Wide area landscape records	Landscape monitoring, water content, mineral reflectance and vegetation health mapping etc.	1-1500Km <sup>2</sup>	Dependant on wave band, will not resolved down to centimetric precision in most cases.
AIRBORNE LASER SCANNING	3D	Topographic mapping	Landscape mapping and monitoring	1-500Km <sup>2</sup>	Post spacing at sub-metre resolution is costly.
AERIAL PHOTOGRAMMETRY	3D				Co-ordinated flight plan and ground control.
TERRESTRIAL LASER SCANNING	3D	Point clouds, Surface models	Building models and drawings	5-500m <sup>3</sup>	Point density must be matched to required information outcome. Congruent image capture needed.
CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY	3D	Photo-maps, CAD drawings, ante-disaster records	Architectural façade drawings, Orthophotos, stereo pairs, surface models,	2-100m <sup>3</sup>	Calibrated camera, optimised image capture, object area control, processing software and operator skill.
RECTIFIED PHOTOGRAPHY	2D	Condition records	Records of flat facades	2-50m <sup>2</sup>	Only single reference plane scalable.
ARTEFACT SCANNER	3D	Point-clouds, surface models	Sculpture relief carving etc	1-5m <sup>3</sup>	Controlled environment required.
<b>DIRECT TECHNIQUES: DATA SELECTED AT CAPTURE:</b>					
G P S	3D	Topographic mapping, point data	Landscape surveys, inventory mapping primary orientation to global co-ordinate system	1-20Km <sup>2</sup>	Open sky needed. Height precision can be a problem.
TOTAL STATION/ E D M	3D	CAD wire-frames, Point data	Topographic mapping, Building plans & sections. Precise control networks measurements	0.5-50m <sup>3</sup>	Data organisation is needed by code, layer or GIS protocol, trained operators are required.
LEVELLING	2D	Discrete point height monitoring	Precise height points	1-50m	Structural engineers selected diagnostic points measured for movement monitoring.
DRAWING	2D	Key detail records, explanatory diagrams	Structural notes, architectural definition, excavation records	0.25-5m <sup>3</sup>	Selection of information based on subjective domain knowledge.

Τεχνικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης, εφαρμογές, χαρακτηριστικά και περιορισμοί (πηγή: CIPA, Metric Survey for Heritage documentation)

3 Tsilimantou et al., 2014

4 Ιωαννίδης Χ. Σοϊλέ Σ., Μπουρεξής Φ., Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση Μνημείων Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Μια προσέγγιση γεωμετρικής τεκμηρίωσης προσφορότερη των συμβατικών; Ανακοίνωση στο πανελλήνιο συνέδριο Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς EuroMed, 2015

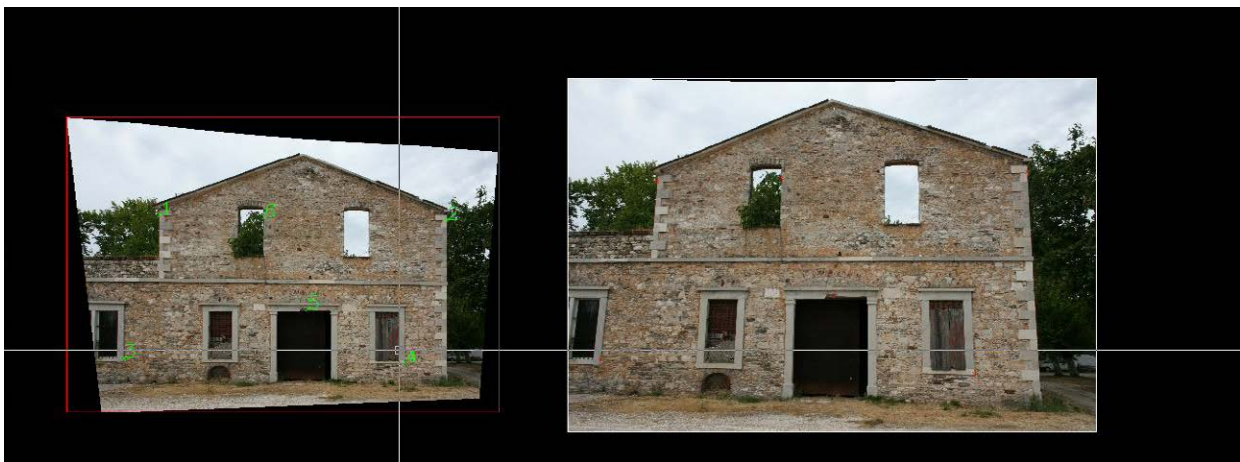
## ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές προσφέρουν τη δυνατότητα εξαγωγής μετρητικής πληροφορίας δίχως φυσική επαφή με το αντικείμενο αποτύπωσης, μέσω φωτογραφιών που προσεγγίζονται γεωμετρικά με το μοντέλο της κεντρικής προβολής από ένα σημείο θέασης στο χώρο. Μέσω γεωμετρικών διαδικασιών προσδιορίζονται στο χώρο οι γεωδαιτικές συντεταγμένες επιλεγμένων εικονοστοιχείων (pixels) της φωτογραφίας<sup>5</sup>.

Μπορούμε να εξάγουμε δισδιάστατη πληροφορία είτε από μια μόνο φωτογραφία (μονοσκοπική μέθοδος), είτε με χρήση επικαλυπτόμενων ζευγών εικόνων (δισεικονική)<sup>6</sup>. Στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων, συνόλων και αρχαιολογικών χώρων οι συνηθέστερες τεχνικές που εφαρμόζονται είναι η ορθο-αναγωγή και η στερεο-απόδοση.

## ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Αναγωγή ονομάζεται η διαδικασία με την οποία σημεία που βρίσκονται εντός ενός επιπέδου (καταγραφόμενη επιφάνεια) με τη βοήθεια της κεντρικής προβολής προβάλλονται σε ένα άλλο επίπεδο (επίπεδο αναφοράς), με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστή η σχέση που υπάρχει ανάμεσά τους. Η αναγωγή απαλείφει τις παραμορφώσεις που οφείλονται στην κλίση του επιπέδου λήψης σε σχέση με την επιφάνεια, δίνοντας μια προβολική εικόνα της. Αυτή η τεχνική λοιπόν βρίσκει εφαρμογή μόνο σε επίπεδες επιφάνειες: όψεων κτιρίων, ανασκαφών, μωσαϊκών<sup>7</sup>. Πλέον οι διαδικασίες αναγωγής είναι πλήρως αυτοματοποιημένες και απαιτούν λιγότερα επί τόπου μετρητικά στοιχεία.



[Πηγή: Β. Τσιούκας, [blogs.auth.gr/tsioukas](https://blogs.auth.gr/tsioukas)]

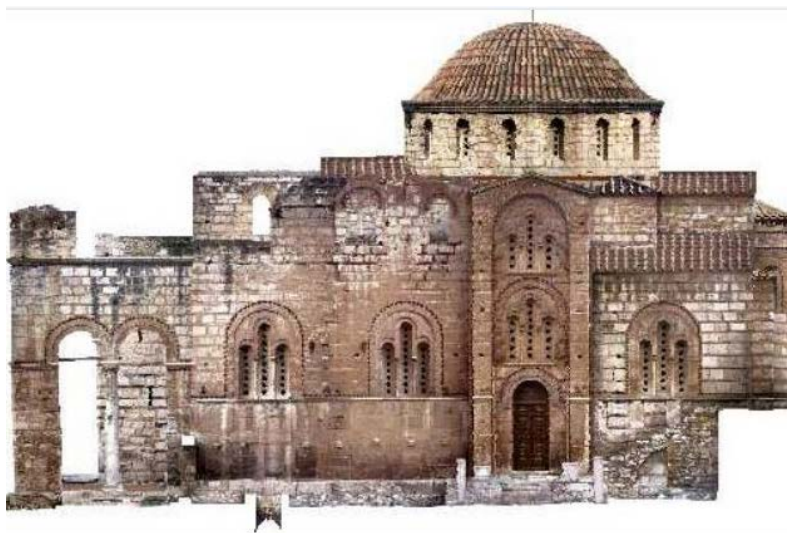
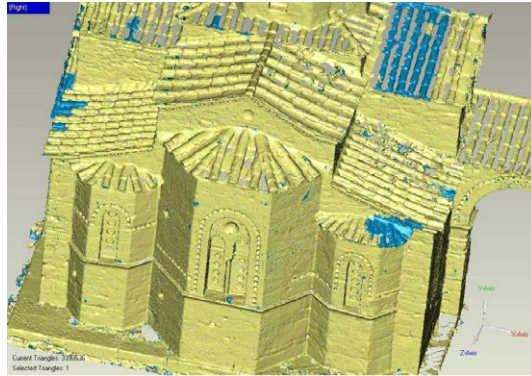
5 Πέτσα Ε., Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας, Σημειώσεις, Αθήνα 2000

6 Ιωαννίδης Χ. Σοϊλέ Σ., Μπουρεζής Φ., Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση Μνημειων Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Μια προσέγγιση γεωμετρικής τεκμηρίωσης προσφορότερη των συμβατικών;, Ανακοίνωση στο πανελλήνιο συνέδριο Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς EuroMed, 2015

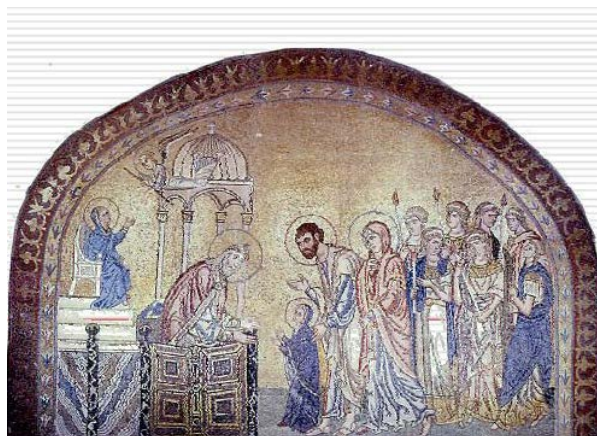
7 Πατιάς Π., Φωτογραμμετρία και Τεκμηρίωση Αρχαιολογικών Χώρων και Ευρημάτων

## ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Η Ορθοφωτογραφία είναι ένα πολύ χρήσιμο φωτογραμμετρικό προϊόν για την εξαγωγή 2d πληροφορίας τεκμηρίωσης, ιδιαίτερα για μη-επίπεδες και γεωμετρικά περίπλοκες επιφάνειες μνημείων. Πρόκειται για μία ορθή προβολή της συνολικής επιφάνειας του μνημείου, στην οποία πέρα από τα σφάλματα εξαιτίας της κλίσης του επιπέδου λήψης, έχουν εξαλειφθεί και οι αποκλίσεις από την ορθή προβολή που οφείλονται στο ανάγλυφό του. Για τη διαδικασία αυτή, χρησιμοποιείται το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (εικ.πάνω), το οποίο και περιέχει την πληροφορία του αναγλύφου-δομής στο χώρο.



16

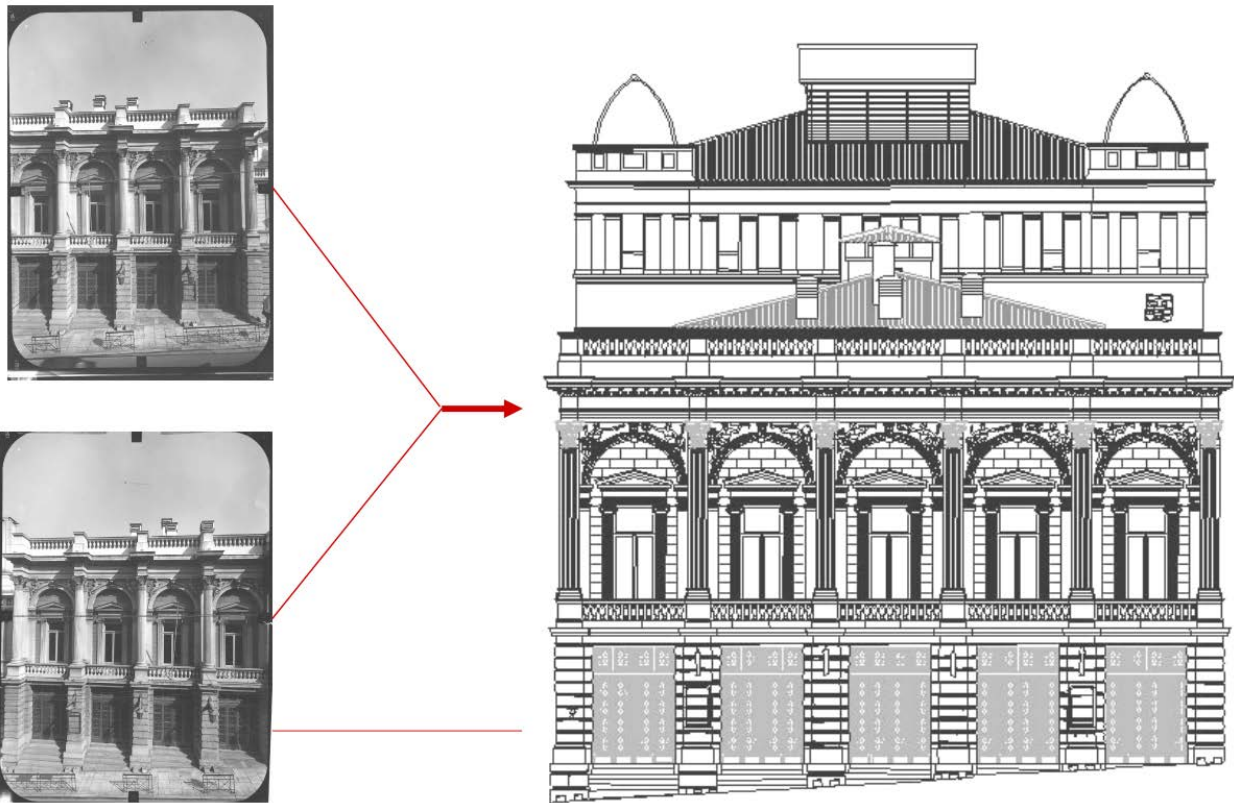


Εφαρμογή στο Καθολικό της Μονής Δαφνίου. 3dμοντέλο / Ορθοφωτογραφία όψης σε κλίμακα 1:25 και ψηφιδωτών κλίμακας 1:5<sup>8</sup>



## ΔΙΕΙΚΟΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Η σχεδιαστική ψηφιοποίηση σχετικά επίπεδων στοιχείων από φωτογραφικά δεδομένα, επιτυγχάνεται με τη χρήση στερεοζευγών. Ένα στερεοζεύγος αποτελείται από δύο φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου, οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικά σημεία του χώρου και έχουν υψηλό ποσοστό επικάλυψης. Στην επικαλυπτόμενη περιοχή (στερεομοντέλο) μπορούμε να πάρουμε τρισδιάστατη πληροφορία αφού οι φωτογραφίες προσανατολιστούν, τόσο μεταξύ τους ώστε να αποκατασταθούν οι ίδιες συνθήκες προβολής (σχετικός προσανατολισμός), όσο και στο χώρο (απόλυτος). Το στερεοζεύγος δίνει την αίσθηση στερεοσκοπικής όρασης της επιφάνειας και μέσω αυτής μπορούν να αποδοθούν γραμμικά προϊόντα όψεων και τομών.

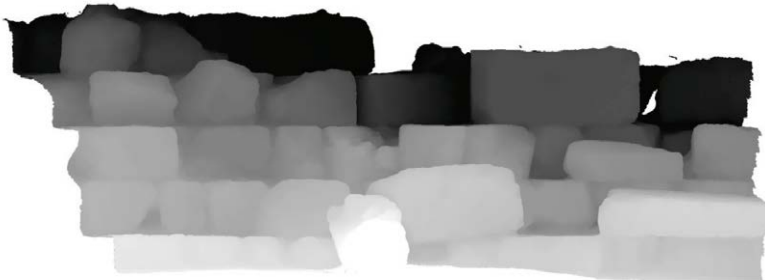


Γραμμικό σχέδιο όψης κτιρίου Εθνικού Θεάτρου, Αθήνα<sup>9</sup>

9 Ιωαννίδης Χ., «Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων και Χαρτογράφηση Υλικών και Φθοράς», Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», ΕΜΠ, Αθήνα.

## ΣΤΕΡΕΟ-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Για πιο περίπλοκης γεωμετρίας αντικείμενο τεκμηρίωσης, ένας συνδυασμός των τεχνικών της ορθοφωτογραφίας με τη στερεοσκοπική απόδοση μπορεί να αποφέρει καλύτερη κατανόηση και σχεδιαστική καταγραφή των γεωμετρικών του λεπτομερειών -όπως ακμές και απώλεια υλικού. Η στερεο-επισκόπηση του αντικειμένου και η κατανόησή του στο χώρο, συνδυάζεται έτσι με την υψηλή ακρίβεια που δύνανται να έχουν τις τελευταίες δεκαετίες οι ορθοφωτογραφίες. Για την απόκτηση του στερεοζεύγους, με βάση την αρχική ορθοφωτογραφία και μέσω των πληροφοριών του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας για την τρίτη διάσταση, συντίθεται μια δεύτερη εικόνα. Συνδυαζόμενες αυτές οι δύο, επιτρέπουν τη στερεοσκοπική παρατήρηση<sup>10</sup>.



Εφαρμογή της μεθόδου σε τμήμα αρχαίου τείχους με έντονο ανάγλυφο 2.6 μέτρων, μέσω της εφαρμογής OSM που ανέπτυξε το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών. Από πάνω προς τα κάτω: Η αρχική ορθοφωτογραφία διαστάσεων περίπου 6.000\*2.000 pixels / Απεικόνιση του «βάθους» μέσω του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας / η δεύτερη εικόνα του στερεοζεύγους που συνέθεσε η εφαρμογή / στερεοσκοπική απόδοση σε κυανό-ερυθρό

## ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER

Την τελευταία εικοσαετία η χρήση των επίγειων σαρωτών Laser στην τεκμηρίωση των μνημείων και αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς, έχει επηρεάσει συνολικά τις εφαρμοζόμενες μεθοδολογίες γεωμετρικής τεκμηρίωσής τους, αλλά και την ποικιλία παραγομένων προϊόντων. Στα θετικά της μεθόδου συγκαταλέγονται η ταχύτητα, η υψηλή ακρίβεια-αξιοπιστία και η σχετικά απλοποιημένη επεξεργασία των δεδομένων. Το κύριο μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού σε όργανα αλλά και λογισμικά επεξεργασίας 3D δεδομένων. Τεχνολογικές εξελίξεις στον εξοπλισμό μετριάζουν τη μικρότερη ευελιξία της σάρωσης στη συλλογή των πληροφοριών -σε σύγκριση με τη λήψη εικόνων για εφαρμογή πολυεικονικών μεθόδων (βλ. ακολουθη ενότητα)

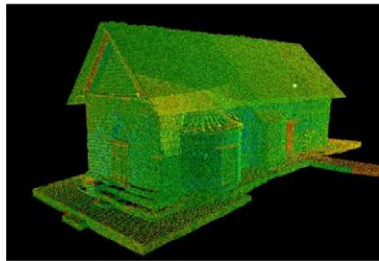
Οι επίγειοι σαρωτές laser συλλέγουν σημειακά χωρικά μετρητικά δεδομένα από απόσταση, μέσω της αποστολής και λήψης δεσμών laser, με πυκνότητα που ορίζεται από τις ανάγκες ακρίβειας της τεκμηρίωσης και ανακατασκευάζουν την κατανομή των σημείων στον τρισδιάστατο χώρο. Σαν αποτέλεσμα, παράγεται ταχύτατα ένα νέφος μετρητικών σημείων (pointcloud ή DDSM – Dense Digital Surface Model) το οποίο δύναται να έχει επιπλέον και χρωματική πληροφορία ανά σημείο -σε μεθόδους που συνδυάζουν σαρωτή με φωτογραφική μηχανή<sup>11</sup>. Ακολούθως, με την κατάλληλη επεξεργασία: μείωση θορύβου, γεωαναφορά, τριγωνισμός σημείων για δημιουργία επιφάνειας, μπορούν να προκύψουν πολύ λεπτομερή 3D μοντέλα του μνημείου και ακολούθως δισδιάστατα γραμμικά προϊόντα κατόψεων, όψεων και τομων ή τρισδιάστατες αναπαραστάσεις του.

Οι κατηγορίες σαρωτών laser που χρησιμοποιούνται στην τεκμηρίωση μνημείων είναι οι ακόλουθοι<sup>12</sup>:

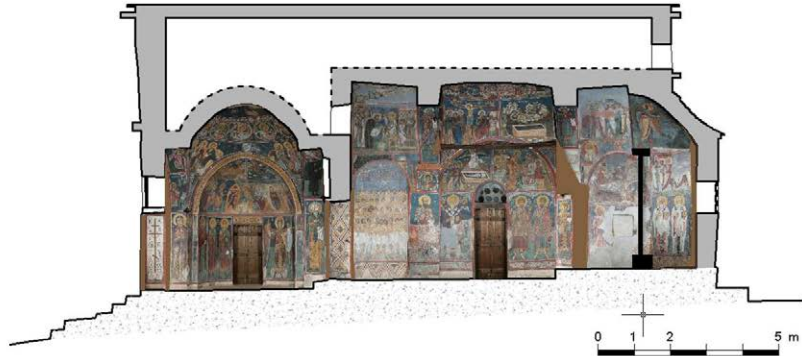
<sup>11</sup> Ιωαννίδης Χ. et.al., EuroMed,2015

<sup>12</sup> Ιωαννίδης Χ., Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ

- Σαρωτές **time-of-flight**, οι οποίοι μετρούν τη χρονική διαφορά μεταξύ εκπομπής και λήψης του σήματος. Χρησιμοποιούνται για μεγάλες αποστάσεις σάρωσης της τάξης εκατοντάδων μέτρων ή ακόμα και χιλιομέτρων, επιτυγχάνοντας μέγιστη ακρίβεια της τάξης των 5 χιλ



20

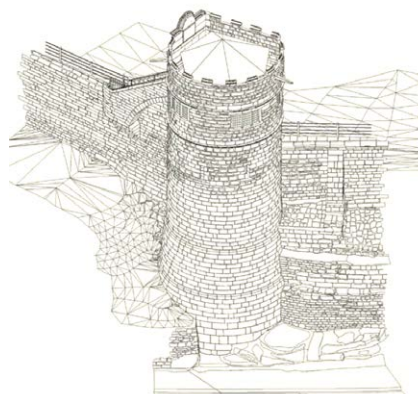


Βυζαντινή εκκλησία Παναγίας Ασίνου στην Κύπρο, στην οποία παράχθηκαν ορθο-αναγμένες εικόνες των όψεων και οψο-τομές, απο το τρισδιάστατο μοντέλο επιφάνειας της σάρωσης σε συνδυασμό με εικονιστικά δεδομένα του ναού.

- Σαρωτές διαφοράς φάσης, οι οποίοι μετρούν τη διαφορά φάσης μεταξύ εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος. Έχουν μέση εμβέλεια δεκάδων μέτρων, μεγάλη ταχύτητα λήψης του νέφους σημείων (περισσότερα από **1.000.000** σημεία ανά δευτερόλεπτο) και ακρίβεια της τάξης χιλιοστού.



21



Tamworth Castle, Staffordshire και Chester city walls 10<sup>ου</sup> αι. (δεξιά)

Πηγή: 3D Laser Scanning for Heritage- Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture, English Heritage, 2011

- Σαρωτές τριγωνισμού του σήματος μέσω ενός ή δύο φωτοαισθητήρων CCD, χρησιμοποιούνται για μικρές αποστάσεις σάρωσης ταξης λίγων μέτρων, αλλά επιτυγχάνουν ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια (0.1 χιλ). Είναι ιδανικοί για 3D μοντελοποίηση μικρών και σύνθετων αντικειμένων (αγαλμάτων, διακοσμητικών στοιχείων κ.α.)



**Minolta VI-910**

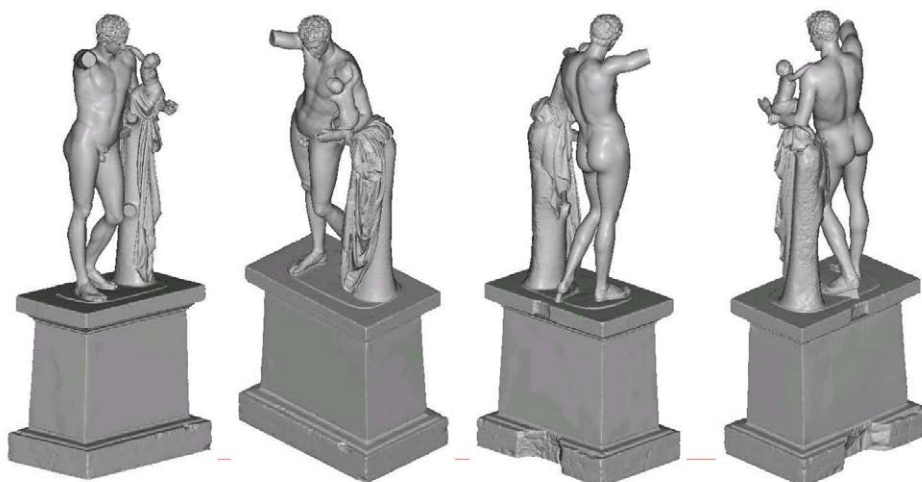
Βεληνεκές: 0.6 ÷ 1.2 m



**VIVID 9i**



22



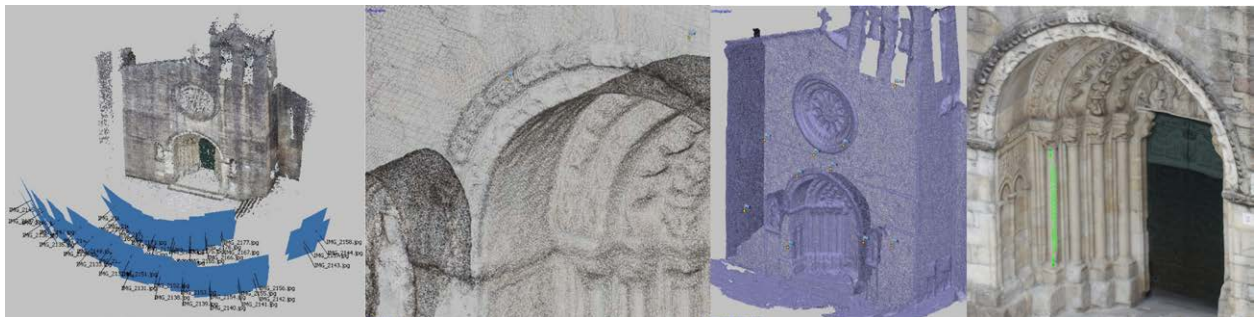
Τρισδιάστατη σάρωση αγάλματος Ερμή του Πραξιτέλη

## ΠΟΛΥΕΙΚΟΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Μια κατηγορία τεχνικών που γνωρίζει τελευταία μεγάλη άνθιση με πληθώρα εφαρμογών στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων είναι η τρισδιάστατη μοντελοποίηση με χρήση πολλαπλών φωτογραφιών [MVS: Multi View Stereo]. Για την ανακατασκευή ενός λεπτομερούς μετρητικού 3d μοντέλου του μνημείου απαιτούνται ευκρινείς και υψηλής ποιότητας φωτογραφίες, που παρέχουν πολλαπλή κάλυψη του από διάφορες οπτικές γωνίες, με μεταξύ τους αλληλοεπικάλυψη άνω του 80%. Τέτοιες εικόνες μπορεί να έχουν ληφθεί από προκαθορισμένες ή πιο αυθαίρετες θέσεις αρκεί να πληρούν κάποιες βασικές προϋποθέσεις (γωνία λήψης, συνθήκες φωτισμού, ευκρίνεια). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της πολυεικονικής μεθόδου είναι ότι δεν απαιτείται υψηλό κόστος εξοπλισμού και χειρισμού και ότι μπορεί να εφαρμοστεί από χρήστες διαφόρων ειδικοτήτων, οι οποίοι δε διαθέτουν εξειδικευμένες γνώσεις και με λογισμικό σχετικά χαμηλού κόστους ή ελεύθερα διαθέσιμο και τροποποιήσιμο (open source)<sup>13</sup>

Η διαδικασία χωρίζεται σε 3 βασικά βήματα:

1. Προσδιορίζεται ο εσωτερικός και ο σχετικός προσανατολισμός των εικόνων (με όρους συμβατικής φωτογραμμετρίας), εντοπίζονται αυτόματα ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία κοινά μεταξύ αλληλοεπικαλυπτόμενων εικόνων. Έτσι υπολογίζονται οι θέσεις λήψης των εικόνων στο χώρο και η γεωμετρία του μνημείου και δημιουργείται ένα πρώτο αραιό νέφος σημείων.
2. Το νέφος σημείων πυκνώνει με υπολογισμό των 3D χωρικών συντεταγμένων για κάθε ένα pixel εικόνας. Το πολύ πυκνό νέφος σημείων που προκύπτει, καλύπτει όλα τα τμήματα του μνημείου που απεικονίζονται σε τουλάχιστον τρεις φωτογραφίες.
3. Στο τελευταίο στάδιο παράγεται το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου ως συνεχής επιφάνεια -συνήθως με τη μορφή τριγώνων. Για να οπτικοποιηθεί καλύτερα το μνημείο, το μοντέλο επιφάνειας μπορεί να εμπλουτιστεί με χρωματική πληροφορία από τις φωτογραφίες, δίνοντάς του μια «υφή» που αποτυπώνει τις συνθήκες φωτισμού και σκίασης των επιφανειών κατά τη λήψη δεδομένων.



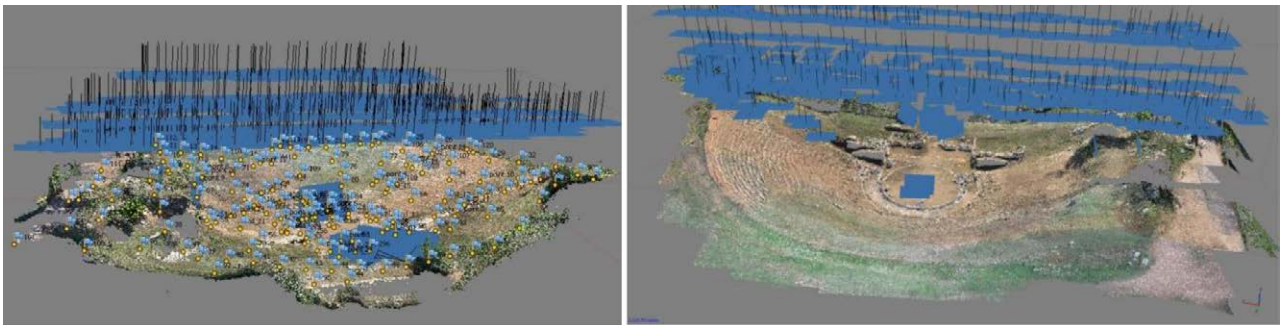
Αραιό νέφος σημείων με τις θέσεις λήψης / κοντινή άποψη του πυκνού νέφους σημείων/ μοντέλο επιφάνειας/ μοντέλο με «υφή»  
Πρόσοψη της Santa María de Azogue, Ισπανία <sup>14</sup>

13 όπως τα SURE, VSfM, PMVS, Bundler, MicMac, MeshLab

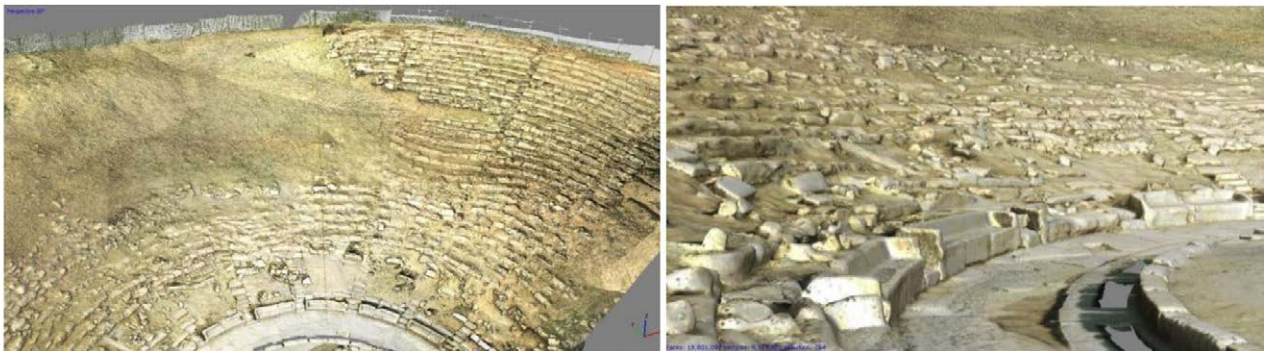
14 Robleda Prieto G., Pérez Ramos A, Modeling and Accuracy Assessment for 3d-Virtual Reconstruction in Cultural Heritage using low-cost Photogrammetry: Surveying of the “Santa María Azogue” Church’s Front, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4, 2015

Πέρα από το ίδιο το τρισδιάστατο μοντέλο, σαν τελικά προϊόντα μπορούν να παραχθούν και συμβατικά δισδιάστατα σχέδια, αλλά και άλλα εικονιστικά προϊόντα όπως φωτορεαλιστικές αναπαραστάσεις, βίντεο και εφαρμογές εικονικής περιήγησης. Όπως ισχύει και με τα μοντέλα που προκύπτουν από σάρωση με *laser*, για αυτό το στάδιο απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία της γεωμετρίας και των φωτογραφικών δεδομένων μέσω εξειδικευμένων λογισμικών τρισδιάστατου σχεδιασμού και φωτορεαλιστικής απόδοσης (*rendering*).

Η αξιοπιστία της μεθόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των πρωτογενών δεδομένων και τη μετέπειτα επεξεργασία τους. Θέση, τρόπος λήψης, ανάλυση και ποιότητα των εικόνων, το χρησιμοποιούμενο λογισμικό, αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, Εντούτοις, πλέον η ακρίβεια αυτών των τεχνικών συναγωνίζεται αυτήν της σάρωσης με *laser* με επιπλέον ταχεία συλλογή δεδομένων και αυτοματοποιημένη διαδικασία επεξεργασίας τους.



Εικόνα 9: Θέσεις λήψεως και προσανατολισμός των εικόνων, που λήφθηκαν με UAV και επίγεια

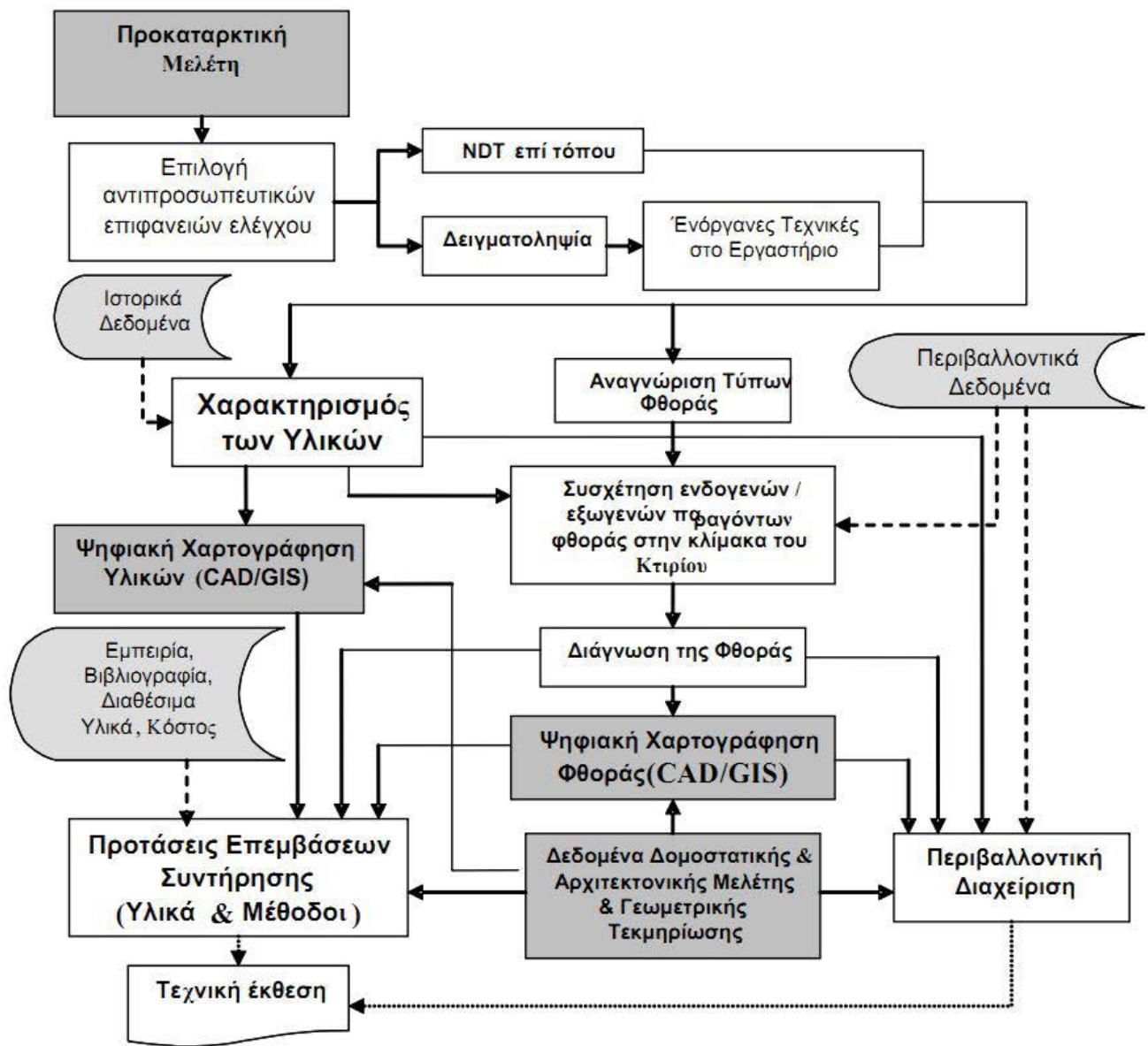


Γεωμετρική τεκμηρίωση αρχαίου θεάτρου, έκτασης περίπου 5 στρεμμάτων, από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ. Έγινε λήψη περίπου 500 εικόνων, επίγειων και εναέριων με UAV από ύψη 12- 26 μ., ενώ μετρήθηκαν και άνω των 50 προσημασμένα φωτοσταθερά σημεία. Στη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε και *laser* σάρωση του θεάτρου με σαρωτή *time-of-flight*. Συντάχθηκαν συμβατικά δισδιάστατα εικονιστικά σχέδια κάτοψης, τομών και όψεων, σε κλίμακα 1:50.



## 1.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ένα πρώτο βήμα για την αποτελεσματική προστασία ενός μνημείου πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι η σύνταξη μιας ολοκληρωμένης διεπιστημονικής Διαγνωστικής Μελέτης των δομικών υλικών του και της φθοράς τους. Από αυτή θα προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για την κατάσταση διατήρησης του κτιρίου/μνημείου και θα αποτελέσει τη βάση σχεδιασμού των όποιων επεμβάσεων πραγματοποιηθούν σε αυτό. Οι επεμβάσεις οφείλουν να γίνονται σύμφωνα με τους διεθνείς κανόνες και οδηγίες που έχουν θεσπιστεί μέχρι τη στιγμή της μελέτης, να ελέγχονται οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν και η αναστρεψιμότητά τους.



Στάδια Υλοποίησης της Διαγνωστικής μελέτης των υλικών

Στο αρχικό στάδιο της Διαγνωστικής Μελέτης, πρέπει να γίνει μια πρώτη γενική ιστορική και βιβλιογραφική τεκμηρίωση, χρήσιμη για να διαθέτουν όλοι οι κλάδοι των μελετητών μια προκαταρκτική εικόνα του μνημείου. Αυτή θα συμπληρωθεί με επί τόπου παρατηρήσεις και πρόχειρα σκαριφήματα – μια πρώτη γεωμετρική καταγραφή, επαρκές υπόβαθρο για τις σχετικές σημειώσεις, ώστε να συνταχθεί μια προκαταρκτική μελέτη υλικών και πιθανών μηχανισμών φθοράς. Με αυτήν υπόψιν, επιλέγονται οι αντιπροσωπευτικές επιφάνειες ελέγχου, στις οποίες θα λάβουν χώρα η εφαρμογή των μη καταστρεπτικών τεχνικών και η δειγματοληψία. Η εφαρμογή μη καταστρεπτικών ελέγχων είναι απαραίτητη γιατί καθιστά εφικτή μια πιο περιορισμένη δειγματοληψία και ενίοτε βοηθά και στη λήψη πιο αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο όπου εφαρμόζονται οι ενόργανες τεχνικές.

Μετά την επεξεργασία όλων των ληφθέντων αποτελεσμάτων από τις μη καταστρεπτικές και ενόργανες τεχνικές, είναι εφικτός ο χαρακτηρισμός των υλικών ενός εξεταζόμενου μνημείου, καθώς και η αναγνώριση των τύπων φθοράς που αυτό παρουσιάζει. Για τον ολοκληρωμένο χαρακτηρισμό των υλικών, είναι πιθανή η χρήση δεδομένων που προέκυψαν από την ιστορική τεκμηρίωση, σχετικά με τα αυθεντικά υλικά, καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης / αποκατάστασης.

Τα περιβαλλοντικά δεδομένα, τα οποία έχουν συλλεχθεί κατά το πρώτο στάδιο της τεκμηρίωσης, σε συνδυασμό με το χαρακτηρισμό των υλικών, καθώς και την αναγνώριση των τύπων φθοράς τους δίνουν τη δυνατότητα της συσχέτισης των ενδογενών / εξωγενών παραγόντων φθοράς των υλικών στην κλίμακα του μνημείου. Η συσχέτιση αυτή είναι μεγάλης σημασίας στην προσπάθεια λήψης δεδομένων για τον κύκλο ζωής των δομικών υλικών και συνεπώς του εξεταζόμενου μνημείου. Τελικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η ολοκληρωμένη διάγνωση της φθοράς και των μηχανισμών της.

Σε επόμενο στάδιο, είναι αναγκαία η ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των ειδικοτήτων, σχετικά με τα αποτελέσματα της προμελέτης. Η ηλεκτρονική καταγραφή και διαχείριση των διεπιστημονικών δεδομένων όλων των μελετών βοηθά, εκτός όλων των άλλων, στον στρατηγικό σχεδιασμό των επόμενων τακτικών επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης, ενώ στον τομέα των υλικών συμβάλλει στον έλεγχο (α) της ανθεκτικότητας στο χρόνο και (β) των χαρακτηριστικών απόδοσης των υλικών (ιστορικών και συντήρησης)<sup>16</sup>.

26

Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η ψηφιακή χαρτογράφηση των υλικών και των φθορών, σε συστήματα CAD ή μετέπειτα και σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Με τη σύνταξη θεματικών χαρτών, συγκρίνονται και αποτιμώνται τα δεδομένα που έχει συλλέξει η μελετητική ομάδα. Η εποπτική παρουσίαση τους, με συγκεντρωμένες τις παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού, θα βοηθήσει και τους μέλλοντες ερευνητές και συντηρητές (του ίδιου ή άλλων μνημείων) σαν βάση ή συγκριτικό υλικό.

Τελευταίο στάδιο της διαγνωστικής μελέτης των υλικών είναι η διατύπωση προτάσεων για τις επεμβάσεις συντήρησης, στο σχεδιασμό των οποίων θα συνυπολογίζει: τον χαρακτηρισμό των υλικών, τη διάγνωση της φθοράς -και των μηχανισμών της-, των δεδομένων της δομοστατικής και της αρχιτεκτονικής μελέτης, την εμπειρία των μελετητών, την παγκόσμια βιβλιογραφία, τα διαθέσιμα υλικά, καθώς και το κόστος. Τα υλικά και οι μέθοδοι επέμβασης περιγράφονται με λεπτομέρεια στο πλαίσιο μιας μετέπειτα ολοκληρωμένης μελέτης εφαρμογής των επεμβάσεων.

16 Τσιλιμαντού Ε., «Η Συμβολή Μεθόδων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης και Διαχείρισης στην Ολοκληρωμένη Μελέτη Διάγνωσης και Προστασίας των Ακροπόλεων Σαρανταπήχου και Ερημοκάστρου», Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Επιβλέποντες Καθ. Α. Μοροπούλου, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Λέκτ. Ι. Σαγιάς, ΕΜΠ, Αθήνα, 2009.

### 1.3. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΘΟΡΩΝ ΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΜΕΣΩ ΧΩΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΧΣΠ)

Η διαδικασία της χαρτογράφησης μπορεί να εφαρμοστεί σε τύπους κατασκευών κάθε κλίμακας και υλικών: από κινητά αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς, επιμέρους αρχιτεκτονικά στοιχεία, όψεις κτιρίων ή δομικά σύνολα. Η καταγραφή των υλικών και των τύπων φθοράς ενός μνημείου, απαιτεί την ψηφιοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του και τη διάκριση των διαφόρων περιοχών που εμφανίζουν κάθε τύπο φθοράς, υλικό δόμησης, οικοδομική φάση ή παλαιότερη επέμβαση. Η χαρτογράφηση βασίζεται στα προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης και ενσωματώνει πληροφορίες που έχουν προκύψει από μη-καταστρεπτικές και ενόργανες τεχνικές καθώς και από επί τόπου παρατηρήσεις. Η χαρτογράφηση πραγματοποιείται μέσω μιας πληθώρας λογισμικού υπό τον γενικό τίτλο Χωρικά Συστήματα Πληροφοριών (ΧΣΠ). Αποτελούν μια ειδική περίπτωση πληροφοριακών συστημάτων, τα οποία διαχειρίζονται γεωμετρικές-χωρικές πληροφορίες (με μορφή σημείων, γραμμών ή πολυγωνικών επιφανειών), τις οποίες μπορούν να συσχετίσουν με άλλου είδους περιγραφικά δεδομένα και χωρικά κατανεμημένα χαρακτηριστικά. Χωρική (γραφική) πληροφορία αποτελεί η θέση των γεωμετρικών δεδομένων στο χώρο (πχ. ρηγματώσεις σε λίθινα στοιχεία) και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (πχ. μήκος ρωγμής), ενώ η περιγραφική πληροφορία αποτελείται από διάφορα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά [attributes] τους<sup>17</sup>. Αυτό είναι ένα πολύτιμο εργαλείο στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης προστασίας των μνημείων, επιτρέποντας καλύτερη εποπτεία και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην επιστημονική προσέγγισή τους.

Τα δύο βασικά είδη ΧΣΠ που χρησιμοποιούνται στην διαχείριση δεδομένων τεκμηρίωσης και φθορών των μνημείων είναι τα Συστήματα Χωρικής Απεικόνισης και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

17 Μοροπούλου Α., Σαγιάς Ι., Δελέγκου Α. Θ., «Χαρτογράφηση και Διαχείριση Δεδομένων της Φθοράς με Χωρικά Συστήματα Απεικόνισης (CAD) και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)», Διδακτικές Σημειώσεις του ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Κατεύθυνση Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης, ΕΜΠ, Αθήνα

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Τα βασικά εργαλεία για το σχεδιαστικό μέρος της χαρτογράφησης είναι τα λογισμικά σχεδίασης σε υπολογιστή (CAD, Computer Aided Design) ή αλλιώς Συστήματα Χωρικής Απεικόνισης (ΣΧΑ). Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει πολλά λογισμικά και εφαρμογές σχεδιασμού σε δύο ή και τρεις διαστάσεις, τα οποία προσφέρουν ακρίβεια σχεδίασης μέσω της διαχείρισης γεωμετρικών οντοτήτων (σημεία, μαθηματικές καμπύλες, πολύγωνα κ.α.). Αυτές, σε κάποιες περιπτώσεις, μπορούν να διασυνδεθούν με στοιχεία Βάσεων Δεδομένων χρησιμοποιώντας ειδικά εργαλεία που διαθέτουν τα λογισμικά ή με συνδυασμό τους. Ορισμένα διαθέτουν επιπλέον τη δυνατότητα διασύνδεσης με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, αν και τα CAD λογισμικά δίνουν κυρίως έμφαση στην παρουσίαση και απεικόνιση των πληροφοριών.

Πέρα από την ακρίβεια και την ταχύτητα σχεδίασης που προσφέρουν, έχουν συμβατότητα με πληθώρα άλλων εφαρμογών και τύπων ψηφιακών αρχείων: κειμένου, διανυσματικά (vector), ψηφιακές εικόνες (raster) κ.α. Άλλα πλεονεκτήματά τους είναι η ευελιξία στην παραγωγή πολλών σχεδιαστικών και εικονιστικών προϊόντων, η δυνατότητα ακριβών μετρήσεων και σχεδίασης σε ελεγχόμενες κλίμακες, όπως και η ευέλικτη οργάνωση των γεωμετρικών/σχεδιαστικών στοιχείων τους. Η οργάνωση αυτή όμως δε φτάνει μέχρι τη χωρική και λογική ανάλυση και επεξεργασίας των δεδομένων. Συγκρινόμενα με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και αναφορικά με τις Βάσεις Δεδομένων, εμφανή μειονεκτήματά τους αποτελούν οι ελλείψεις στη δυνατότητα άμεσης διασύνδεσής τους με τα στοιχεία του δισδιάστατου και τρισδιάστατου χώρου, καθώς επίσης η περιορισμένη εμβέλεια στις μεθόδους και στα μέσα διαχείρισης των Β.Δ. –όπου αυτά υπάρχουν.

## ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ ή GIS) διαθέτουν επιπλέον δυνατότητες χωρικής ανάλυσης και επιτρέπουν το συνδυασμό ποικίλων και ετεροειδών πληροφοριών σε μια δυναμική βάση δεδομένων. Ο συσχετισμός χωρικών δεδομένων με περιγραφικά γίνεται μέσω αυτής της Βάσης Δεδομένων. Ένα ΓΣΠ οργανώνεται σε μια σειρά βημάτων που το καθένα κτίζεται πάνω στο προηγούμενο:

- Εισαγωγή χωρικής πληροφορίας και σχεδίαση του υποβάθρου<sup>18</sup> (γραφική απόδοση της θέσης των αντικειμένων-οντοτήτων που εξετάζονται)<sup>19</sup>
- Επεξεργασία και δόμηση τοπολογιών (που θα συσχετίσουν τελικά τις οντότητες με τις ιδιότητές τους)
- Σχεδιασμός της βάσης δεδομένων
- Εισαγωγή πληροφορίας διαφόρων χαρακτηριστικών
- Διαχείριση πληροφοριών
- Πολύκριτηριακές και πολυμεταβλητές αναλύσεις τους
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων αναλύσεων.<sup>20</sup>

Στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης μελέτης για την προστασία των μνημείων, τα ΓΣΠ αποτελούν ένα ευέλικτο πολυεπιστημονικό εργαλείο σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων. Τα ετερόκλητα δεδομένα που προκύπτουν από τις μελέτες των διαφόρων ειδικοτήτων που εργάζονται στο μνημείο (αρχαιακά ή σύγχρονα, ψηφιακές εικόνες, σημειώσεις, σκαριφήματα, αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων, βίντεο από διαδικασίες καθαρισμού, κλιματολογικά δεδομένα κλπ.) μπορούν να συσχετιστούν τόσο μεταξύ τους όσο και με τον δισδιάστατο και τρισδιάστατο χώρο.

Πέρα από την εποπτική αξία του συγκερασμού και της παράθεσης τους, το σημαντικότερο προσόν των ΓΣΠ είναι ότι δίνουν τη δυνατότητα διατύπωσης «ερωτημάτων» επί των δεδομένων (χωρικών/γεωμετρικών και περιγραφικών/ποιοτικών) με χρήση στατιστικών διαδικασιών και άλγεβρας **Boole**. Επομένως μπορούμε να αξιολογήσουμε τα δεδομένα και να οδηγηθούμε σε συμπεράσματα ή συσχετίσεις που θα ήταν δύσκολα ή αδύνατα με άλλα μέσα.

18 Το σχεδιαστικό αυτό υπόβαθρο μπορεί να δημιουργηθεί και από συστήματα CAD

19 Μοροπούλου et.al., ο.π.

20 Κατά την εισαγωγή των χωρικών δεδομένων, η διαδικασία δόμησης της τοπολογίας, είναι ιδιαίτερης σημασίας. - Δελέγκου Α., «Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων καθαρισμού σε μαρμάρινες επιφάνειες μνημείων», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 2011

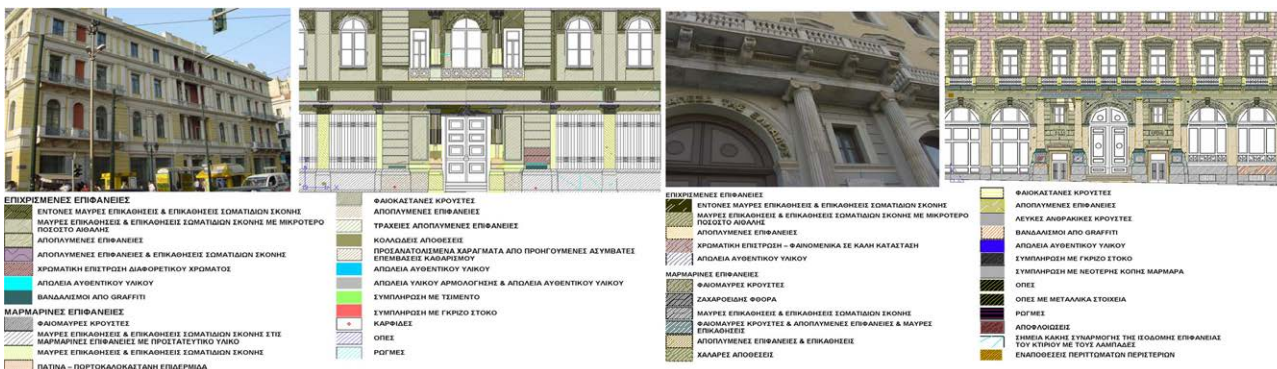
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΧΑ (CAD)

Κτίρια Εθνικής Τραπεζας στην Ομόνοια (πρώην ξενοδοχείο Excelsior) και την Πλατεία Κοτζιά (Μέγαρο Μελά)<sup>21</sup>

Το υπόβαθρο της χαρτογράφησης σχεδιάστηκε σε ψηφιακή μορφή στο λογισμικό AutoCAD 2000. Η χαρτογράφηση των υλικών και της φθοράς, έγινε βάσει των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών και των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών (μακροσκοπικών και μικροσκοπικών), ενώ η χαρτογράφηση των επεμβάσεων συντήρησης έγινε βάσει του υλικού και του παρουσιαζόμενου τύπου φθοράς. Η ακριβής θέση και η έκτασή τους καταγράφηκαν κατόπιν προσεκτικής επί τόπου παρατήρησης των όψεων, και με στοιχεία από φωτογραφική και βιντεοληπτική τεκμηρίωση.

Στο λογισμικό προσδιορίστηκαν επίπεδα σχεδίασης (layers)<sup>22</sup>, τόσα όσα τα υλικά, οι τύποι φθοράς και οι προτεινόμενες επεμβάσεις συντήρησης. Το επίπεδο σχεδίασης κάθε υλικού, φθοράς και επεμβάσεων συντήρησης σχεδιάστηκε με τη χρήση (α) κλειστών πολυγώνων που αποδίδουν επιφανειακά στοιχεία της όψης και (β) γραμμών που αποδίδουν γραμμικά στοιχεία όπως ρωγμές.

Υπολογίστηκαν τα ποσοστά των τύπων φθοράς ανά όψη και ανά υλικό (μαρμάρινες και επιχρισμένες επιφάνειες), τα οποία και προέκυψαν από την εμβαδομέτρηση των αντίστοιχων πολυγώνων τους στο CAD. Η δυνατότητα εμβαδομέτρησης βοήθησε πολύ τη σύγκριση της έκτασης των φθορών όψεων των δύο κτιρίων με κοινό προσανατολισμό, που είχε σκοπό να διαπιστωθεί η ανθεκτικότητα των υλικών τους στη δεδομένη ρυπασμένη ατμόσφαιρα του κέντρου της Αθήνας.

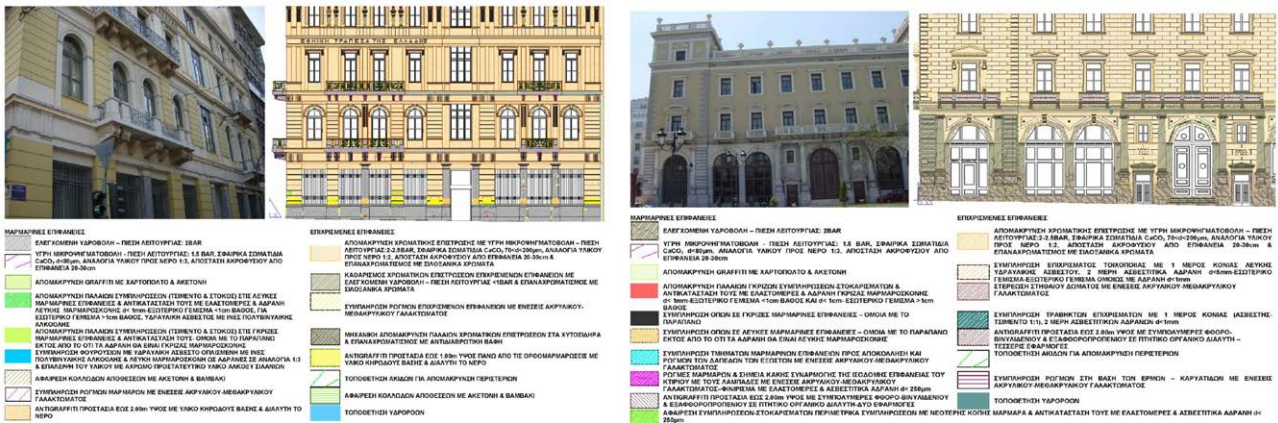


Χαρτογράφηση υλικών και φθοράς των προσόψεων νότια όψη πρώην ξενοδοχείου Excelsior, βόρεια όψη κτιρίου Μελά

Ακολούθησε η χαρτογράφηση των προτεινόμενων επεμβάσεων συντήρησης για τα δύο κτίρια. Αυτό βοήθησε και την κοστολόγηση των εργασιών, καθώς επέτρεψε να εκτιμηθούν οι απαιτούμενες ποσότητες (κατά την έρευνα αγοράς υλικών-εξοπλισμού) μέσω εμβαδομέτρησης των επιφανειών επέμβασης.

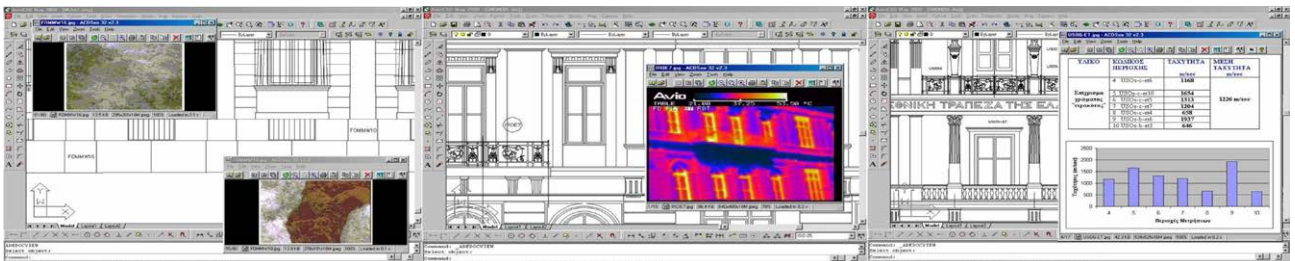
21 Μοροπούλου Α., Σαγιάς Ι., Δελέγκου Α. Θ., «Χαρτογράφηση και Διαχείριση Δεδομένων της Φθοράς με Χωρικά Συστήματα Απεικόνισης (CAD) και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)», Διδακτικές Σημειώσεις του ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Κατεύθυνση Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης, ΕΜΠ, Αθήνα

22 Η ονομασία των επιπέδων, δίνει πληροφορίες τόσο για το υλικό/φθορά/συντήρηση τα οποία χαρακτηρίζουν, αλλά και για το κτίριο, τον προσανατολισμό κ.α. Παράλληλα, για κάθε επίπεδο ορίζεται ένα χρώμα βάσει του οποίου σκιαγραφούνται τα επίπεδα (hatch). Η σκιαγράφηση εξυπηρετεί στην καλύτερη απεικόνιση των επιπέδων και διευκολύνει τη μεμονωμένη θέασή τους.



Χάρτες προτεινόμενων επεμβάσεων συντήρησης της ανατολικής όψης του πρώην Excelsior και της βόρειας όψης του Μεγάρου Μελά με τα αναλυτικά υπομνήματά τους.

Παράλληλα, με τη χρήση ειδικού εργαλείου για τη σύνδεσή και τη διαχείριση στοιχείων βάσεων δεδομένων (AutoCAD-MAP), έλαβε χώρα η διαχείριση των αποτελεσμάτων των μη καταστρεπτικών τεχνικών της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (FOM), της Θερμογραφίας Υπερύθρου και της Υπερηχοσκόπησης στην κλίμακα της κατασκευής. Είναι εφικτή η πλήρης και σαφής ενημέρωση του χρήστη-ερευνητή για την κατάσταση των υλικών των όψεων στις ακριβείς θέσεις λήψης των μετρήσεων και των δειγμάτων. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης και ηλεκτρονικής καταγραφής στο μέλλον, της περιοδικότητας της εμφάνισης συγκεκριμένων τύπων φθοράς, της ανθεκτικότητας των προτεινόμενων υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στο χρόνο, καθώς και της συχνότητας, της έκτασης και του κόστους των επόμενων τακτικών επεμβάσεων συντήρησης, έτσι ώστε να είναι εφικτή η διαμόρφωση ενός μοντέλου διαχείρισης κόστους και κύκλου ζωής των δομικών υλικών και των κτιρίων.



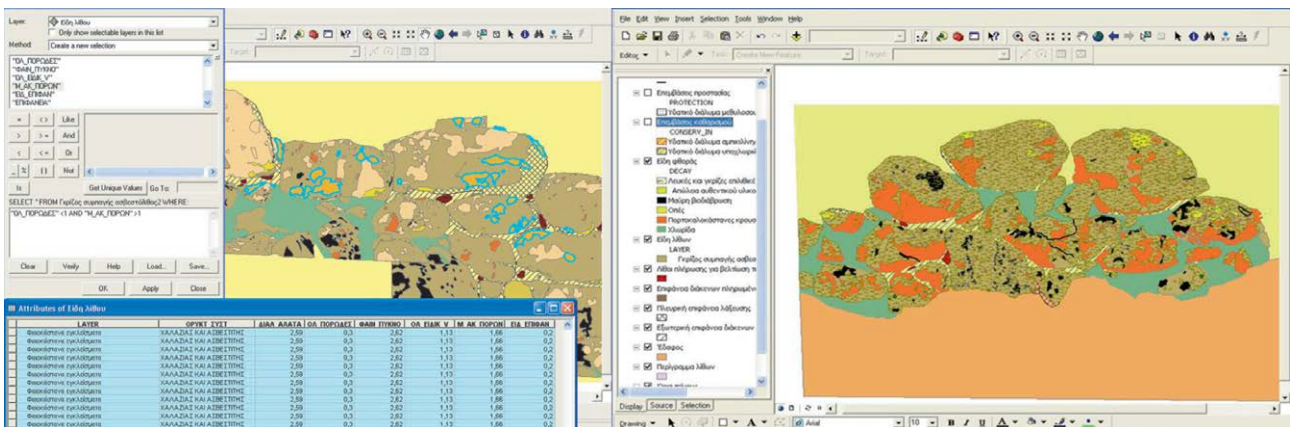
Διασύνδεση δεδομένων στις όψεις των κτιρίων: εικόνες FOM, θερμοκάμερας και αποτελέσματα υπερηχοσκόπησης.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ(GIS)

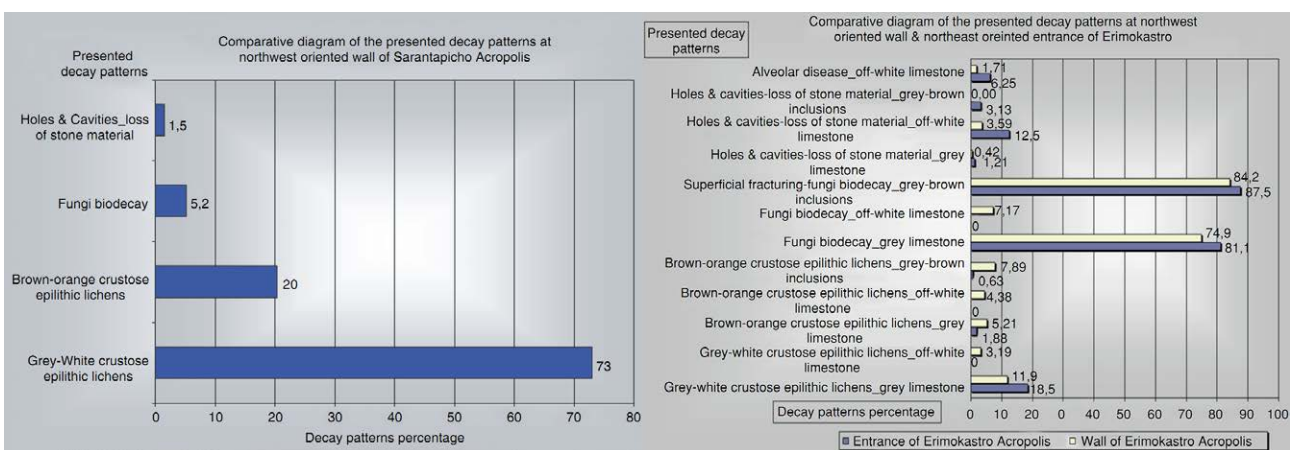
Τείχη Ακροπόλεων Σαρανταπήχου και Ερημοκάστρου Ρόδου<sup>23</sup>

Ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το προηγούμενο παράδειγμα, με τη διαφορά ότι εδώ την ψηφιοποίηση των φθορών τους βοήθησαν ορθοφωτομωσαϊκά και ορθο-αναγμένες φωτογραφίες τμημάτων των τειχών. Το υπόβαθρο σχεδιάστηκε σε περιβάλλον CAD και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο περιβάλλον GIS του λογισμικού ArcMap/ArcInfo 9.2 [εικ.1], δίνοντας πολύτιμες πληροφορίες α) για την έκταση και κατανομή των δομικών υλικών και των προτύπων φθοράς (decay patterns) [εικ.2] και β) για τους κρίσιμους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιδρούν στην επιδεκτικότητα των υλικών σε φθορά.

Δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων (αλφαριθμητικών χαρακτήρων) με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υλικών (πετρογραφικά, ορυκτολογικά, πορώδες, ειδική επιφάνεια, φαινόμενη πυκνότητα, μέση ακτίνα πόρων και περιεχόμενο διαλυτών αλάτων). Αυτή η βάση συνδέθηκε με τον πίνακα τοπολογικών χαρακτηριστικών (attribute table) του GIS, επιτρέποντας τον εντοπισμό των φθορών στο χώρο και τη διατύπωση σύνθετων ερωτημάτων [εικ.3]



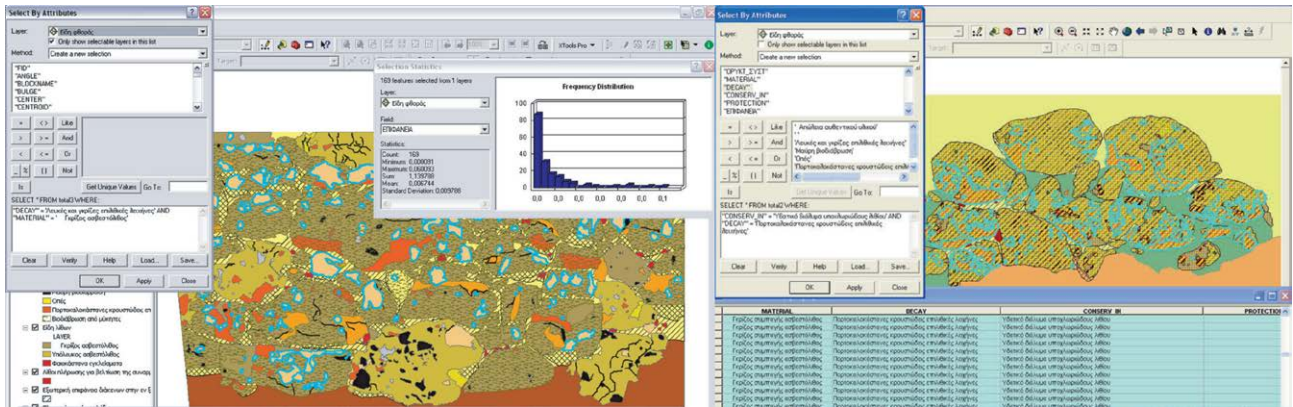
[εικ.1] Θεματικοί χάρτες υλικών και φθοράς Ερημοκάστρου και Σαραντάπηχου



[εικ.2] Τα ποσοστά των τύπων φθοράς (επί της συνολικής επιφάνειας) σε τμήμα του τείχους του Σαραντάπηχου με νοτιοανατολικό προσανατολισμό και δίπλα αντίστοιχο συγκριτικό διάγραμμα μεταξύ δύο τμημάτων του τείχους του Ερημοκάστρου.

23 E. T. Delegou, E. Tsilimantou, E. Oikonomopoulou, J. Sayas, C. Ioannidis, A. Moropoulou. Mapping of Building Materials and Consevation Interventions using GIS:the Case of Sarantapicho Acropolisand Erimokastro Acropolis in Rhodes. International Journal of Heritage in the Digital Era, vol. 2 no. 4, 2013





[εικ.3] Διατύπωση ερωτήματος σε τμήμα του τείχους του Ερημόκαστρου με συνδυασμό λογικών και Boolean πράξεων. Με μπλε περίγραμμα οι περιοχές όπου «φθορά=λευκός επιλιθικός λειχίνας ΚΑΙ υλικό=γκρι ασβεστόλιθος».

## 2. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1. Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ

#### 2.1.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ



34

Ο ναός του Ηφαίστου και της Αθηνάς Εργάνης, χτισμένος στα μέσα του 5<sup>ου</sup> αι. πΧ, -σχεδόν σύγχρονος του Παρθενώνα- αποτελεί τον καλύτερα διατηρημένο αρχαίο ναό επί ελληνικού εδάφους. Βρίσκεται σε μια οπτικά προνομιούχο θέση, κοντά στην κορυφή του λόφου του Αγοραίου Κολωνού, ο οποίος δεσπόζει στην Αγορά και την οριοθετεί από τα δυτικά και δίπλα στην «Οδό των Παναθηναίων»<sup>1</sup> που ένωνε την Ακρόπολη με την κύρια είσοδο της πόλης. Είναι ναός δωρικού ρυθμού, περίπτερος, διπλός εν παραστάσι με κανονικές αναλογίες 6 επι 13 κίωνων στο πτερό.

Για μεγάλο διάστημα στο παρελθόν το οικοδόμημα είχε ταυτιστεί λανθασμένα με το «Θησείο», το ιερό που στέγαζε τα οστά του Θησέα<sup>2</sup>, ενώ άλλοι το θεωρούσαν ως το ναό της Αρτέμιδος Ευκλείας ή του Άρη. Την ταύτιση του ναού ως "Ηφαιστείο" βοήθησε η ανασκαφική έρευνα με την αποκάλυψη πολλών εργαστηρίων μεταλλουργίας (λάκκοι χύτευσης χαλκού και σιδήρου - σκωρίες) κυρίως στις δυτικές και νότιες παρυφές του Αγοραίου Κολωνού, γειτονιά που αρμόζει στη λατρεία του Ηφαίστου, θεού της μεταλλουργίας και γενικότερα των τεχνικών επαγγελμάτων και της αδελφής του Αθηνάς, εδώ με το προσωνύμιο «Εργάνη», προστάτιδας της αγγειοπλαστικής και της οικοτεχνίας.<sup>3</sup>

1 Η κύρια αρτηρία της αρχαίας Αθήνας, γνωστή και ως «Δρόμος», πλάτους 110 μ., ξεκινούσε από το Δίπυλο στην περιοχή του Κεραμεικού, διέσχισε διαγωνίως την Αγορά από τη βορειοδυτική έως τη νοτιοανατολική της γωνία, με τελική κατάληξη τον βράχο της Ακροπόλεως, φθάνοντας περίπου μέχρι την είσοδο του Παρθενώνα

2 ή του Ηρακλή, εξαιτίας των παραστάσεων που κοσμούσαν την ανατολική ζωφόρο του ναού, απεικονίζοντας εννέα από τους άθλους του.

3 Ο Πausανίας στα Αττικά [Ελλάδος Περιήγησις, τόμος 1, 14.6] σχολιάζει: «Πάνω απο τον Κεραμεικό και τη λεγόμενη Βασιλείο στοά βρίσκεται ο ναός του Ηφαίστου. Δεν με κατέπληξε το γεγονός οτι εκεί μέσα δίπλα στον Ήφαιστο είναι στημένο άγαλμα της Αθηνάς, γιατί γνωρίζω την παράδοση σχετικά με τον Εριχθόνιο»

Η αρχαιολογική έρευνα έχει αποκαλύψει παλαιότερα κατάλοιπα που περιλαμβάνουν μυκηναϊκά, γεωμετρικά και αρχαϊκά ευρήματα, καθώς και ίχνη βωμού στα νότια του Ηφαιστείου, στην απολαξυμένη κορυφή του λόφου<sup>4</sup>. Παρόλα αυτά, τα ευρήματα δεν πιστοποιούν με βεβαιότητα την παρουσία λατρευτικού κτιρίου ή προγενέστερων μόνιμων δομών κάτω από το ναό είτε στην άμεση γειτονία του.

Επέζησε των επιδρομών των Ρωμαίων, των Ερούλων (το **267** μ.Χ.) και των Γόθων (στα τέλη του 4<sup>ου</sup> αι) με φθορές και περί τον 7<sup>ο</sup> αιώνα μετατράπηκε σε χριστιανική εκκλησία. Αυτό οδήγησε αφενός στο να διατηρείται ως σήμερα σε πολύ καλή κατάσταση το μεγαλύτερο τμήμα της ανωδομής του (πέρα από αλλοιώσεις), καθώς απέφυγε την εκτεταμένη άντληση οικοδομικού υλικού, αφετέρου είχε ως συνέπεια τη συστηματική καταστροφή του γλυπτικού διακόσμου από τους χριστιανούς.

Το Ηφαιστείο έγινε γνωστό στον ευρωπαϊκό χώρο από τα σχέδια των αρχιτεκτόνων **James Stuart** και **Nicholas Revett**, οι οποίοι το αποτύπωσαν διεξοδικά στην αποστολή τους στην Ελλάδα κατά τα έτη **1751-1755**. Το τρίτομο έργο τους *The Antiquities of Athens* ξεκίνησε να εκδίδεται το **1762**, αλλά τα σχέδια του Ηφαιστείου –κατόψεις, όψεις, τομές και λεπτομέρειες- δημοσιεύτηκαν το **1795** με τον τρίτο τόμο. Παρότι ήδη δεκαετίες νωρίτερα<sup>5</sup> είχαν δημοσιευτεί σχέδια του ναού, η δουλειά των **Stuart** και **Revett** μαγνήτισε το ευρωπαϊκό κοινό (ιδίως στη Βρετανία) με το χαρακτηριστικά δυναμικό δωρικό εξάστυλο προστώ, το οποίο ενέπνευσε πολλές απομιμήσεις του ναού σε Ευρώπη και Αμερική. Η δουλειά τους σηματοδοτεί το ξεκίνημα του αρχαιολογικού ενδιαφέροντος για την Ελλάδα.



Η ανατολική όψη του ναού αποκατεστημένη. Βλέπουμε ότι οι Stuart και Revett απέδωσαν τους κίονες με κωνική μορφή αγνοώντας την ένταση των κίωνων, η οποία εξάλλου είναι μεταγενέστερη ανακάλυψη.

4 Dinsmoor, *Observations*, σελ. 126

5 Οι γκραβούρες του Richard Dalton, σχεδιαστή του λόρδου Charlemont, που δημοσιεύτηκαν το **1752** στο *Antiquities of Greece and Egypt*, ήταν οι πρώτες λεπτομερείς απεικονίσεις αρχαίων ναών που κυκλοφορούσαν στην Ευρώπη, ιδίως για το σχέδιο του Παρθενώνα. (<http://blog.classicist.org>, *Classical Comments: The Hephaisteion And Its Adaptations* by Calder Loth Senior Architectural Historian for the Virginia Department of Historic Resources) και αργότερα πιο αναλυτικά: Julien-David Le Roy, *Les Ruines des plus beaux monuments de la Grece*, **1758**

## 2.1.2. ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ - ΑΝΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ

Η χρονολόγηση του ναού στηρίζεται ως επί το πλείστον στο αρχιτεκτονικό του σχέδιο, στην τεχνολογία των γλυπτών του συνθέσεων, στα κεραμικά θραύσματα που αποκαλύφθηκαν στις επιχώσεις των θεμελίων και στην μορφή των γραμμάτων και τεκτονικών συμβόλων που είχαν χαράξει οι τεχνίτες της λίθινης οροφής για να υποδείξουν την ορθή τοποθέτηση των επιμέρους κομματιών.

Το σχέδιο του ναού υποδεικνύει ότι είχε σχεδιαστεί και πιθανότατα άρχισε να χτίζεται πριν από τον Παρθενώνα (447-432π.Χ.). Η ανέγερσή του πρέπει να ξεκίνησε όχι πριν το **460** π.Χ. και όχι αργότερα από το **450-448** π.Χ.<sup>6</sup>

Μέχρι την έναρξη του πελοποννησιακού πολέμου το **431** π.Χ., τα έργα της Ακροπόλεως απασχολούσαν πάρα πολλούς τεχνίτες και γλύπτες και φαίνεται να υπήρξαν εκτεταμένες παύσεις στις εργασίες, πιθανώς και λόγω απόσπασης τεχνιτών στον Παρθενώνα ή στα Προπύλαια. Επανασχεδιάστηκε ο πρόναος και ο σηκός<sup>7</sup>, προστέθηκε η εσωτερική δίτονη κιονοστοιχία. Η Ειρήνη του Νικία το **421** έδωσε μέχρι το **415** μια προσωρινή περίοδο ειρήνης, κατά την οποία, σύμφωνα με σωζόμενη επιγραφή [βλ. ενότητα για τα λατρευτικά αγάλματα], τα λατρευτικά αγάλματα του Ηφαίστου και της Αθηνάς -έργα του γλύπτη Αλκαμένη σύμφωνα με τον Πausανία-, τοποθετήθηκαν στον ναό μεταξύ των ετών **421-415** π.Χ.<sup>8</sup> Η ανωδομή του είχε συμπληρωθεί κατά πάσα πιθανότητα στα **420** π.Χ.

Μολονότι είναι περίπου σύγχρονο με τα υπόλοιπα κτίσματα που συμπεριλήφθηκαν στο λεγόμενο περίκλειο οικοδομικό πρόγραμμα, δεν φαίνεται να εντασσόταν άμεσα σε αυτό. Άγνωστος παραμένει ο αρχιτέκτονας που ανέλαβε την συνολική εποπτεία των εργασιών, ο οποίος, αν κρίνουμε από τις λύσεις που υιοθετήθηκαν, ανήκε μάλλον στην σφαίρα επιρροής του Ικτίνου και του Σκόπα.

Το Ηφαιστείο έχει συγγενή χαρακτηριστικά με άλλους τρεις ναούς της Αττικής που αποπερατώθηκαν πριν από τον Πελοποννησιακό Πόλεμο: το ναό του Ποσειδώνος στο Σούνιο (444-436 π.Χ.), του Άρεως στην Αγορά, ο οποίος στην πραγματικότητα είναι ο ναός της Αθηνάς στην Παλλήνη (436-432 π.Χ.) και της Νεμέσεως στη Ραμνούντα. Φαίνεται ότι χτίστηκαν σχεδόν διαδοχικά σε σχετικά μικρό διάστημα, στο Γ' τέταρτο του 5<sup>ου</sup> αι. Αυτό οδήγησε τον **W.B.Dinsmoor** στο -κοινώς αποδεκτό σήμερα- συμπέρασμα ότι πρόκειται για έργα του ίδιου δημιουργού, του επονομαζόμενου «**Αρχιτέκτονα του Θησείου**», με το Ηφαιστείο να αποτελεί το πρώτο κτίσμα αυτής της σειράς.

6 **449** π.Χ. κατά τον W.B. Dinsmoor [Observations, σελ. 153], ενώ οι Wyatt και Edmonson τοποθετούν την έναρξη του ναού περί το **460** π.Χ.

7 Ίσως έως το **445** π.Χ. [Observations, σελ. 154]

8 Η χρονολογία επιβεβαιώνεται και από την αναδιοργάνωση της λατρείας των δυο θεοτήτων το **421** π.Χ.

### 2.1.3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

Τυπολογικά το Ηφαιστείο είναι δωρικός περίπτερος, δίτυλος διπλός «εν παραστάσι» ναός, με κανονικές αναλογίες (πτερό 6 x 13 κιώνων), διαστάσεων περίπου 31,78 x 13,71 μ.

Πρόκειται για το παλαιότερο γνωστό δείγμα ναού κατασκευασμένου σχεδόν εξ ολοκλήρου από μάρμαρο (πεντελικό για το μεγαλύτερο μέρος και παριανό για το γείσο, την σίμη και τα φατώματα), Εξείρεση αποτελούν η πώρινη κατώτερη βαθμίδα του κρηπιδώματος<sup>9</sup>, η οποία σήμερα είναι πολύ έντονα φθαρμένη, αλλά και η ξύλινη στέγη (που αντικαταστάθηκε από λίθινο θόλο στα βυζαντινά χρόνια).

Ξεχωριστής σημασίας καινοτομία συνιστά η εισαγωγή ιωνικών στοιχείων σε δωρικού ρυθμού κτίριο, πιθανή επιρροή από το έργο του Ικτίνου και του Καλλικράτη στον Παρθενώνα. Ο πλούσιος γλυπτός του διάκοσμος συναγωνιζόταν ποιοτικά αυτόν του Παρθενώνα, με μετόπες στην ανατολική πλευρά και τις ανατολικές γωνίες της βόρειας και της νότιας πλευράς, ιωνική ζωφόρο πάνω από την περίσταση στον πρόναο και αετωματικές συνθέσεις. Οι αξονικές σχέσεις των κιώνων του προνάου με τους κίονες της περίστασης, επιτρέπουν διάταξη του θριγκού με συνεχές επιστύλιο, τονίζοντας έτσι με ιδιαίτερο τρόπο την είσοδο του ναού. Σήμερα ο ναός στέκεται μέχρι το ύψος της οροφής του και τα αετώματά του σώζονται πολύ φθαρμένα.

Στο εσωτερικό του είχε τη συνήθη διάκριση σε πρόναο, σηκό και οπισθόδομο. Ο πρόναος και ο οπισθόδομος έφεραν από δύο κίονες ανάμεσα σε παραστάδες. Στο βάθος του σηκού υπήρχε βάθρο, επάνω στο οποίο στέκονταν τα ορειχάλκινα λατρευτικά αγάλματα του Ηφαίστου και της Αθηνάς, και μπροστά του έφερε γλυπτές παραστάσεις της γέννησης του Εριχθόνιου. Τις τρεις πλευρές του εσωτερικού του περιέτρεχε δίτονη κιονοστοιχία σχήματος Π (4x7 κιώνων), η οποία αφαιρέθηκε πολύ αργότερα, πιθανώς όταν ο ναός μετατράπηκε σε χριστιανική εκκλησία. Η εσωτερική διάρθρωση του Παρθενώνα επηρέασε ενδεχομένως την προσθήκη της κιονοστοιχίας, ενέπνευσε αλλαγές στις αναλογίες του σηκού και επέκταση του ανατολικού πτερού.

Πέρα από τη στυλιστική επιρροή του Παρθενώνα στο Ηφαιστείο, ο Homer Thompson ισχυρίζεται<sup>10</sup> ότι υπάρχει μια βαθύτερη θεματική σχέση μεταξύ των δύο ναών: ο ένας είναι αφιερωμένος στις θεότητες των Αθηναίων, ο άλλος, κατά μια έννοια, στους Αθηναίους πολίτες. Υπο αυτήν την θεώρηση ενοποιείται θεματικά ο γλυπτικός διάκοσμος των μετόπων με τον Ηρακλή και το Θησέα, φαινομενικά ασύνδετων με τον Ήφαιστο, την Αθηνά και τον Εριχθόνιο: όλα αυτά τα πρόσωπα εκπροσωπούν την περηφάνια των Αθηναίων, η οποία συνδέεται με το ανθρώπινο μεγαλείο. Ο Θησέας, ο Αθηναίος ήρωας, και ο Ηρακλής σαν ήρωας με πανελλήνια απήχηση είναι άνθρωποι και όχι θεοί, ενώ μοιράζονται το διάκοσμο σε μια κολακευτική για τους Αθηναίους σύγκριση. Ακόμα, η γέννηση του Εριχθόνιου του πρώτου αυτόχθονα Αθηναίου είναι ουσιαστικά η γέννηση του αθηναϊκού λαού. Σύμφωνα με κάποιες εκδοχές του μύθου τον μεγάλωσε η Αθηνά, κατ' άλλες («Βιβλιοθήκη» του Ψευδο-Απολλόδωρου) είναι παιδί και των δυο τους. Πέρα από προστάτες των τεχνών και της ανθρώπινης εφευρετικότητας<sup>11</sup> λοιπόν, ίσως στον διάκοσμο τονίζεται και η ιδιαίτερη σχέση των δύο θεοτήτων με τον αθηναϊκό λαό.

9 Όπως μάλλον προηγουμένως στον Παλιό Παρθενώνα και αργότερα στη Ραμνούντα, επιλέχθηκε πώρινη κατώτερη βαθμίδα για να δημιουργήσει μια μετάβαση από το περιβάλλον έδαφος στο μαρμαρίνο ναό

10 Thompson, Homer A. The Sculptural Adornment of the Hephaisteion. American Journal of Archaeology, 66 (1962), 339-347.

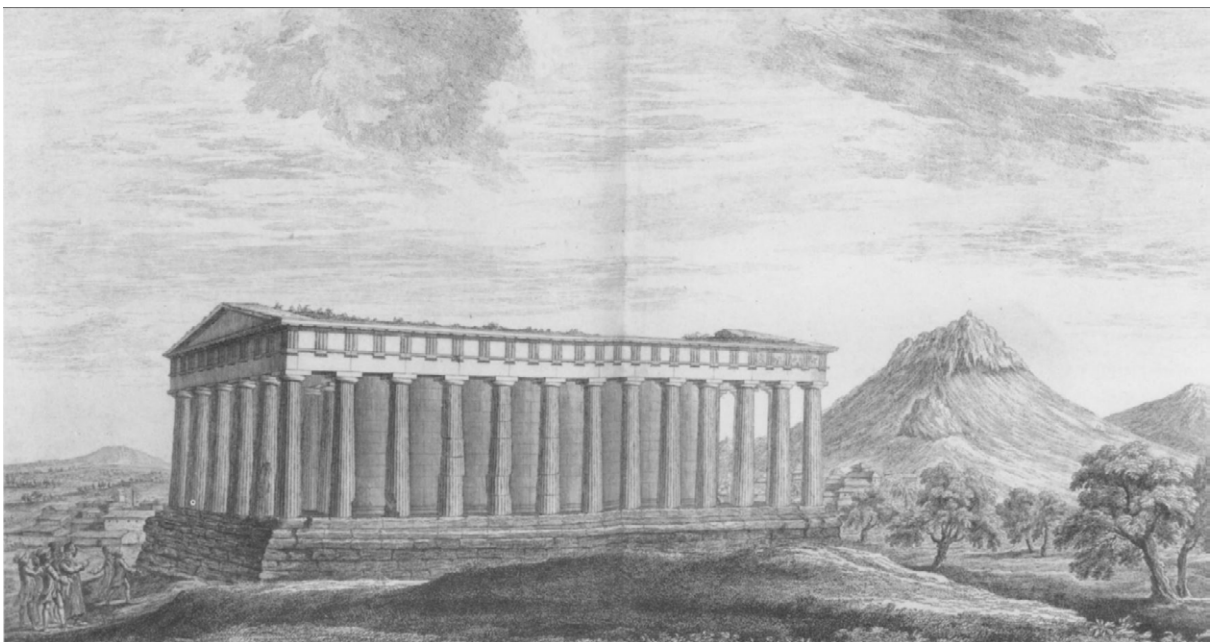
11 Ο Ήφαιστος και η Αθηνά, βρίσκονται ξανά μαζί στη ζωφόρο του προνάου, να παρακολουθούν μαζί με άλλους θεούς τον Θησέα να θριαμβεύει επί των Παλλαντίδων, χρησιμοποιώντας τα μέσα που έδωσαν στους ανθρώπους.

## A. Ο ΠΕΡΙΒΑΛΛΩΝ ΧΩΡΟΣ

Κατά την αρχαϊκή, κλασική και ελληνιστική περίοδο, εργαστήρια μεταλλοτεχνιτών ήταν διάσπαρτα στη δυτική πλευρά της Αγοράς και στη βιοτεχνική περιοχή στα νοτιοδυτικά της. Στα βόρεια του Ηφαιστίου βρέθηκαν δύο χυτήρια ορείχαλκου μικρής κλίμακας [D και G στην εικόνα] και ένα σχετικά ευμεγέθες εργαστήριο σιδήρου [E]. Τα υπόλοιπα, -συμπεριλαμβανομένου και του λάκκου χύτευσης που αποδίδεται στην κατασκευή των λατρευτικών αγαλμάτων [B] - βρέθηκαν στα νότια και ανατολικά του ναού. Στα ρωμαϊκά χρόνια οι μεταλλουργικές δραστηριότητες συγκεντρώθηκαν στη Νότια Στοά, εντούτοις κάποια μεταλλικά ευρήματα της εποχής προέρχονται από την περιοχή του Ηφαιστίου.



[Κάτοψη του χώρου των ανασκαφών της Αρχαίας Αγοράς. πηγή: Mattusch Carol C., *Bronze- and Ironworking in the Area of the Athenian Agora*, *Hesperia*, Vol. 46, No. 4 (1977), σελ.341]



Το έδαφος του περιβάλλοντα χώρου του ναού φαίνεται να έχει αποκαλυφθεί αρκετές φορές στο παρελθόν και έτσι η στρωματογραφία του δεν είναι ξεκάθαρη –ιδίως σε σχέση με τη θεμελίωση του περυστύλιου. Τμήματα της θεμελίωσης ήταν εκτεθειμένα έως και την επιφάνεια του υποκείμενου βράχου, τουλάχιστον τρεις αιώνες νωρίτερα. Περιηγητές του 17<sup>ου</sup> και 18<sup>ου</sup> αι. αναφέρουν ή απεικονίζουν τον ναό με 5 ή 6 βαθμίδες (στη νοτιοδυτική πλευρά)<sup>12</sup>.

Φαίνεται ότι κανένας λίθινος ναός δεν προϋπήρχε του Ηφαιστείου στη θέση αυτή. Στη θεμελίωση υπάρχει απουσία επαναχρησιμοποιημένου δομικού υλικού ή ίχνη προηγούμενης θεμελίωσης. Με μόνη εξαίρεση ένα διαγώνιο -σε σχέση με το ναό- κόψιμο στο βράχο στη βορειοδυτική πλευρά του, που ίσως ήταν κάποτε το βόρειο τμήμα του περιβόλου.

Η ακανόνιστη επιφάνεια του φυσικού βράχου καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος από ένα λεπτό στρώμα (5εκ) γκρι χώματος και σε αυτό βρίσκονται όστρακα τόσο από την πρωτογεωμετρική περίοδο όσο και του 5<sup>ου</sup> αι. Φαίνεται ότι μέρος της κορυφής του λόφου ήταν πρωτογεωμετρικός χώρος ταφής, καθώς έχουν ανασκαφεί και άλλοι πρώιμοι τάφοι. Πάνω από αυτό το στρώμα και σε πάχος μέχρι 40εκ. βρίσκεται στρώμα κοκκινωπού σκληρού χώματος. Η κορυφή αυτής της στρώσης –όπου σώζεται- έχει μαυρίσει από φωτιά, έχει σωρούς σταχτής και θραύσματα αναθηματικών<sup>13</sup> κεραμικών που χρονολογούνται μετά την επιδρομή των Περσών το **480 π.Χ.**, πιθανή ένδειξη ότι τότε καταστράφηκε παλαιότερο ιερό ελαφράς κατασκευής, το οποίο συνέχισε να λειτουργεί μέχρι την ανέγερση του ναού. Πάνω από αυτή τη στρώση στάχτης βρίσκεται ετερόκλητο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για να εξισωθούν οι ανομοιογένειες του βράχου και τα κατάλοιπα της ανέγερσης του Ηφαιστείου<sup>14</sup>.

Κατά τους ελληνιστικούς χρόνους, περί τον 3<sup>ο</sup> αι, φυτεύθηκαν γύρω από το ναό θάμνοι και δενδρύλλια σε παράλληλες σειρές μέσα σε μεγάλες πήλινες γλάστρες: δύο σειρές κατά μήκος της νότιας και της βόρειας πλευράς, καθώς και κατά μήκος της δυτικής πλευράς του ναού<sup>15</sup>. Ο κήπος που περιέβαλλε το Ηφαιστείο αποτελούσε από μόνος του σημαντικό αξιοθέατο, όπως φαίνεται και από την αφήγηση του Πausανία, ο οποίος κάνει ιδιαίτερη αναφορά σε αυτόν.



Επίσης, τον 3<sup>ο</sup> αι. π.Χ. φαίνεται ότι υψώθηκε ένας τετρά-πλευρος περίβολος με είσοδο στην νότια πλευρά, απ' όπου η πρόσβαση ήταν ευκολότερη. Κατά τα τέλη του 1<sup>ου</sup> αι. π.Χ. μια μνημειακή κλίμακα στην ανατολική πλευρά του λόφου συνέδεσε τον ναό με τον χώρο της Αγοράς.

Κατά την Ύστερη Βυζαντινή και την Οθωμανική περίοδο, στον περιβάλλοντα χώρο αλλά και στο πτερό και εσωτερικό του ναού, έγιναν αρκετές ταφές, με τους τάφους συχνά να επαναχρησιμοποιούνται αλλά και να σουλούνται. Αυτή η δραστηριότητα έδωσε πληροφορίες για τη θεμελίωση, τη χρήση του χώρου ανά τους αιώνες και κυρίως τη χρονολόγηση των οικοδομικών φάσεων – όπως για το πότε αφαιρέθηκε η εσωτερική κιονοστοιχία [βλ. παρακάτω], αλλά επίσης συνέβαλλε στη διατάραξη της διαστρωμάτωσης του εδάφους και στην καταστροφή του δαπέδου του πτερού και του σηκού.

12 Observations, σελ. 31

13 εικάζεται λόγω της καλής ποιότητάς τους

14 Observations, σελ. 126

15 Στη θέση τους έχουν σήμερα φυτευτεί ροδιές στα πλησιέστερα στο ναό σημεία και μυρτιές στα πιο απομακρυσμένα, ενώ οι γλάστρες φυλάσσονται στο Μουσείο της Αγοράς, στη Στοά του Αττάλου.

## B. Η ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

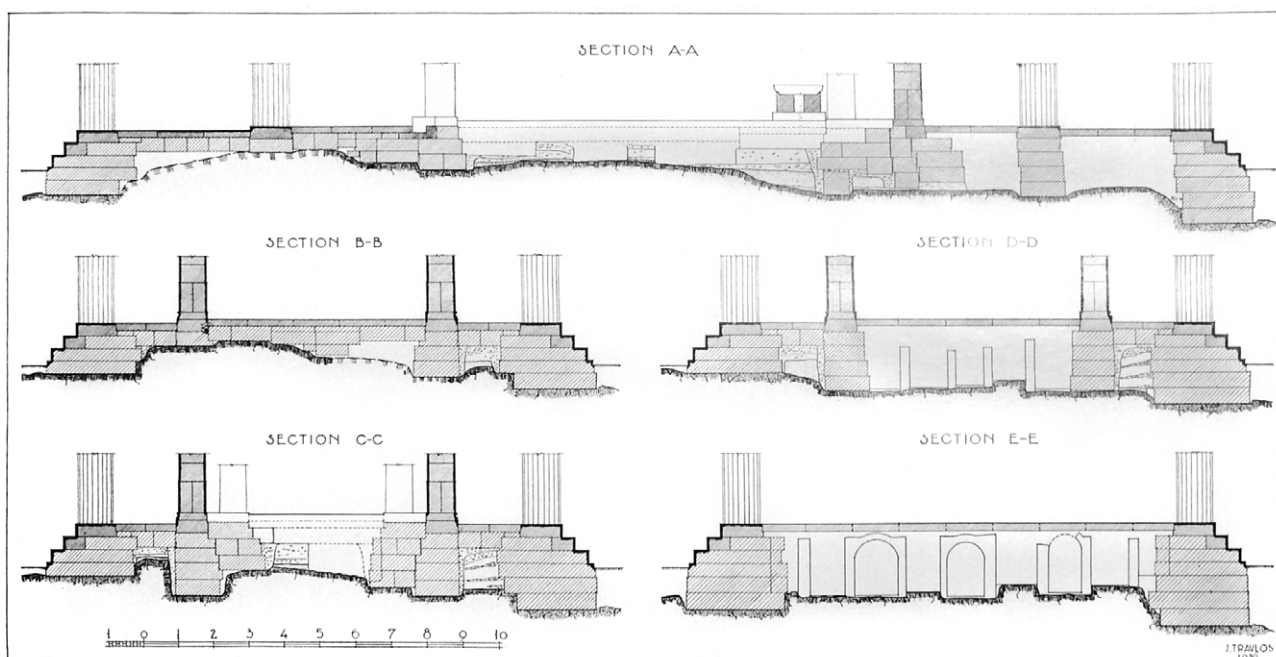
Οι ανασκαφικές έρευνες στις θεμελιώσεις του ναού –σε συνδυασμού με τη γνώση για τη σειρά κατασκευής των θεμελίων σε ομόκεντρες ζώνες από έξω προς τα μέσα- έδωσε πολύτιμα δεδομένα για τον καθορισμό των αλλαγών που υπέστη το αρχικό σχέδιο του ναού και τη χρονολόγησή τους.

Η θεμελίωση εκμεταλλεύεται την επιφάνεια του σχετικά μαλακού υποκείμενου βράχου, σκάβοντάς τον μόνο όπου είναι απαραίτητο. Το βάθος της θεμελίωσης κυμαίνεται από έναν δομόλιθο (στο μέσο του μήκους του ναού και τη νοτιοανατολική γωνία) έως 5 λίθους στη βορειοδυτική γωνία, ύψους περίπου 44 εκ έκαστος. Η θεμελίωση γίνεται με μορφή ενισχυμένων ζωνών από πωρόλιθους, με πρώτη χρονολογικά τη θεμελίωση του περιστυλίου. Το κενό μεταξύ των ζωνών γεμιζόταν με διαδοχικά στρώματα χώματος και λατύπης από τους λίθους καθώς προχωρούσε η κατασκευή και ανέβαινε η στάθμη θεμελίωσης. Οι μεταξύ τους αρμοί κατεργάζονται με περισσότερη μέριμνα όσο ανεβαίνουμε προς τα πάνω, μέχρι που οι λίθοι κάτω από τις μαρμάρινες πλάκες έχουν αναθυρώματα στα πλαϊνά και την κορυφή τους.

Στη θεμελίωση χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη πωρόλιθου. Η διάκριση στην επιλογή των υλικών ανάλογα με τη θέση τους στην κατασκευή –συνεπώς και με την έκθεσή τους σε περιβαλλοντικές φθορές - καταδεικνύει μέριμνα για την οικονομία πόρων (υλικού δόμησης, κόπου και χρόνου) από τη μεριά των κατασκευαστών του ναού, δίχως να υπονομεύεται η κατασκευαστική ποιότητά του<sup>16</sup>.

1. Τα κατώτερα τμήματα της θεμελίωσης του σηκού (τα οποία και προστατεύονται από την υγρασία) είναι κατασκευασμένα από ένα είδος μαλακού και εύκολα κατεργάσιμου γκρι πωρόλιθου.
2. Για τη θεμελίωση του περιστυλίου και την ανώτερη στρώση λίθων των θεμελίων του σηκού (που αντιστοιχεί σε ύψος και κατεργασία με την ευθυντηρία του περιστυλίου) χρησιμοποιήθηκε σκληρός πωρόλιθος καστανού χρώματος με κοκκώδη υφή
3. Για τη θεμελίωση της ευθυντηρίας και της κατώτατης βαθμίδας του κρηπιδώματος χρησιμοποιήθηκε μια ποικιλία πωρόλιθου, φαιοκάστανου με ακανόνιστες γκρι φλέβες και σκληρότερου από τον πωρόλιθο των θεμελίων.

40



Τομές της θεμελίωσης. Διακρίνονται με διαγράμμιση οι πώρινοι λίθοι. Ι.Τραυλός 1939

Η θεμελίωση των εγκάρσιων είναι ανεξάρτητη από αυτή των κατά μήκος τοίχων (απουσία συνδέσεων,

<sup>16</sup> Συμπωματικά –ενδεχομένως– μια πώρινη θεμελίωση είναι αποδοτικότερη και στο να παραλαμβάνει μικρο-παραμορφώσεις και μετακινήσεις του εδάφους.

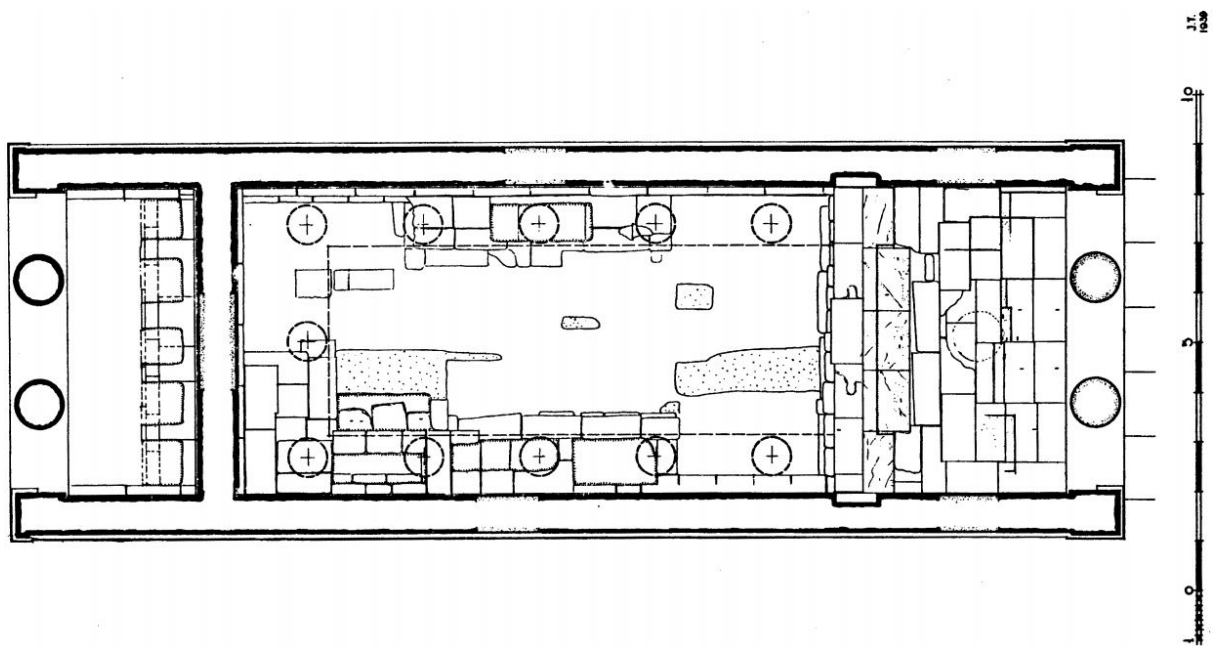


όπως εξάλλου γινόταν συχνά) και εμφανίζει δύο φάσεις κατασκευής με διαφορετικούς μάλιστα τύπους λίθου και κατεργασία. –όπως παρατηρείται και στη θεμελίωση των κατά μήκος τοίχων.

	pronaos	cella	opisthodomos	
(A)	$11\frac{7}{16}$	$+ 2\frac{3}{4}$	$+ 43\frac{1}{4}$	$+ 2\frac{1}{3} + 9\frac{1}{8} = 68\frac{5}{8}$ Doric feet
(B)	$14\frac{1}{8}$	$+ 2\frac{3}{4}$	$+ 40\frac{9}{16}$	$+ 2\frac{1}{3} + 9\frac{1}{8} = 68\frac{5}{8}$ Doric feet
(C)	$15\frac{1}{8}$	$+ 2\frac{3}{4}$	$+ 37\frac{1}{4}$	$+ 2\frac{1}{3} + 11\frac{7}{16} = 68\frac{5}{8}$ Doric feet

Πίνακας των αλλαγών στις εσωτερικές αναλογίες του σηκού [Observations, σελ. 57]

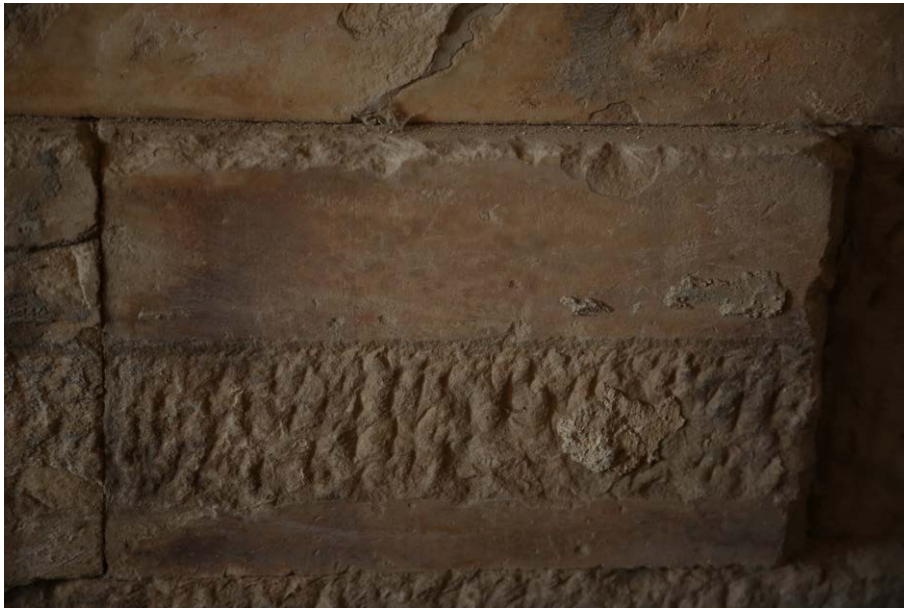
Φαίνεται ότι στο αρχικό σχέδιο με μακρόστενο σηκό, δεν υπήρχε πρόθεση για εσωτερική κιονοστοιχία και έτσι υπέστη αλλαγές δύο φορές σε αρχικά στάδια της ανέγερσής του. Η απουσία ενδείξεων αλλαγών πάνω από το επίπεδο των θεμελίων λίθων υποδεικνύει ότι αυτές έγιναν μετά την ολοκλήρωση της θεμελίωσης, αλλά πριν την τοποθέτηση του χαμηλότερου (μαρμαρίνου) δόμου του σηκού. Το μήκος του σηκού μειώνεται δύο φορές [Ο δυτικός εγκάρσιος τοίχος προοριζόταν να βρίσκεται μεταξύ 0.713 m. και 1.077 m δυτικότερα και ο ανατολικός μεταξύ 1.09 m. και 1.40 m ανατολικότερα] και το πλάτος αυξάνεται μία φορά κατά περίπου 25εκ. Ο πρόναος παρέμενε μεγαλύτερος από τον οπισθόδομο σε όλες τις εκδοχές. Τέλος, στοιχεία στην κατασκευή της θεμελίωσης των τοίχων του σηκού δείχνουν ότι η εσωτερική κιονοστοιχία είχε προβλεφθεί πριν την ανέγερση των δύο εγκάρσιων τοίχων<sup>17</sup>.



Η θεμελίωση της εσωτερικής κιονοστοιχίας. Ι. Τραυλός 1939

## C. ΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ

Το καμπύλο προφίλ της βάσης που διατρέχει το βόρειο και νότιο τοίχο του σηκού, εμφανίζει ιδιαίτερη εικόνα όταν στρέφεται στο εσωτερικό του ναού: έχει τετραγωνισμένη διατομή με δύο αναθυρωματικές ταινίες στο πάνω και κάτω μέρος του και με χονδρολαξευμένη την ενδιάμεση ζώνη [βλ. Φωτογραφία]. Η κάτω ταινία πρόκειται στην πραγματικότητα για εγκοπή σε υποχώρηση ύψους 37mm, η οποία όριζε αρχικά το ύψος του εσωτερικού δαπέδου. Συνδυασμός στοιχείων υποδεικνύει ότι όταν παραγγέλθηκαν τα κομμάτια αυτά, το ύψος του δαπέδου του σηκού δεν είχε αποφασιστεί ή μάλλον προοριζόταν να βρίσκεται στο κάτω μέρος της βάσης παρά στο πάνω και έτσι απολαξεύτηκαν. Οι ορθοστάτες των τοίχων εμφανίζουν σημαντικές διακυμάνσεις στα μήκη τους, σε σύγκριση με το σύνηθες διπλάσιο των υπερκείμενων δομολίθων.



Οι τρεις ζώνες στο προφίλ της βάσης, εμφανείς επειδή το μαρμάρινο δάπεδο λείπει

42

Ένα χαρακτηριστικό της τοιχοποιίας του Ηφαιστείου είναι ότι κάθε ορθογωνικός λίθος έχει μια ιδιαίτερη τεχνική κατεργασία σε όλη την περίμετρο της κάτω παρειάς του: μια ανακουφιστική ζώνη πλάτους 14-22 χιλ και βάθους μόλις 0.5 χιλ. Έτσι, πριν τοποθετηθεί στην τοιχοποιία, αφαιρούνταν από την κάτω επιφάνεια κάθε λίθου μια ανεπαίσθητη ταινία, ώστε να μην απολεπίζονται οι ακμές του λόγω της συγκέντρωσης τάσεων σε αυτές, τόσο κατά την ανέγερση, όσο και σε εντατικές καταπονήσεις όπως οι σεισμοί.

Μια άλλη σημαντική ιδιαιτερότητα των τοίχων του σηκού είναι ότι η εσωτερική τους επιφάνεια φέρει πυκνές κατακόρυφες χαραξίες που έχουν γίνει από πολύ οξύ εργαλείο, σε κάθε δόμο πάνω από τη στρώση του ορθοστάτη. [βλ. ακόλουθες φωτογραφίες] Είναι εξαιρετικά ρηχές σε βάθος και περί τα 5 χιλ. σε μήκος. Κατά κανόνα η επιφάνεια των λίθων εμφανίζει περιμετρικά μια λεία ζώνη πλάτους 5-7 χιλ. δίχως χαραγές, σε μερικούς είναι ευρύτερη, έως και 27 χιλ., ενώ σε άλλες περιπτώσεις το πλαίσιο αυτό απουσιάζει τελείως. Ο Dinsmoor υποθέτει ότι –αντίθετα με τη συνήθη πρακτική- η κατεργασία αυτή γινόταν στο έδαφος πριν την τοποθέτησή τους<sup>18</sup>.



Τμήματα της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου του σηκού: νότιος τοίχος, διακρίνεται βυζαντινό επίχρισμα / βόρειος τοίχος στο σημείο που είχε διανοιχθεί θύρα στους χριστιανικούς χρόνους

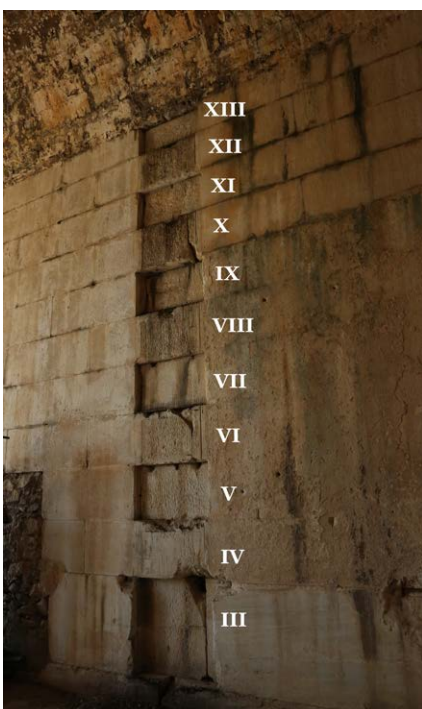
Αυτή η μεταχείριση της επιφάνειας, σε συνδυασμό και με την παρουσία ανακουφιστικής ζώνης<sup>19</sup>, οδηγεί αβίαστα στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για προετοιμασία των τοίχων ώστε να δεχτούν επίχρισμα – υπόστρωμα ζωγραφικής. Μάλλον ο ζωγραφικός διάκοσμος των τοίχων δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ, καθώς δεν έχουν βρεθεί ίχνη αρχαίου επιχρίσματος ή χρωστικών.

Το επίχρισμα που σώζεται σήμερα στους τοίχους του σηκού είναι μεσαιωνικής προέλευσης<sup>20</sup> και μάλιστα με βάση τα κατώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά του, είναι μεταγενέστερο του βυζαντινού κονιάματος που βρέθηκε στην αψίδα του ιερού που αφαιρέθηκε από τον Α. Ορλάνδο το **1937**.

Σε σύνθεση είναι αμιγώς ασβεστιτικό επίχρισμα και περιέχει ίχνη άχυρου, δίχως την άμμο και τη μαρμαροκονία που θα περιμέναμε από επίχρισμα του 5<sup>ου</sup> αι. π.Χ. Εντοπίζεται και στους τρεις εναπομείναντες τοίχους του σηκού πάνω από τον πρώτο δόμο (IV) και τερματίζει απότομα ακριβώς στην άνω παρεία του έκτου δόμου (IX). [βλ. Φωτογραφία]

Η πιο πιθανή εξήγηση είναι ότι πρόκειται για το όριο που σηματοδοτείται από το κάτω επιστύλιο της εσωτερικής κιονοστοιχίας, πράγμα που σημαίνει ότι το επίχρισμα εφαρμόστηκε σίγουρα πριν κατεδαφιστεί ο ανατολικός τοίχος και πριν αφαιρεθεί η εσωτερική κιονοστοιχία.

43



Μια άλλη ένδειξη ότι το επίπεδο του κάτω επιστυλίου της κιονοστοιχίας βρίσκεται σε αυτό το ύψος, προέρχεται από μια κατασκευαστική λεπτομέρεια: Στη θέση που ανατολικός διασταυρώνονταν με τους δύο διαμήκεις τοίχους, παρατηρούνται εναλλαγές εισχωρήσεις των «περιπτών» λίθων (III: ορθοστάτης, V, VII, IX, XI και XIII) κατά 7εκ. για να δεχτούν τους αντίστοιχους του ανατολικού. Στο ύψος όμως του έκτου δόμου (IX) παρατηρούμε ότι το βάθος των εσοχών αυτών είναι διπλάσιο (~16εκ.). [βλ. Φωτογραφία] Αυτή η ιδιαίτερη αρμολόγηση πρέπει να αποτελεί προφύλαξη έναντι συγκεντρωμένων τάσεων σε εκείνη τη ζώνη. [Observations σελ. 76]

19 αλλά και την παρουσία ειδικών μολύβδινων χυτών στεγανοποιήσεων σε όλους τους κατακόρυφους αρμούς της εσωτερικής παρείας.

20 Είχε ανεπαίσθητα κοκκινωπό χρώμα όταν διαβρεχόταν, το οποίο και έχανε μετά από έκπλυση με νερό – ίσως ένδειξη υδατοδιαλυτής χρωστικής. Περιγραφή από Gorham Phillips Stevens "Some Remarks upon the Interior of the Hephaisteion", Hesperia, Vol. 19, No.3, The American Excavations in the Athenian Agora: 40th Report (1950), σελ. 161

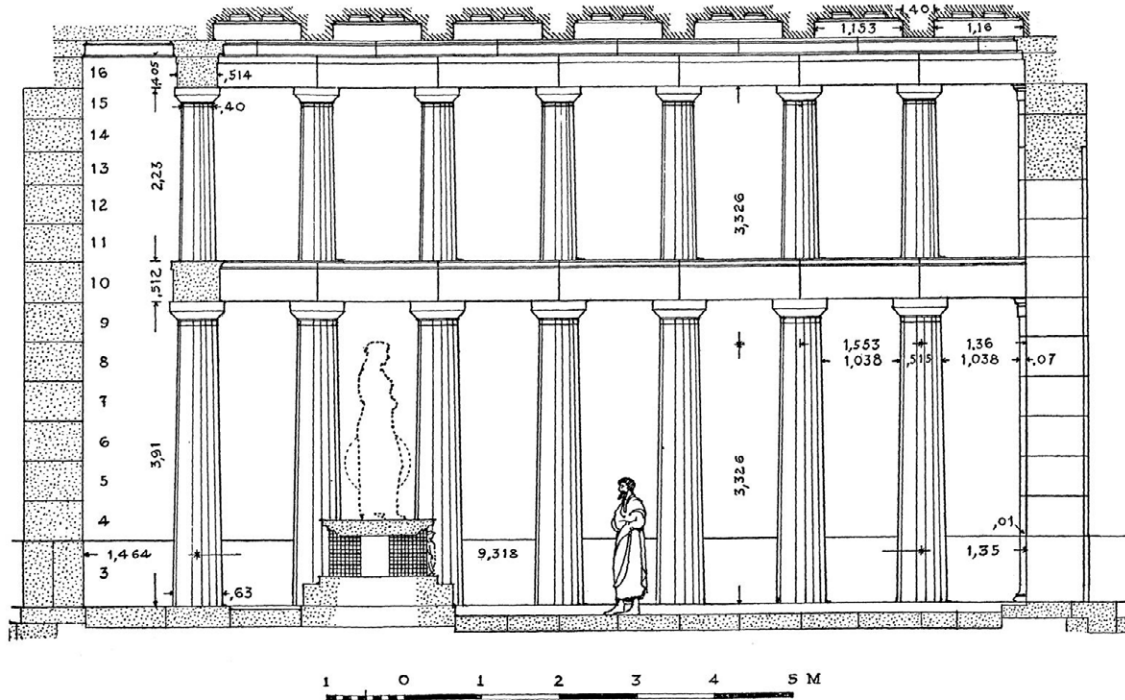


Fig. 4. Section through the Cella of the Hephaisteion, Looking North: Restored

Η διπλή κιονοστοιχία ήταν δωρικού ρυθμού σε σχήμα Π, με 4 κίονες στη στενή και 7 στη μακρά πλευρά με μεταξόνιο 1.553 μ. Η κάτω διάμετρος τους ήταν περί τα 63 εκ. ενώ στο ανώτερο ύψος μειωνόταν στα 40εκ.

44

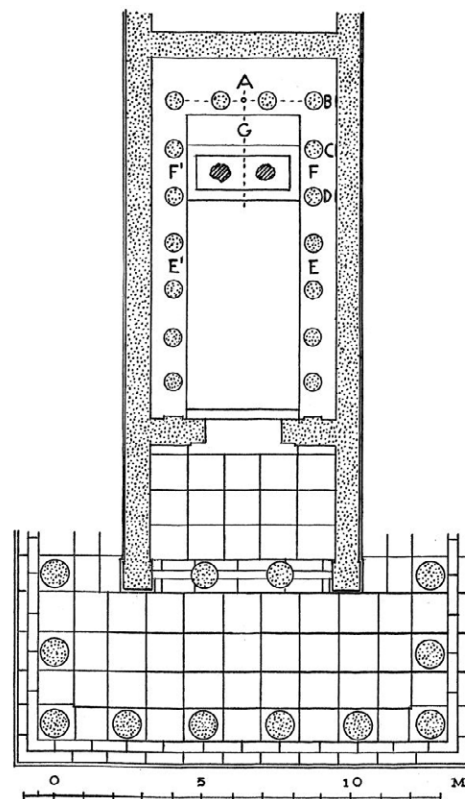
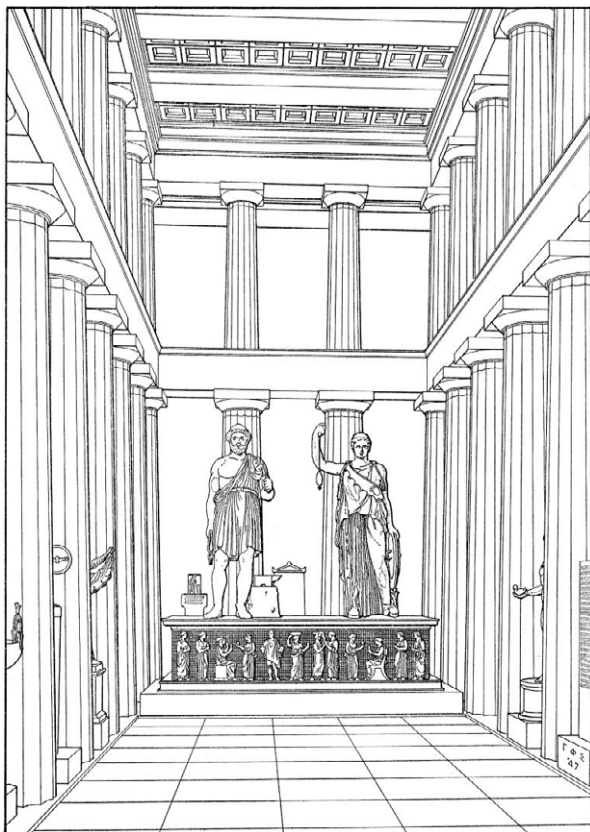


Fig. 2. Plan of the Interior of the Hephaisteion : Restored

[Αναπαράσταση εσωτερικού και κάτοψη εσωτερικής κιονοστοιχίας, G. Stevens]

Ο άξονας βορρά-νότου της κορυφής του Π (στη δυτική πλευρά του σηκού), είναι γνωστός από μια κατακόρυφη χαραγματιά στη βάση του ορθοστάτη στο βόρειο τοίχο. Από αυτή συνάγεται η αξονική απόσταση των κίωνων και η γενικότερη τοποθέτηση της κιονοστοιχίας στο εσωτερικό.

Μια άλλη ένδειξη της θέσης των κίωνων βρίσκεται στους διαμήκεις (βόρειος και νότιος) τοίχους. Το άνω τμήμα κάποιων ορθοστατών [στις θέσεις Β, C και D] εμφανίζεται λειασμένο, ενώ αντίστοιχες περιοχές υπάρχουν και στον πιο καλοδιατηρημένο νότιο τοίχο. Η απόσταση μεταξύ του τοίχου και των εσωτερικών κίωνων υπολογίζεται σε μόλις 48εκ. και καθώς το βάθος των λατρευτικών αγαλμάτων καταλάμβανε μεγάλο τμήμα του ελεύθερου πλάτους του σηκού, για να βρεθεί κάποιος στην πίσω μεριά τους θα έπρεπε να περάσει πίσω από τους κίονες, ακουμπώντας συχνά και στους ορθοστάτες, οι οποίοι φτάνουν σε ύψος τα 85 εκ. -περίπου το ύψος των γοφών ενός ανθρώπου<sup>21</sup>.

---

21 –Επίσης, εικάζει ότι οι θέσεις E και E' έφεραν έργα αφιερωμένα στις θεότητες.

## D. ΤΑ ΛΑΤΡΕΥΤΙΚΑ ΑΓΑΛΜΑΤΑ

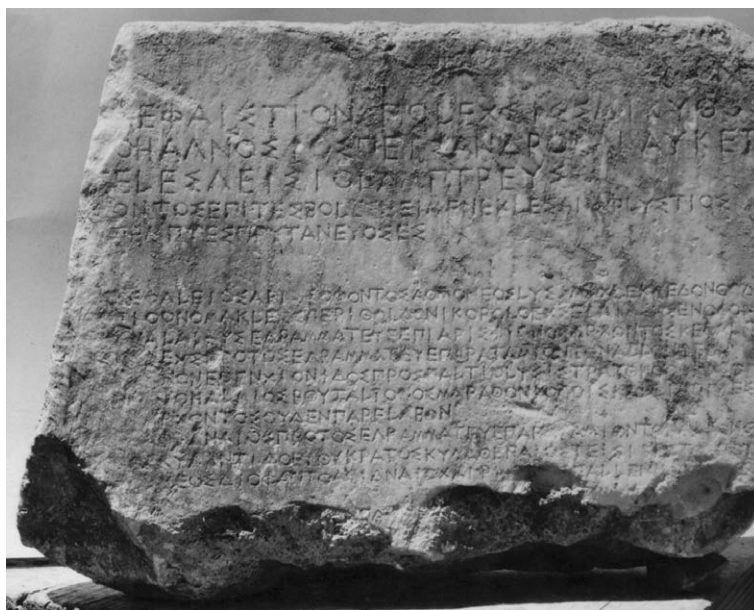
Στο εσωτερικό του σηκού υπήρχαν τα χάλκινα αγάλματα του Ηφαίστου και της Αθηνάς τα οποία ήταν έργα του διάσημου γλύπτη Αλκαμένη, μαθητή του Φειδία και πρέπει να ολοκληρώθηκαν στο διάστημα μεταξύ **421** και **415** π.Χ., όταν η ειρήνη του Νικία επέτρεψε, έως την περίοδο της Σικελικής εκστρατείας, την ανάκαμψη των οικονομικών της Αθήνας και τη συνέχιση των οικοδομικών έργων.

Τα αγάλματα ήταν τοποθετημένα πάνω σε βάθρο από σκούρο γκρι ελευσινακό ασβεστόλιθο στο βάθος (δυτικά) του σηκού και μπροστά από την εγκάρσια εσωτερική κιονοστοιχία. Στην μπροστινή μεριά του (διαστάσεων 308x60εκ.) είχε πλούσια ανάγλυφη διακόσμηση με πολυπρόσωπη σκηνή με δώδεκα γλυπτές μορφές -ίσως με θέμα την γέννηση του Εριχθονίου. Δύο θραύσματα του βάθρου βρέθηκαν το **1937** από τον Α. Ορλάνδο εντοιχισμένα στον σύγχρονο ανατολικό τοίχο που αντικατέστησε την αψίδα του ιερού.

Σήμερα δε σώζεται κάποιο ίχνος των αγαλμάτων, μαρτυρούνται όμως σε ιστορικές πηγές και μπορούμε να κάνουμε εικασίες για τη μορφή τους βασισμένοι σε αντίγραφά τους.

Δυο είναι τα σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα που σχετίζονται με τα λατρευτικά αγάλματα:

1. Θραύσματα επιγραφών που καταγραφεται η αγορά χαλκού, κασσίτερου, μολύβδου, ξύλου και κάρβουνου που θα χρησιμοποιούνταν για την ολοκλήρωση των λατρευτικών αγαλμάτων του ναού του Ηφαίστου και του βάθρου τους. Εχουν καποια περιγραφη των εργαων, μεταξύ άλλων και οτι οι δύο θεότητες απεικονίζονταν ως προστάτες των τεχνών και της βιοτεχνίας. Επίσης, σε δύο χωρία αναφέρονται εργαστηρια ορείχαλκου στην περιοχή του Ηφαιστείου<sup>22</sup>.

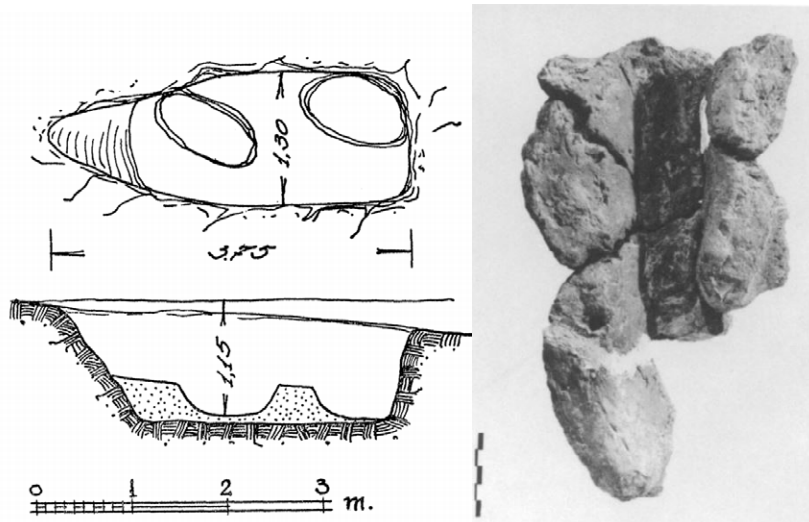


[Θραύσμα της επιγραφής (I.G., I2, 370-371), Επιγραφικό Μουσείο Αθηνών]

2. Τα περιεχόμενα ενός λάκκου χύτευσης ορείχαλκου που βρέθηκε 10 μέτρα νοτιοδυτικά του ναού το **1939** [θέση Β στον χάρτη της ενότητας Α]. Τα ευρήματα: πολλά θραύσματα μεγάλων πήλινων εκμαγείων, με αντίστοιχα μεγάλες σπές χύτευσης<sup>23</sup> ένα από τα οποία έχει χαρακτηριστική διαμόρφωση για καλούπωμα κατακόρυφων πτυχώσεων ενδύματος [βλ. ακόλουθη εικόνα] υποδεικνύουν οτι χρησιμοποιήθηκε για κατασκευή αγάλματος μεγάλης κλίμακας.

22 Mattusch Carol C., Bronze- and Ironworking in the Area of the Athenian Agora, Hesperia, Vol. 46, No. 4 (1977), σελ. 341

23 Thompson H. A., Activities in the Athenian Agora: 1956, Hesperia, Vol. 26, No. 2 (1957), σελ.100



Η πρώτη γραπτή πηγή που αναφέρεται στο ναο του Ηφαίστου είναι ο Πausανίας, στον πρώτο τόμο του έργου του «Ελλάδος Περιήγησις», κατά την επίσκεψή του στην Αγορά. Πέρα από τη θέση του ναού και τον κήπο του, αναφέρεται ιδιαίτερα στα δύο αγάλματα και σχολιάζει τα γαλάζια μάτια της Αθηνάς, τα οποία συνδέει με την παράδοση ότι η θεά ήταν κόρη του Ποσειδώνα<sup>24</sup>.

Ο Βαλέριος Μάξιμος αναφέρεται στο θαυμαστό τρόπο με τον οποίο ο Αλκαμένης απέκρυψε κάτω από το ένδυμά του το ιδιαίτερο ανατομικό χαρακτηριστικό του Ηφαίστου, τη χλωτότητά του, χωρίς όμως να την εξαφανίσει πλήρως. Αντίγραφο της μορφής αυτής απαντάται σε ερμαϊκή στήλη των ρωμαϊκών χρόνων, όπου ο θεός φοράει σκούφο εργάτη, ενώ σε ρωμαϊκό λύχνο, όπου σώζεται και το σώμα του, είναι ενδεδυμένος με εξωμίδα (αντιπροσωπευτικό ένδυμα των τεχνουργών) και κρατάει σφυρί και κοντάρι.

Για το άγαλμα της Αθηνάς έχουμε ίσως καλύτερη εικόνα, καθώς υπάρχουν πέντε αντίγραφα Αθηνάς, με το αυθεντικό τους να τοποθετείται τεχνοτροπικά στον 5<sup>ο</sup> αι. Ένα από αυτά [βλ. εικόνα ], σύμφωνα με τον Stevens, συνδυάζει ίχνη όλων των χαρακτηριστικών που ανεφέρονται στο παραπάνω επιγραφικό εύρημα, όπως τον ανθισμένο άκανθο στο αριστερό πόδι που υποστήριζε την ασπίδα<sup>25</sup>.

47



Athena Cherkel- Cassel –Μουσείο Λούβρου /Ήφαιστος και Θέτις, Ερυθρόμορφο κύπελλο 5<sup>ο</sup> αι.π.Χ.

24 «Πρόσεξα όμως ότι τα μάτια της είναι γαλανά, όπως έλεγε ο μύθος των Λιβύων. Αυτοί λέγουν ότι η Αθηνά είναι κόρη του Ποσειδώνα και της Τριτωνίδας λίμνης και γι'αυτό έχει γαλανά μάτια όπως και ο Ποσειδώνας.» Αττικά 14.6

25 Stevens G. P., "Some Remarks upon the Interior of the Hephaisteion", σελ. 156

- Επίσης αναφέρει ότι και τα 5 αντίγραφα δείχνουν την Αθηνά να στηρίζει το βάρος στο δεξί πόδι, ενώ το άγαλμα-αντίγραφο του «Ήφαιστου στο Cassel» στηρίζεται στο αριστερό. Έτσι, ο Ήφαιστος μάλλον είχε την τιμητική θέση στα αριστερά του θεατή.

## Ε. Ο ΓΛΥΠΤΟΣ ΔΙΑΚΟΣΜΟΣ

Ο ναός έφερε στο εξωτερικό του πλούσιο γλυπτικό διάκοσμο από παριανό μάρμαρο που απεικονίζει άθλους του Ηρακλή και του Θησέα<sup>26</sup>. Από τις εξήντα οκτώ μετόπες της δωρικής εξωτερικής ζωφόρου του ναού, μόνο οι δεκαοχτώ είναι διακοσμημένες με ανάγλυφες παραστάσεις, ενώ ιωνικές ζωφόροι υπάρχουν επίσης στο θριγκό του πρόναου και του οπισθόδομου. Η διατήρηση των περισσότερων μετοπών είναι σήμερα κακή, επειδή η μετατροπή του ναού σε χριστιανική εκκλησία οδήγησε τους χριστιανούς στη συστηματική καταστροφή των κεφαλιών των περισσότερων μορφών. Επέζησαν μόνο μορφές -όπως ο Μινώταυρος- που συμβόλιζαν τις δυνάμεις του κακού και συντρίβονταν, καθώς ταυτίστηκαν με το Σατανά και την τιμωρία του.



48

Κάτω από τις επιφανειακές αποθέσεις εντοπίστηκαν αμυδρά ίχνη χρώματος, τα οποία δίνουν ενδείξεις ότι το υπόβαθρο των παρατάσεων ήταν μπλε, μέρος του εδάφους που κάθονταν οι θεότητες ήταν πράσινο και ότι μερικά τουλάχιστον ενδύματα των μορφών είχαν κόκκινο χρώμα<sup>27</sup>.

26 Morgan, C.H., 'The sculptures of the Hephaisteion, I. The metopes, II. The friezes', *Hesperia* 31 (1962)

27 Frantz, A. *The Hephaisteion revisited*. *Archeology* (1954), σελ. 4



- Εξωτερικές Ζωφόροι

Η ιδιαίτερα προβεβλημένη από την πλατεία της Αγοράς ανατολική πλευρά έχει δέκα μετόπες που παρουσίαζαν εννέα από τους δώδεκα άθλους του Ηρακλή. [από αριστερά: την πάλη του ήρωα με το λιοντάρι της Νεμέας, τη θανάτωση της Λερναίας Ύδρας, τη σύλληψη της Κερυνίτιδος Ελάφου, τη σύλληψη του Ερυμάνθιου Κάπρου, την απόκτηση των αλόγων του Διομήδη, τη μεταφορά του Κέρβερου στον Άνω Κόσμο από τον Άδη, την πάλη του Ηρακλή με τη βασίλισσα των Αμαζόνων, το επεισόδιο της θανάτωσης του Γηρυόνη και της αρπαγής των βοδιών του (σε δύο μετόπες), καθώς και την απόκτηση των μήλων των Εσπερίδων.]



49



01. 08. 1949

Στη ζωφόρο της βόρειας και της νότιας πλευράς, οι τέσσερις πρώτες μετόπες στα ανατολικά της κάθε πλευράς απεικονίζουν επεισόδια από τις περιπέτειες του Θησέα. Αυτές οι απεικονίσεις με τους άθλους του Θησέα, βοήθησαν στη λανθασμένη θεώρηση του ναού ως «Θησείο».

Συγκεκριμένα, στη βόρεια πλευρά εμφανίζονται τέσσερις άθλοι: η μάχη με το Χοίρο του Κρομμύωνος, η εξόντωση του Σκίρωννα, του Κερκύονα και του Προκρούστη.



[17\_2\_2015]

50

Στη νότια πλευρά αναπαρίσταται η εξόντωση του Περιφήτη, του Σίνη του Πιτυοκάμπτη, η σύλληψη του Ταύρου του Μαραθώνα και η θανάτωση του Μινώταυρου, που αποτελεί το λαμπρότερο και περισσότερο αναγνωρίσιμο άθλο του Αθηναίου ήρωα.



### - Οι Ζωφόροι των εσωτερικών επιστυλίων

Σημαντική καινοτομία του ναού, στην οριοθέτηση και τον τονισμό του χώρου της εισόδου είναι η συνεχής ιωνική ζωφόρος που κοσμούσε το επιστύλιο πάνω από τους κίονες και τις παραστάδες του πρόναου, στο εσωτερικό του πετρύου. Οι κίονες του πρόναου έχουν αξονικές σχέσεις με τους κίονες της περίστασης, έτσι διαμορφώνεται ένα συνεχές επιστύλιο με ζωφόρο πάνω από τη θύρα, το οποίο δεν σταματάει, όπως συμβαίνει συνήθως, στο πλάτος των παραστάδων, αλλά συνεχίζεται καθ' όλο το πλάτος των πλαϊνών πετρών. Οριοθετείται έτσι ένα ορθογώνιο διακοσμημένο με γλυπτά, οριζόμενο από την ανατολική πλευρά, τις βορειοανατολικές και νοτιοανατολικές γωνίες και τον πρόναο.

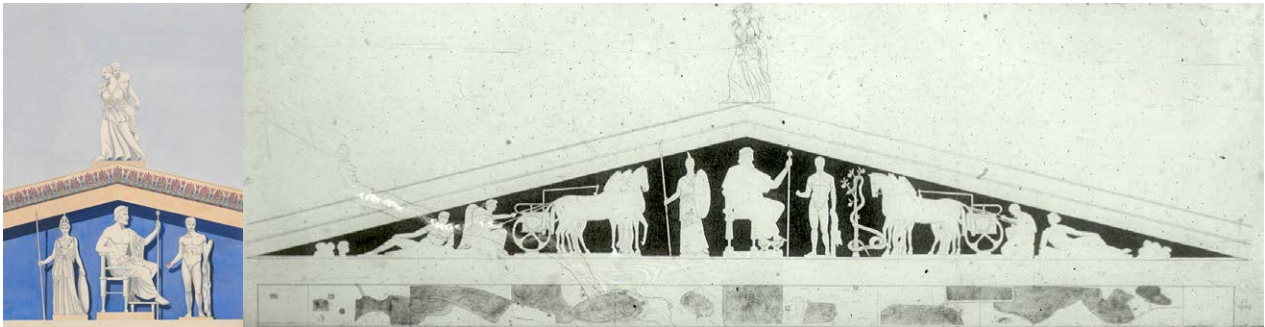
Το θέμα της ζωφόρου ήταν η μάχη του Θησέα με τους Παλλαντίδες, που επίσης διεκδικούσαν το θρόνο του Αιγέα, του πατέρα του Θησέα και βασιλιά της Αθήνας. Ανά τρεις εμφανίζονται έξι θεότητες που συμμετέχουν ή παρίστανται στη μάχη: η Αθηνά, η Ήρα και ο Δίας στην αριστερή πλευρά, ο Ήφαιστος, η Ιπποδάμεια και ο Ποσειδώνας στη δεξιά πλευρά. Ο ήρωας εμφανίζεται στο κέντρο να μάχεται τους αντιπάλους του, οι οποίοι του πετούν βράχους.

Τέλος, ιωνική ζωφόρος υπήρχε και στα δυτικά, πάνω από τον οπισθόδομο. Εδώ παρουσιαζόταν, σε συνεχή αφηγηματική διάταξη, η διαμάχη του Θησέα και του Πειρίθου με τους Κενταύρους του Πηλίου, η περίφημη θεσσαλική Κενταυρομαχία. Στο κέντρο της ζωφόρου δέσποζε η δημοφιλής σύνθεση με τους δύο Κενταύρους που θαβουν στη γη τον ανίκητο από όπλα Καιέα, παρά την προσπάθεια του Θησέα να σπύσει σε βοήθεια του.



13.06.1955

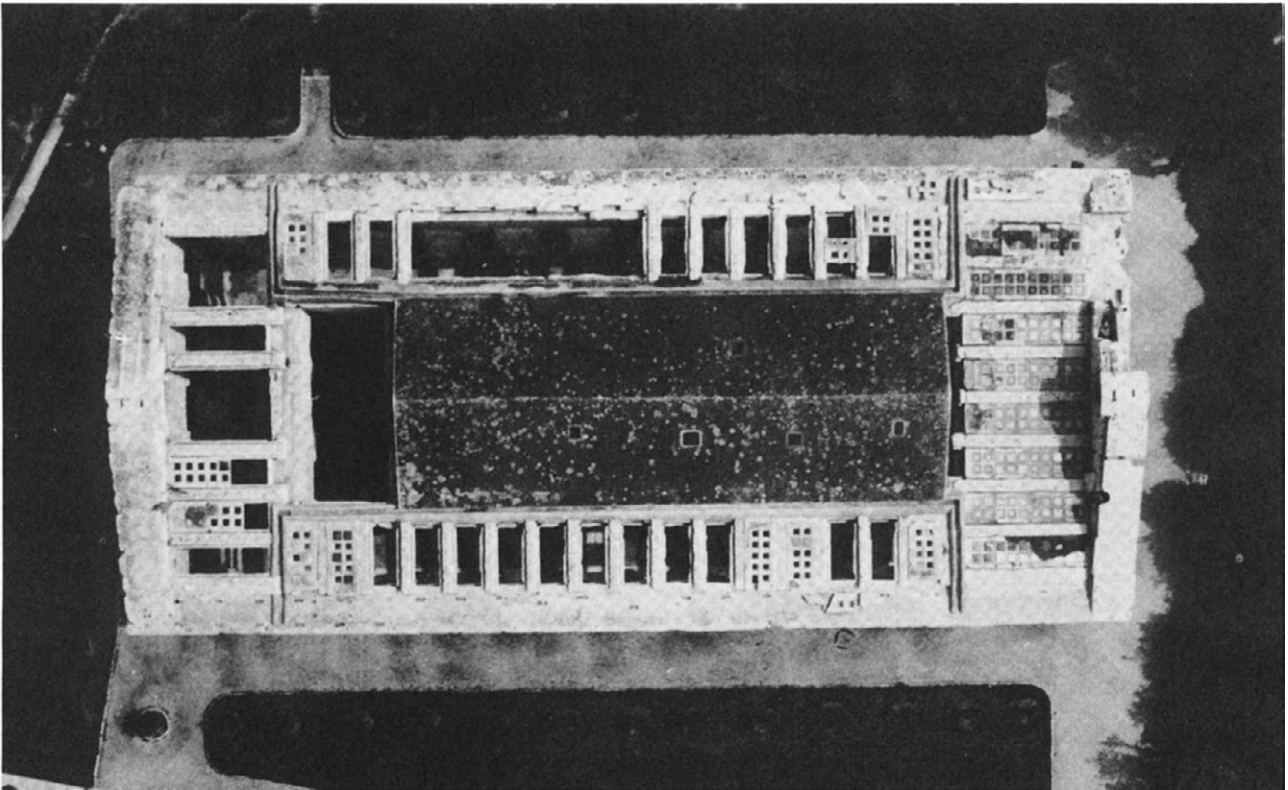
Τα αετώματα σώζονται σε πολύ αποσπασματικό βαθμό. Η παρουσία τους υποδηλώνεται από την ύπαρξη οπών στο έδαφος των αετωμάτων για την ένθεση και τη στερέωση γλυπτών. Κάποια θραύσματα γλυπτών από πεντελικό και παριανό μάρμαρο, που βρέθηκαν στον περιβάλλοντα χώρο, αποδίδονται στον γλυπτό διάκοσμο των αετωμάτων του ναού, όπως το αποσπασματικά σωζόμενο σύμπλεγμα δύο γυναικείων μορφών, από τις οποίες η μια μεταφέρει στον ώμο της την άλλη, ένα παιχνίδι που ήταν γνωστό ως εφεδρισμός [“Εφεδρισμός”, Μουσείο της Αρχαίας Αγοράς, αρ. ευρ. S 429] και ο κορμός μιας γυναικείας μορφής ενδεδυμένης με ένα διάφανο χιτώνα και με έντονο το στοιχείο της κίνησης, που θα μπορούσε να είναι ένα από τα ακρωτήρια του ναού [“Νηρηίδα”, Μουσείο της Αρχαίας Αγοράς, αρ. ευρ. S 182]. Τα αετωματικά γλυπτά εικάζεται ότι είχαν αφαιρεθεί από τους Ρωμαίους, ενώ σύμφωνα με τον Α. Ορλάνδο, το μεγαλύτερο τμήμα του βόρειου μισού του ανατολικού αετώματος του ναού καταστράφηκε από κανονιοβολισμό, το Νοέμβριο του 1826<sup>28</sup> από Έλληνες, οι οποίοι ήταν οχυρωμένοι στην Ακρόπολη και έβαλλαν εναντίον τούρκων που συναθροίζονταν στο ναό του Ηφαίστου.



28 Ορλάνδος, Α.Κ., ‘Πότε και από ποιούς κατεστράφη το ανατολικόν αέτωμα του Θεσείου’. Ανάτυπον της Νέας Εστίας, τεύχος 830/1.2. (1962)

## Φ. Η ΣΤΕΓΑΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

Η στέγη του ναού ήταν ξύλινη πάνω από τον σηκό (πιθανότατα με οριζόντια ξύλινη οροφή κάτω από τις δοκούς), ενώ το περιμετρικό πτερό στεγάζεται με μαρμάρινες δοκούς και φατνωματικές πλάκες.

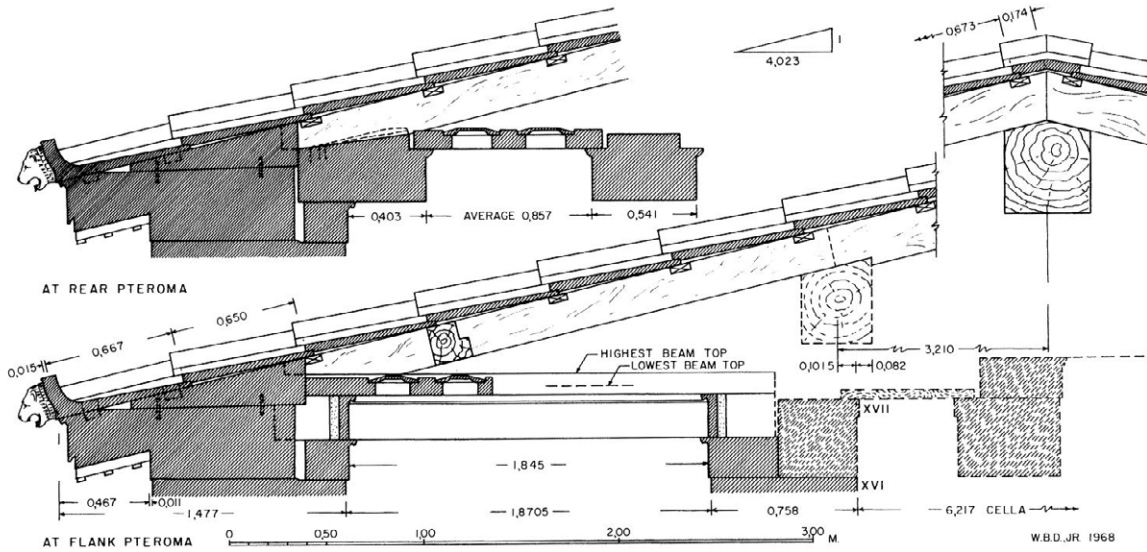


53

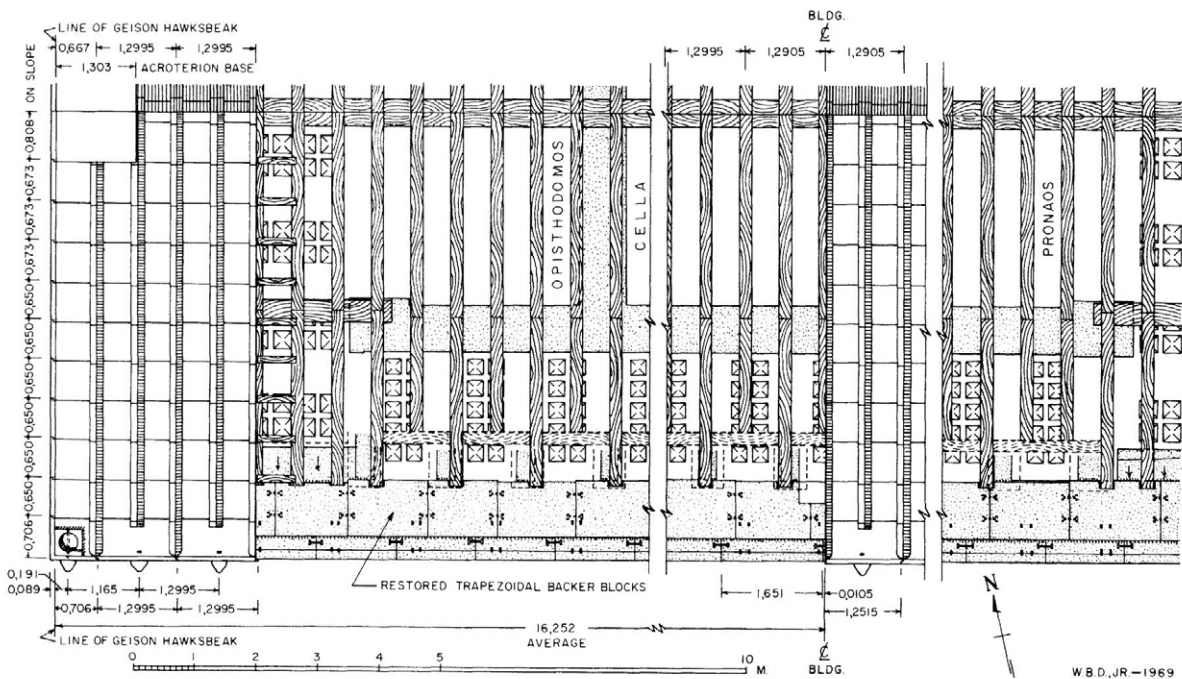
Ο W.B. Dinsmoor, Jr έδειξε ότι έγιναν ασυνήθιστες και ακραίες αλλαγές στον φέροντα οργανισμό της στέγης<sup>29</sup>, απαραίτητες για να αποφευχθεί φθορά στους εύθραυστους ουρανοί των φατνωμάτων. Η λύση των κατασκευαστικών ζητημάτων που προέκυψαν πρέπει να επέφερε περαιτέρω καθυστέρηση στην περάτωση του έργου.

Ο αρχιτέκτων του ναού βρέθηκε μπροστά σε μια δυσεπίλυτη κατάσταση σχετικά με τον ξύλινο φορέα της στέγης. Προσπάθησε να δώσει στη φατνωματική οροφή του πτερού το μεγαλύτερο δυνατό ύψος, σε σχέση με το εσωτερικό, με αποτέλεσμα τα κάτω τμήματα της διαδοκίδωσης του ξύλινου φορέα να συμπίπτει χωρικά με τις μαρμάρινες δοκούς του πτερού.

29 Dinsmoor, ο.π. σελ. 241-242



ILL. 4. Sections at west end and center of flank peristyle



ILL. 8. Partial plan of southern roof slope showing placement of rafters, ceiling beams and coffers

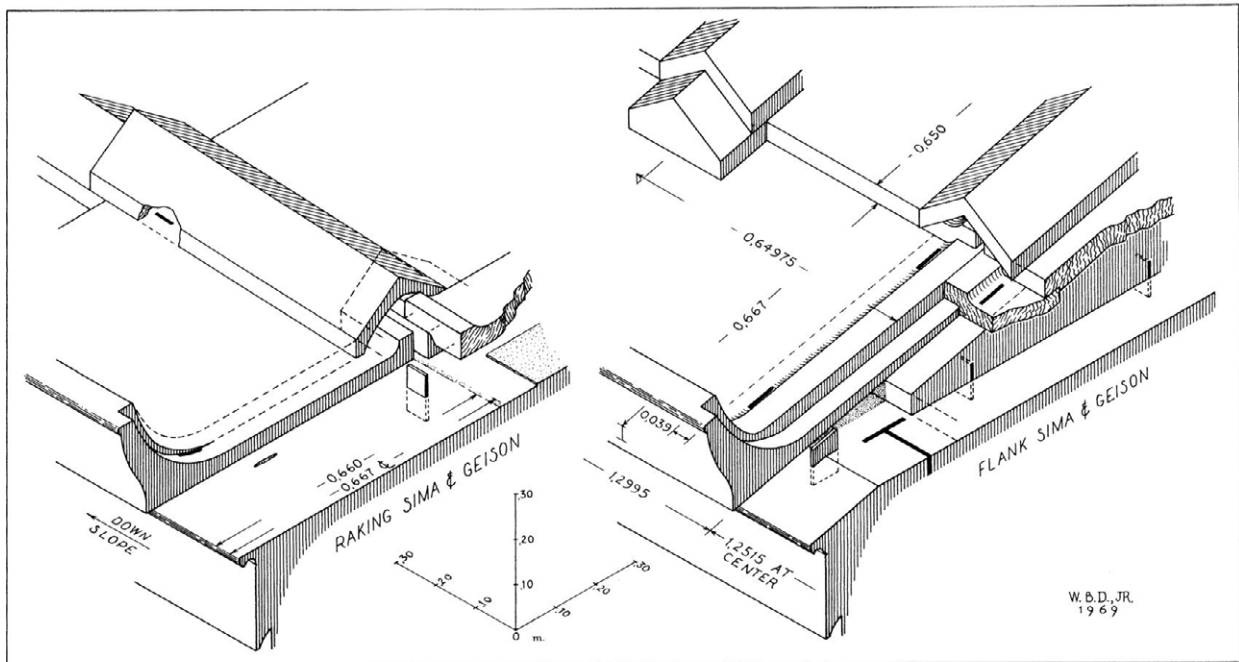
Τμήμα της νότιας πλευράς της οροφής όπου φαίνεται η διαδοκίδωση ξύλινου και λίθινου φορέα

Ανά δεύτερη, οι ξύλινες δοκοί δε συνέπιπταν επακριβώς με τις αντίστοιχες υποκείμενες τους μαρμάρινες δοκοί. Οι σίμες, οι μαρμάρινες δοκοί, η διαδοκίδωση της στέγης και οι μαρμάρινες πλάκες της στέγης χρησιμοποιούν ελαφρά διαφορετικούς κανάβους μεταξύ τους αλλά και με αυτόν που επικρατεί στο κτίριο μέχρι το επίπεδο του γείσου, γεγονός που περιέπλεξε περισσότερο τα πράγματα. Για να δοθεί λύση, πέρα από την απότμηση των ξύλινων δοκών στις άκρες τους και την εισαγωγή εγκάρσιων στοιχείων που τερματίζουν νωρίτερα τις ενδιάμεσες δοκοί, απολαξεύτηκαν έντονα και οι εξώτερες περιοχές της άνω παρειάς των μαρμαρίνων δοκών<sup>30</sup>.

Οι εργασίες στερέωσης στην οροφή από την Ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία, τα έτη 1973-1974, έχουν καλύψει πλέον τις εγκοπές των συνδέσμων και τα μοχλοβόθρια, έτσι είναι δύσκολη πλέον η περαιτέρω μελέτη της οροφής.

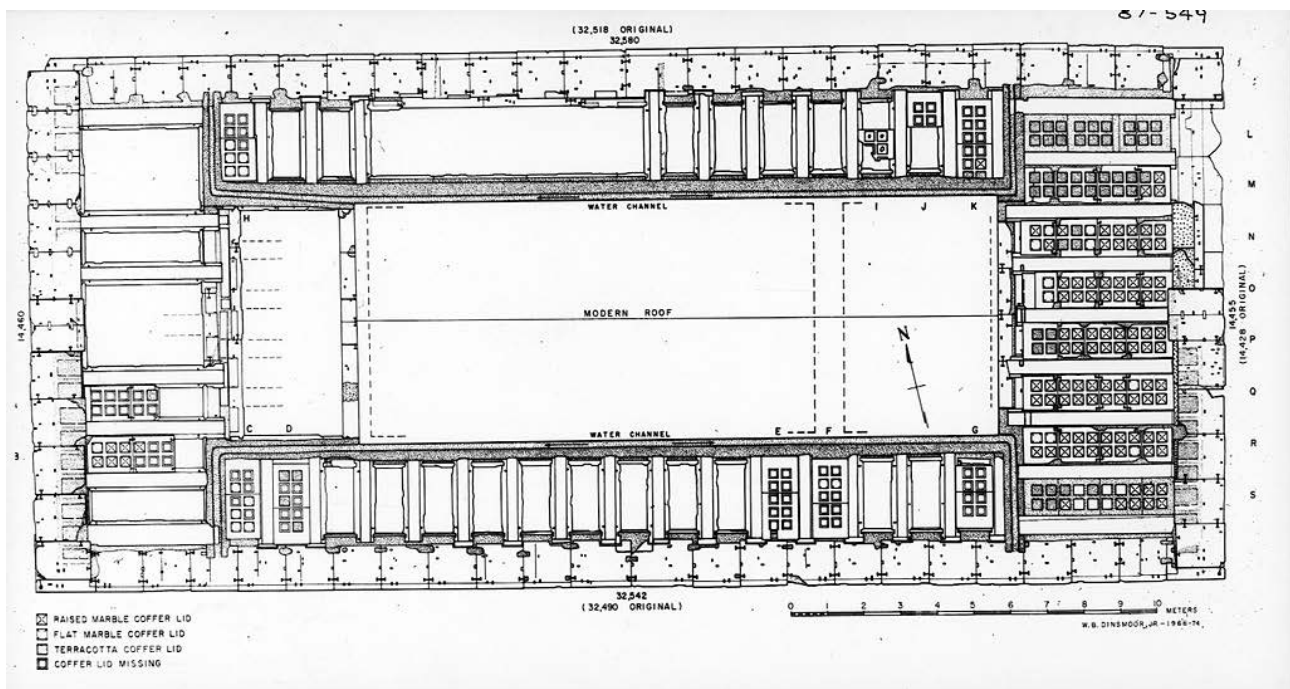
30 Η πεποίθηση περί «αρχιτέκτονα του Θησείου» επιβεβαιώνεται για τον Dinsmoor στο ότι ο ναός του Ποσειδώνα στο Σούνιο –ο αμέσως επόμενος ναός του- είχε πλέον διπλάσιες μαρμάρινες δοκοί στο πτερό, ώστε να συμπίπτουν με την ξύλινη οροφή.

Ο ναός έφερε πάνω από **2080** καλυπτήριες πλάκες οροφής από πεντελικό και παριανό μάρμαρο -όπως και τα μέλη της σίμας και του γείσου-, είναι όμως δύσκολη η ταυτοποίησή τους με σιγουριά ανάμεσα στην πληθώρα θραυσμάτων που βρέθηκαν στην περιοχή. Μερικά κομμάτια πλακών που βρέθηκαν στην κορυφή του κτιρίου το **1974**, κάποτε ενσωματωμένα στη βυζαντινή θολωτή κατασκευή καθώς έφεραν ίχνη κονιάματος, δίνουν κάποιες απαντήσεις<sup>31</sup>.



ILL. 3. Isometric sections of raking and flank simas and geisa

- Οροφή



56

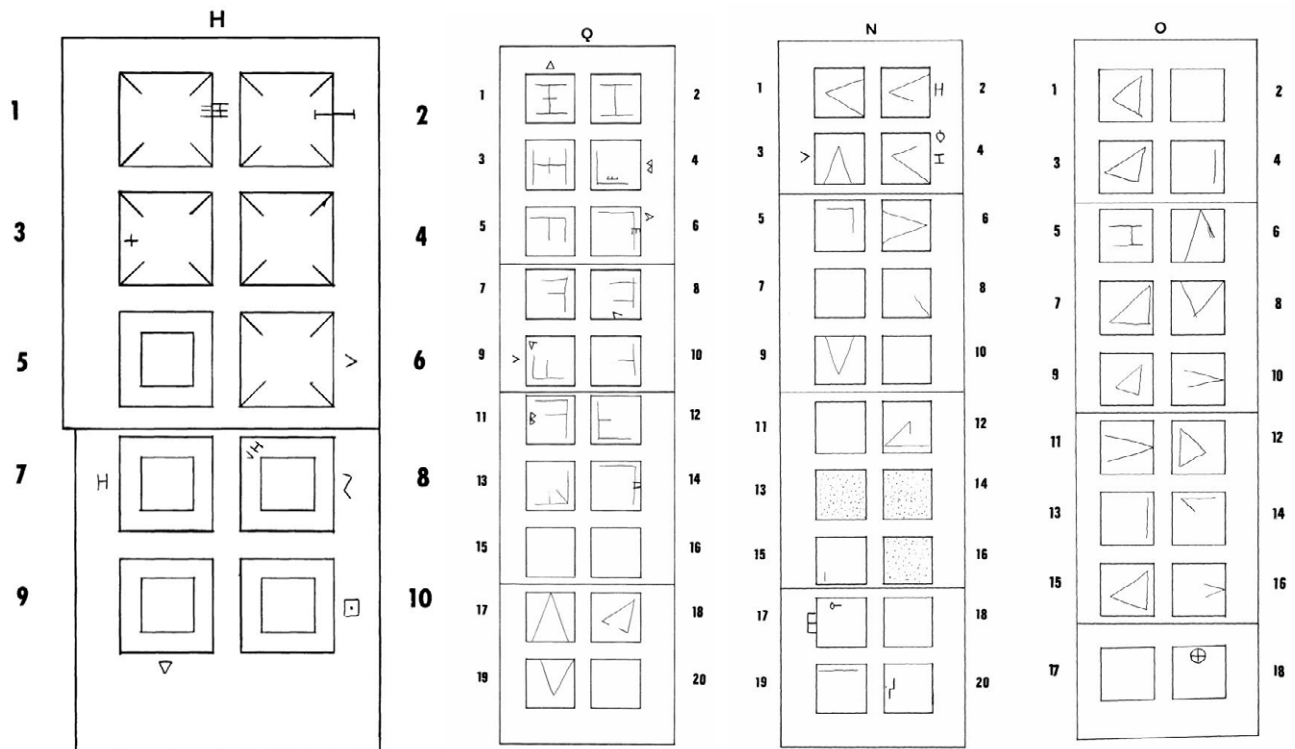
Για την κατασκευή της μαρμάρινης οροφής του πτερού χρησιμοποιήθηκαν λεπτές πλάκες που γεφυρώνουν τις κύριες μαρμάρινες δοκούς. Οι πλάκες έφεραν τέσσερα ή έξι τετράγωνα ανοίγματα σε δύο κατά μήκος σειρές. Το κάθε άνοιγμα σκεπαζόταν με λεπτό μαρμάρινο τετράγωνο πλακίδιο (ουρανός φατνώματος), το οποίο στόλιζαν μαϊάνδροι σε ποικίλες περιελίξεις, δωρικά και ιωνικά κυμάτια, αστέρια και ανθέμια σε ένα αρμονικό πολύχρωμο σύνολο. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορα είδη μαρμάρου: πεντελικό, καθώς και λευκό και σκουρόχρωμο νησιώτικο μάρμαρο. Ορισμένα καλύμματα είναι κατασκευασμένα από τερακότα και χρονολογούνται στους βυζαντινούς χρόνους. Κατά τις ανασκαφές στην Αρχαία Αγορά βρέθηκαν τμήματα της στέγης του ναού, από πεντελικό και παριανό μάρμαρο.

Η περίτεχνη αυτή κατασκευή με τους κινητούς ουρανούς, έγινε για να μειωθεί το συνολικό βάρος της οροφής και όχι για να υπάρχει δυνατότητα μετακίνησης τους αργότερα. Επιπρόσθετα, κάθε ουρανός έχει λαξευτεί για να ταίριαζε με ακρίβεια σε ένα μόνο φάτνωμα. Αυτή η μέριμνα, οδήγησε στη χρήση ποικίλων συμβόλων και γραμμάτων στα διάφορα μέλη, τα οποία κατά την τοποθέτηση υποδείκνυαν τη θέση και το σωστό προσανατολισμό κάθε ουρανού.

Έχουν καταγραφεί πάνω από **300** τέτοια σημάδια και βοηθούν πολύ τόσο στην απόλυτη χρονολόγηση του ναού, όσο και στο σχετικό προσδιορισμό της παύσης εργασιών και των αλλαγών στην κατασκευή της στέγασης<sup>32</sup>.

32 επίσης για τη μορφή του αττικού αλφαβήτου στα μέσα του 5<sup>ου</sup> αιώνα.





Υπάρχουν δυο διακριτές σειρές σημαδιών. Η μια χρησιμοποιεί παλαιότερες μορφές γραμμάτων που μοιάζουν να ανήκουν στη δεκαετία **460-450 π.Χ.**, ενώ η άλλη έχει μορφές που εμφανίζονται μετά το **420**. Από αυτό εικάζει ο **Dinsmoor** μια παύση μεταξύ **445-421**<sup>33</sup>.

Η καλύτερα διατηρημένη οροφή του ναού είναι αυτή του ανατολικού περιστυλίου, ενώ στο δυτικό, το βόρειο και το νότιο περιστύλιο έχει υποστεί μεγάλη φθορά. Η οροφή του οπισθόδομου δεν σώζεται πια, έχει όμως μελετηθεί και αναπαρασταθεί από τον **G. P. Stevens**.<sup>34</sup>

57



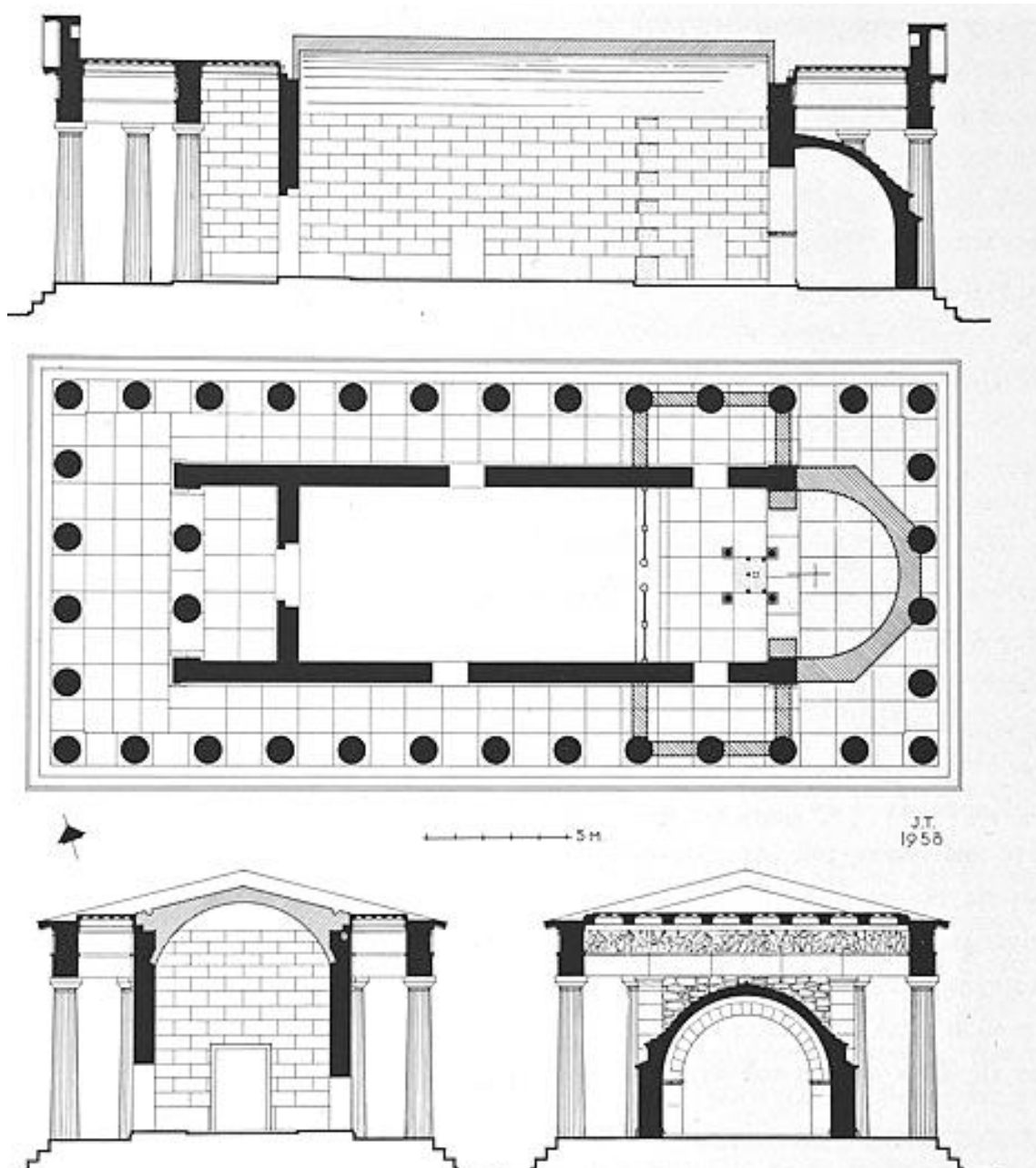
Οροφή νότιου πτερού. 1953

33 H The Ceiling of the Hephaisteion / William F. Wyatt, Jr. and Colin N. Edmonson / Source: American Journal of Archaeology, Vol. 88, No. 2 (Apr., 1984), pp. 135-167 / Published by: Archaeological Institute of America σελ.166

34 Stevens, G.P., 'The ceiling of the opisthodomus of the Theseum' A.J.A. 15, 18 (1911)

## G. ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΟΣ ΝΑΟΣ / ΝΕΟΤΕΡΕΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ

Κατά την παλαιοχριστιανική περίοδο, μεταξύ 5<sup>ου</sup> και 7<sup>ου</sup> αι. το Ηφαίστειο μετατράπηκε σε χριστιανική εκκλησία αφιερωμένη στον Άγιο Γεώργιο και λειτούργησε έτσι έως την απελευθέρωση της χώρας από τους Οθωμανούς. Το **1690** αναφέρεται επίσημα ως χριστιανικός ναός της Αθήνας, αφιερωμένος στον Άγιο Γεώργιο με το χαρακτηριστικό παρωνύμιο Ακαμάτης. Για την προσωνυμία αυτή υπάρχουν διάφορες εκδοχές, με την πιο πειστική να το αποδίδει σε παραφθορά του ονόματος του γιού του Θησέα και της Φαίδρας, του Ακάμαντα<sup>35</sup>. Ίσως συνέπεσε και με το ότι -κατά την τουρκοκρατία- στο ναό τελούνταν λειτουργία μόνο ανήμερα του Αγ. Γεωργίου.



Κάτοψη και τομές κατα μήκος και κατα πλάτος του Ηφαιστείου ως χριστιανικού ναού του Αγίου Γεωργίου στα μέσα 5<sup>ου</sup> αι., Σχέδια Ι. Τραυλού<sup>36</sup>.

Κατά τη μετατροπή αυτή ο ναός άλλαξε προσανατολισμό: η κύρια είσοδος έπρεπε να γίνεται πλέον από τα δυτικά, στον οπισθόδομο, στον τοίχο του οποίου ανοίχτηκε θύρα εισόδου. Το ανατολικό πτερό μετατράπηκε σε αψίδα του ιερού βήματος, αφού αφαιρέθηκαν οι δύο κίονες της πρόστασης, οι οποίοι αντικαταστάθηκαν με ημικυκλικό τόξο που στήριζε πλέον τα μαρμάρινα επιστύ-

35 Η οδός Ακάμαντος στο Θησείο που προσεγγίζει το ναό από τα νοτιοδυτικά, αναφέρεται από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αι.

36 Ι.Τραυλός, Πολεοδομική εξέλιξις των Αθηνών, 2<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα 1993, σελ. 143

λια. Ακόμα κατεδαφίστηκε ο εγκάρσιος ανατολικός τοίχος, τη θέση του οποίου πήρε το ξύλινο τέμπλο του ιερού.

Επίσης, έγινε διάνοιξη τεσσάρων πλευρικών εισόδων, δύο στο βόρειο και δύο στο νότιο τοίχο του σηκού. Οι πλευρικές αυτές θύρες –με εξαίρεση τη δυτικότερη του νότιου τοίχου – σφραγίστηκαν με πλίνθους, λίθινα θραύσματα και κονίαμα κατά την οθωμανική περίοδο και παραμένουν έτσι έως σήμερα.

Η ημικυλινδρική κάμαρα που αντικατέστησε την ξύλινη στέγη του Ηφαιστείου και καλύπτει σήμερα τον κυρίως ναό πρέπει να χτίστηκε κατά τη Μεσοβυζαντινή περίοδο, καθώς είναι ασύμβατη με την ύπαρξη της εσωτερικής κιονοστοιχίας. Μάλλον αυτή την περίοδο αρχίζει και το ξήλωμα του εσωτερικού μαρμάρινου δαπέδου. Σήμερα δε σώζονται παρά ελάχιστες μαρμάρινες πλάκες στο βόρειο και στο δυτικό περιστύλιο, ενώ στο ανατολικό περιστύλιο σώζονται οκτώ, οι οποίες καθώς ήταν κάτω από την αψίδα του ιερού γλίτωσαν τη λεηλασία.

Ο W.B. Dinsmoor σημειώνει δυο διακριτές χριστιανικές φάσεις:

1. Κατά την πρώτη περίοδο, περί τον 5<sup>ο</sup> αι. μ.Χ., το εσωτερικό του ναού φαίνεται να έχει υποστεί μικρές αλλαγές: το μαρμάρινο δάπεδο και η εσωτερική κιονοστοιχία φαίνεται ότι παρέμειναν άθικτα. Η ανατολική θύρα διευρύνθηκε για να διευκολύνει την πρόσβαση στην αψίδα του ιερού που αντικατέστησε τους δυο κίονες του πρόναου, εντούτοις οι άκρες του ανατολικού εγκάρσιου τοίχου παραμένουν. Το βυζαντινό κονίαμα που καλύπτει τους πρώτους έξι δόμους του σηκού, ανήκει σε αυτή την περίοδο καθώς φαίνεται να εφαρμόστηκε ενώ υπήρχε ακόμα η εσωτερική κιονοστοιχία και οι άκρες του ανατολικού τοίχου.

2. Στη δεύτερη φάση κατά τη Μεσοβυζαντινή περίοδο (9<sup>ος</sup> – 13<sup>ος</sup> μ.Χ. αιώνας), κατασκευάστηκε η μεγάλη ημικυλινδρική καμάρα που γεφυρώνει το πλάτος του ναού. Στην κάτω παρειά της δεν διακρίνεται κάποιο ίχνος του ανατολικού εγκάρσιου τοίχου, ενώ γεμίζει τις εσοχές που άφησε στους διαμήκεις τοίχους η αφαίρεση του άνω δομού του. [δόμος XIII, βλ. 2.1.1 Γ] Επίσης παρατηρούνται δυο μεσαιωνικής τεχνικής στο δομό αυτό, πιθανώς για να στηρίξουν το ξύλινο τέμπλο του ιερού που αντικατέστησε τον εγκάρσιο τοίχο. [βλ. φωτογραφία] Αυτό σημαίνει ότι τα υπολείμματα του τοίχου όπως και η εσωτερική κιονοστοιχία είχαν αφαιρεθεί πριν ξεκινήσει η οικοδόμηση της καμάρας<sup>37</sup>. Όλες αυτές οι αλλαγές είχαν γίνει σίγουρα μέχρι το 13<sup>ο</sup> αι., όπως υποδεικνύουν νομίσματα τάφων που βρίσκονται ακριβώς κάτω από την κιονοστοιχία.

Το κονίαμα του θόλου (ασβεστιτικής φύσης κονία με συνδυασμό ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών αδρανών) παρουσιάζει υδραυλικό χαρακτήρα και φαίνεται να είναι κονίαμα υδραυλικής ασβέστου, εντούτοις χρήζει περαιτέρω ανάλυσης. Μπορεί να χαρακτηριστεί «σκυρόδεμα», με αδρανή μεγάλα κομμάτια επιγραφικών και αρχιτεκτονικών θραυσμάτων, όπως τα κομμάτια μαρμάρινων καλυπτήριων πλακών που βρήκε ο Thomson το **1973** στην κορυφή του ναού. Η καμάρα υποστηριζόταν κατά την ανέγερση της από ξύλινο ικρίωμα, ίχνη του οποίου είναι εμφανή στην κάτω παρειά. Η διατομή του τόξου είναι κάτι λιγότερο από μισή έλλειψη και έτσι συναντά υπό γωνία τους πλαϊνούς τοίχους<sup>38</sup>.



Το κέντρο του τόξου βρίσκεται στην κορυφή του δόμου XIII (του δέκατου πάνω από τους ορθοστάτες),

37 Μια πρόχειρη ταφική επιγραφή του **1655**, χαραγμένη χαμηλά (δόμος IV) στο νότιο τοίχο στη θέση που έβρισκε τον ανατολικό, αποτελεί επιπλέον ένδειξη ότι τα υπολείμματα του εγκάρσιου τοίχου του πρόναου είχαν αφαιρεθεί νωρίτερα.

38 Διαστάσεων 62x170 χιλ, βάθους περίπου 20 χιλ, πρόχειρα λαξευμένα αλλά στα ανατολικά έχουν εντορμία 60° Observations, σελ. 12

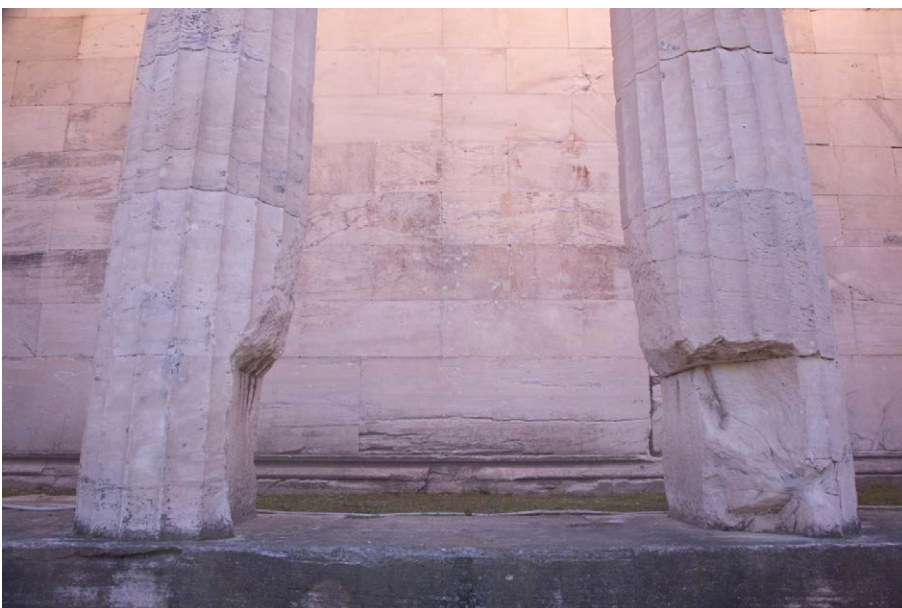
όμως, για ύψος τριών δόμων ακόμα η καμάρα έχει πολύ λεπτό πάχος που δίνει απλή συνάφεια με τον τοίχο. Δεν εδράζεται σε αυτόν, παρά στην κορυφή του δόμου XVI μέσω δυο προεξεχόντων λοβών.

Επίσης, τη δεύτερη αυτή περίοδο αυτή η ημικυκλική αψίδα του ιερού αντικαταστάθηκε από μια πολυγωνική. Το **1834** η αψίδα αντικαταστάθηκε με τη σειρά της από ευθύ τοίχο, χτισμένο κατά τη χορδή της. Τέλος, ο τοίχος αυτός κατεδαφίστηκε το **1936** από τον Α. Ορλάνδο, κατά την αναστήλωση των δύο κίωνων του πρόναου.



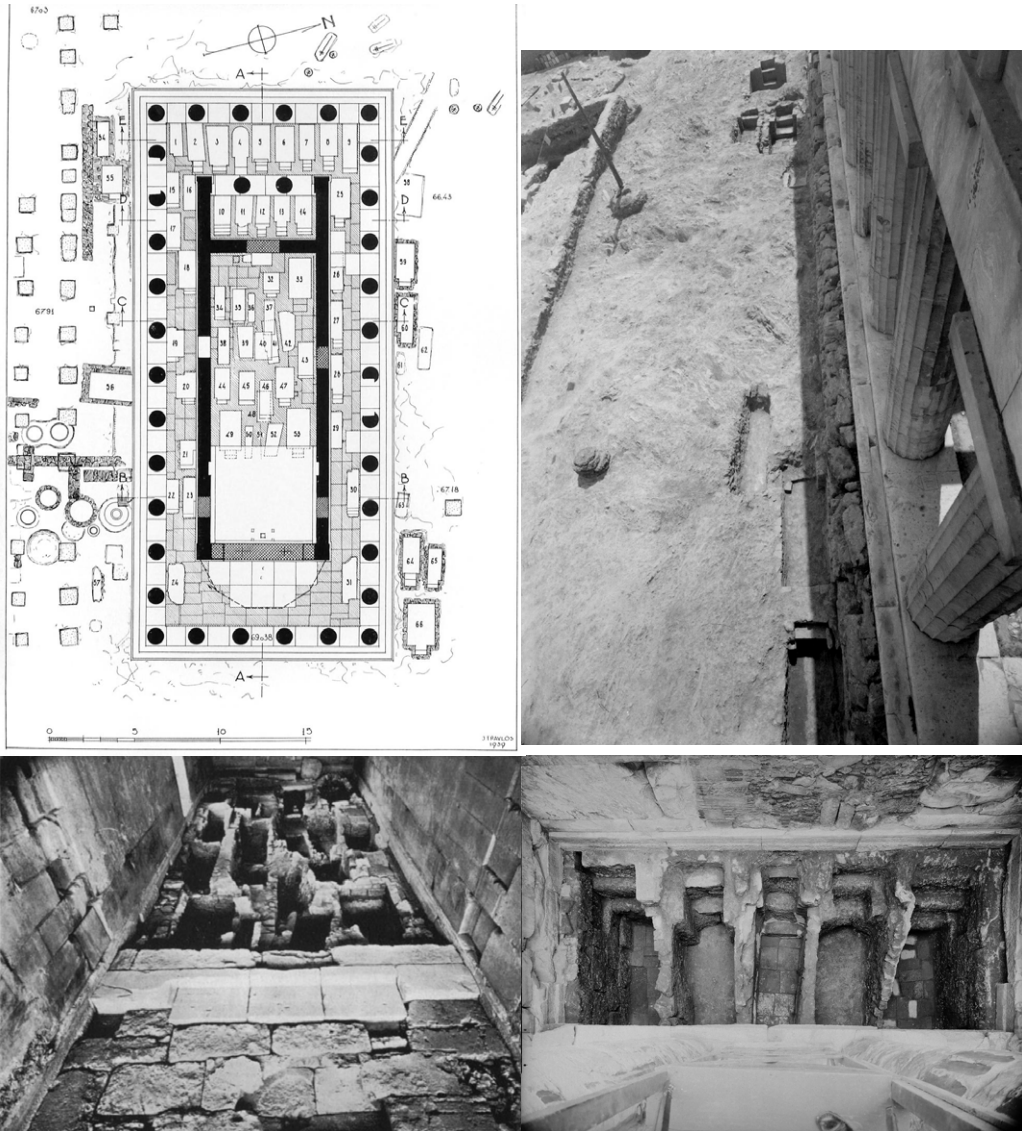
60

Σημαντικές φθορές φέρουν ο 6<sup>ος</sup> και 7<sup>ος</sup> κίονας (από τα ανατολικά) της βόρειας πλευράς και ο 2<sup>ος</sup> και 3<sup>ος</sup> κίονας (από τα δυτικά) της νότιας πλευράς καθώς έχει απολαξευτεί έντονα το κάτω μέρος τους με σκοπό τη διάνοιξη χώρου για την τοποθέτηση σαρκοφάγων στο πετρό. Η νότια σαρκοφάγος σφηνωνόταν από το εξωτερικό του περιστυλίου (δηλαδή προς βορρά), ενώ η βόρεια από το εσωτερικό του (και πάλι προς βορρά). Αυτό συνάγεται από την παρατήρηση ότι η λάξευση στενεύει προς βορρά και στις δυο περιπτώσεις, ενώ σταματάει απότομα πριν φτάσει την άλλη πλευρά του κίονα<sup>39</sup>.



39 Observations, σελ. 11. Τη σημασία των εγκοπών είχε επισημάνει και ο Κ. Πιττάκης (Αρχ. Ετ., 1853, σελ.939)

Όπως αναφέρθηκε, ο ναός και ο περιβάλλον χώρος του αποτελούσαν για αιώνες χριστιανικό χώρο ταφής. Οι ανασκαφικές εργασίες του **1939** αποκάλυψαν δεκάδες τάφους. Σε άμεση γειτνίαση με το ναό βρίσκονται 13 τάφοι (54-66), εκ των οποίων και μια στέρνα που βρισκόταν στο μέσο της νότιας πλευράς του (Τάφος 56). Εντός του περιστυλίου υπάρχουν 26 τάφοι (1-9, 15-31), 5 στον οπισθόδομο (10-14) και 22 στο σηκό (32-53). Οι πρωιμότεροι από τους τάφους του πτερού φαίνεται να είναι αυτοί του δυτικού περιστυλίου και του οπισθόδομου, που καταλαμβάνουν τις πιο προνομιούχες θέσεις σε σχέση με την κύρια δυτική είσοδο.



61

Περισσότεροι από 27 σκεπάζονταν με θολωτές κατασκευές από οπτόπλινθους ή πλίνθους με πέτρες και είχαν πέτρινα σκαλιά εξωτερικά. Οι υπόλοιποι καλύπτονταν με λίθινες ή μαρμαρίνες πλάκες, ενώ οι πιο εξεζητημένοι, είχαν κόκκινο ή λευκό επίχρισμα. Εκτός από αυτούς τους συχνά επαναχρησιμοποιούμενους τάφους, βρίσκεται μια πληθώρα απλότερων κατασκευών: ρηγά αυλάκια στο χώμα χωρίς επένδυση και καλυμμένοι με λίθινες πλάκες ή πλίνθους.

Οι περισσότεροι ήταν συλημένοι, όμως κυρίως τα νομισματικά ευρήματα και η αλληλουχία διάνοιξης των τάφων δίνουν μια εικόνα των περιόδων χρήσης τους. Πολύ λίγα ευρήματα από τον 4ο, 10<sup>ο</sup> και 11<sup>ο</sup> αιώνα –πιθανώς και λόγω επιδρομών– και λίγο περισσότερα του 12<sup>ου</sup> αι. Η περίοδος ακμής των μνημειακών αυτών θολωτών τάφων φαίνεται να είναι ο 13<sup>ος</sup> και 14<sup>ος</sup> αι., από τους οποίους βρέθηκε πληθώρα νομισμάτων.

Ταφές συνέχισαν να γίνονται και επί Τουρκοκρατίας, μάλιστα προς το τέλος της είχε επιτραπεί ο ενταφιασμός προτεσταντών μέσα στην εκκλησία. Πρόκειται για διακεκριμένους επισκέπτες οι οποίοι πέθαναν κοντά στην Αττική, ή συμμετείχαν στον απελευθερωτικό αγώνα. Πρώτος από όλους ήταν ο Άγγλος κλασικιστής και φίλος του λόρδου Elgin, John Tweddell που πέθανε στην Αθήνα το **1799**. Τον ενταφιασμό του ανέλαβε ο Γάλλος πρόξενος Monsieur Fauvel, ο οποίος ταυτόχρονα ήθελε να επιβεβαι-

ώσει την άποψή του ότι το «Θησείο» είχε όντως τα οστά του Θησέα. Έτσι έσκαψε τον τάφο ακριβώς στο κέντρο του σηκού (τάφος 40), βρίσκοντας μόνο «μεταγενέστερους τάφους».

Οι ανασκαφές αποκάλυψαν επίσης την επιτάφια πλάκα του **George Watson (1810)**, ενώ αναφορές γίνονται για τον **Benjamin Gott (1817)**, τον αυστριακό αρχαιολόγο βαρόνο **Carl Haller von Hallerstein (1817)**, τον **Thomas Melville Phillips (1818)** και την **Elizabeth Cumming (1818)**//// Ο **Marius Wohlgemuth (1822)**, ήταν ένας από τους φιλέλληνες που έπεσε τέλη Απριλίου **1822** ηγούμενος μιας ομάδας κρούσης μετά την πολιορκία της Ακροπόλεως και θάφτηκε την επόμενη μέρα στο Ηφαιστείο<sup>40</sup>.

Η χρήση του ναού σαν χώρος ενταφιασμού πιθανότατα σταμάτησε με το ξέσπασμα της Επανάστασης. Ο αυστριακός πρόξενος **Gropius** αναφέρει σε γράμμα του ότι τον Απρίλιο του **1824** η βορειοδυτική γωνία του ναού χτυπήθηκε από κεραυνό και ακολούθησε πλιάτσικο στους τάφους του ναού και του παρακείμενου μοναστηριού των καπουτσίνων, καθώς οι στρατιώτες έψαχναν για τιμαλή περιεχόμενα. Τους άνοιξαν όλους και σκόρπισαν τα περιεχόμενά τους, δίχως όμως να καταστρέψουν τις μαρμάρινες πλάκες του ναού.

Η τελευταία λειτουργία που έγινε στην εκκλησία ήταν τον Φεβρουάριο του **1833** όταν τελέστηκε δοξολογία για την άφιξη του Όθωνα στην Ελλάδα. Εδώ έγινε και η κοινοποίηση του βασιλικού διατάγματος το **1834** για την ανακήρυξη της Αθήνας σε πρωτεύουσα της Ελλάδας, οπότε και έλαβε χώρα η τελευταία δημόσια εκδήλωση στο ναό. Την ίδια χρονιά, με απόφαση της Ιεράς Συνόδου, απομακρύνονται από το ναό τα απομείναντα χριστιανικά στοιχεία. Από το **1835** έως το **1874** στέγασε το πρώτο Αρχαιολογικό Μουσείο της χώρας και αργότερα ως το **1936** στεγάζονταν ευρήματα των ανασκαφών της Αρχαίας Αγοράς, ώσπου απομακρύνθηκαν για να διεξαχθούν ανασκαφικές έρευνες γύρω και εντός του ναού.

Το **1922**, μετά το διωγμό του ελληνικού πληθυσμού από τη Μ.Ασία, στήθηκε προσφυγικός καταυλισμός στην περίμετρο του Ηφαιστείου.



## Η. ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Οι προσπάθειες για την προστασία των αρχαίων μνημείων στη νεότερη Ελλάδα προσέλαβαν συστηματικό χαρακτήρα το **1833** με την ίδρυση της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας και την ψήφιση το **1834** του πρώτου αρχαιολογικού νόμου που αποσκοπεί κυρίως στην προστασία από την αρχαιοκαπηλία των κινητών ευρημάτων. Το ζήτημα της συντήρησης, αποκατάστασης και ανάδειξης των κλασικών μνημείων τίθεται για πρώτη φορά από τον **Leo von Klenze** το **1834** και οι προτάσεις του υιοθετούνται μετά το **1837** από την Εν Αθήναις Αρχαιολογική Εταιρεία.<sup>41</sup>

Η πρώτη αναστηλωτική περίοδος εξελίσσεται μεταξύ **1834-1836** από τους **Leo von Klenze**, **L. Ross**, **C. Hansen** και **E.Schaubert**. Ο εμπειρισμός των αρχών αναστήλωσης αυτής της περιόδου απέδωσε μεν το αρχέτυπο σχέδιο και τη μορφή των μνημείων, απέβη όμως σε βάρος της αυθεντικής δομής, οδήγησε σε απώλεια βασικών στοιχείων και αυθεντικού υλικού και δημιούργησε αισθητική υποβάθμιση με τα ποικίλα χρωματικά και μορφολογικά συμπληρώματα. Στη φάση αυτή απομακρύνθηκαν ιστορικές φάσεις των μνημείων με το σκεπτικό του «καθαρισμού» τους από τις μετέπειτα προσθήκες.



63

Κατά την Οθωνική περίοδο **1836-1863**, οι **Κυριακός Πιπτάκης**, **Αλέξανδρος Ρίζος Ραγκαβής**, **A. Paccard** και ο **Λύσανδρος Καυταντζόγλου** εκτελούν εργασίες συμπλήρωσης, στερέωσης και στήριξης των δομικών υλικών. Ακόμη γίνονται συμπληρώσεις με νέο μάρμαρο ή από μάρμαρο προερχόμενο από διάσπαρτα μέλη.

Το **1860** η Αρχαιολογική Εταιρεία διενήργησε αναστηλωτικές εργασίες στο ναό, με την επιμέλεια του **Λ. Καυταντζόγλου**: Τοποθετήθηκαν στη θέση τους λίθοι από το ανατολικό αέτωμα και το βόρειο γείσο / έγινε επιχρωμάτωση στην ανατολική, βόρεια και δυτική πλευρά του ναού καθώς και στον παρακείμενο βράχο / και ενισχύθηκαν ορισμένα σημεία. Η δαπάνη καλύφθηκε από τον **Σ. Ν. Φραγκόπουλο**, ομογενή στην Αγγλία. Από τις εργασίες αυτές προέκυψαν αξιόλογες παρατηρήσεις σχετικά με την αρχιτεκτονική του ναού.



Το **1899** η Εταιρεία έκανε κάποιες πρόχειρες στερεωτικές εργασίες στο ναό.

Το **1904** έκανε επίσης εργασίες στερέωσης, και φρόντισε να τοποθετηθεί στη θέση της μετόπη η οποία ήταν ετοιμόρροπη.

Τέλος, το **1908** διενήργησε ανασκαφή στην Ανατολική και Βόρεια πλευρά του ναού με σκοπό να μελετηθεί το κρηπίδωμά του.

Το **1931** τις ανασκαφές στην Αρχαία Αγορά ανέλαβε η Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών

64



Οι πρώτες μέρες των ανασκαφών της Αρχαίας Αγοράς . 06.1931





Η περιοχή της βορειοδυτικής γωνίας 06.1936

Η ανασκαφική έρευνα στο Ηφαιστείο ξεκίνησε το **1936** από το άμεσο περιβάλλον του. Την περίοδο εκείνη αποκαλύφθηκε η περιτοίχισή του και αποκαλύφθηκαν κοιλότητες στο φυσικό βράχο εντός του περιβόλου του ναού, που μαζί με άλλα ευρήματα αποδεικνύουν ότι υπήρχε κήπος γύρω από τον ναό, ο οποίος δενδροφυτεύθηκε για πρώτη φορά τον 3<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα<sup>42</sup>.

Εκείνη την εποχή, κατά την περίοδο **1922- 1939** ξεκινά το πρώτο αναστηλωτικό πρόγραμμα του Α. Ορλάνδου που μαζί με τον Ε. Στίκα ξεκινούν εργασίες αναστήλωσης, στερέωσης και συντήρησης σε αρκετά μνημεία όπως και το ναό του Ηφαιστου. Ο Ορλάνδος ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό ως το τέλος του έργου του τις τακτικές του Μπαλάνου και συγκεκριμένα την αποκατάσταση σε μεγάλο βαθμό με υποθετική ανακατασκευή των μνημείων, την αντικατάσταση ή συμπλήρωση ελλειπόντων μελών ή τη συμπλήρωση των υφιστάμενων με ίδιο δομικό λίθο με τον αρχαίο, ο οποίος αποδίδεται σχηματοποιημένα με χονδρολαξεύσεις.

Το **1936-1937** κατά τη διάρκεια εργασιών για την αποκατάσταση των δύο δωρικών κιόνων του πρόναου και της οροφής του ανατολικού περιστυλίου, ο Ορλάνδος κατεδαφίζει τον μεταγενέστερο ευθύ τοίχο του ιερού (του **1835**). Εκεί βρέθηκαν εντοιχισμένα πολύ σημαντικά ευρήματα για την κατανόηση του εσωτερικού: ένα θραυσμα του ανώτερου επιστυλίου της εσωτερικής κιονοστοιχίας, το οποίο είναι κατασκευασμένο από πεντελικό μάρμαρο<sup>43</sup> και τα δύο μεγάλα κομμάτια από σκούρο ελευσινιακό ασβεστόλιθο που ανήκουν στο βάθρο λατρευτικών αγαλμάτων.<sup>44</sup> Κατά την κατεδάφιση του τοίχου, αποκαλύφθηκε ακόμα η εσωτερική επιφάνεια των ποδαρικών, των υφαψιδίων και της αψίδας, που επιχρισμένη έφερε τοιχογραφίες. Λόγω της κακής ποιότητας του κονιάματος, δε σώθηκαν ακέραιες κατά τις αναστηλωτικές εργασίες του Α. Ορλάνδου<sup>45</sup>.

Στις αρχές του **1939**, για να διερευνηθεί η θεμελίωση, η ύπαρξη ή μη προηγούμενου κτιρίου και η χρονολόγηση του, έγινε ανασκαφή στο σηκό και στο περιστύλιο του ναού, φέρνοντας στο φως τους τάφους που προαναφέρθηκαν. Για να διασφαλιστεί η σταθερότητα της κατασκευής και να αποκρυφθεί η εικόνα των θεμελίων, τον Αύγουστο του **1939** ξανακαλύφθηκαν με χώμα. Έγινε λεπτομερής καταγραφή των εργασιών που συνοδεύεται από φωτογραφίες και σχέδια.

42 Thompson, D.B., 'The garden of Hephaistos' *Hesperia* 6 (1937) σελ. 396-425

43 Hill, B.H. 'The interior colonnade of the Hephaisteion', *Hesperia*, suppl. VIII (1949)

44 Thompson, H.A., Wycherley, R.E., 'The Athenian Agora, vol. XIV: The Agora of Athens – The history, shape and uses of an ancient city center. ASCSA (1972)

45 Ορλάνδος, Α.Κ., Αρχείον των βυζαντινών μνημείων της Ελλάδος, τόμος Β (1936)



66

Το **1953** η Αμερικανική Σχολή Κλασικών σπουδών στην Αθήνα ξεκίνησε τον καθαρισμό της εσωτερικής ανατολικής ιωνικής ζωφόρου του ναού του Ηφαίστου από παχύ στρώμα μαύρων επικαθίσεων<sup>46</sup>. Η χημική ανάλυση των επικαθίσεων στα γλυπτά της ζωφόρου έδειξε ότι αποτελούνται από 2/3 ανθρακικό ασβέστιο και 1/3 κοινή λάσπη, η οποία πιθανότατα συγκεντρώθηκε σταδιακά μέσω υγρασίας που περνούσε από τους ανοιγμένους αρμούς των υπερκείμενων φατνωματικών πλακών. Η δυτική ζωφόρος, που δεν καλύπτεται από οροφή είναι απαλλαγμένη από επικαθίσεις εξαιτίας της συνεχούς έκθεσής της στη βροχή, ωστόσο έχουν απομειωθεί οι λεπτομέρειες των γλυπτών λόγω απόπλυσης της επιφάνειας και είναι γενικά πιο φθαρμένα.



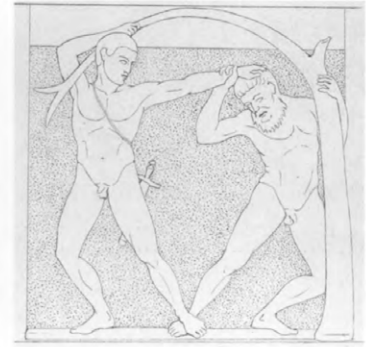
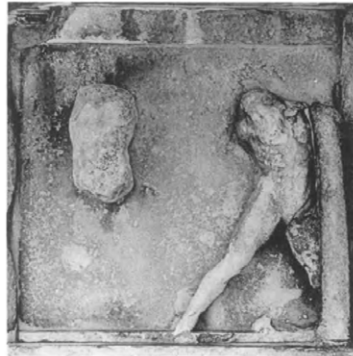
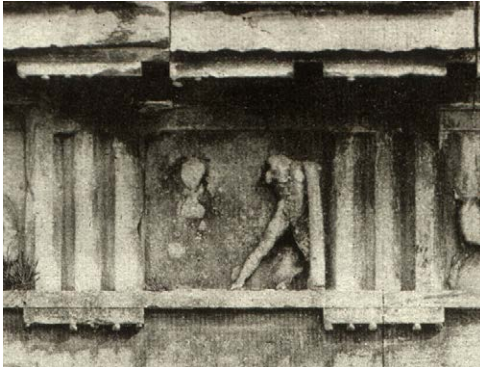
Οι επικαθίσεις απομακρύνθηκαν κυρίως με τη χρήση λεπτής ασάλινης σμίλης, ενώ παρατηρήθηκε ότι βοηθούσε και η ύγρανση των επιφανειών πριν από τον καθαρισμό. Η κρούστας άνω των 2χιλ. απομακρύνθηκαν με ελαφρύ χτύπημα με αμβλύ όργανο. Στο επίπεδο υπόβαθρο των μετώπων χρησιμοποιήθηκε μπρούτζινη βούρτσα. Κάτω από τις επικαθίσεις αποκαλύφθηκε η εκλεπτυσμένη τεχνική των γλυπτών και εντοπίστηκαν τα ίχνη μπλε, κόκκινων και πράσινων χρωστικών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι εργασίες τελείωσαν σε λιγότερο από 4 μήνες με δύο συντηρητές, ενώ έχει τηρηθεί αναλυτικό φωτογραφικό αρχείο<sup>47</sup>.

Το **1954**, κατά τις ανασκαφές στην Αρχαία Αγορά, βρέθηκε μαρμάρινος ανδρικός κορμός, ο οποίος αποδείχθηκε ότι άνηκε στην τρίτη μετόπη (από τα ανατολικά) της νότιας πλευράς, όπου και επανατοποθετήθηκε. Οι παραπάνω εργασίες πραγματοποιήθηκαν από την Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών, η οποία συνέχισε τις επεμβάσεις συντήρησης στο ναό του Ηφαίστου ως το τέλος της δεκαετίας. Εκείνη την περίοδο απομακρύνθηκε και ο όγκος χώματος που είχε σχηματιστεί στα νότια του ναού (με το προσωνόμιο «βουνού του

46 Frantz A., The Hephaisteion Revisited, *Archaeology*, Vol. 7, No. 4 (1954), σελ. 244-5

47 Thompson, H.A., 'Excavations in the Athenian Agora: 1953, Conservation', *Hesperia* 23 (1954)

Θησείου») από τις ανασκαφές της Αγοράς και αποκαταστάθηκε ο περιβάλλον χώρος του.



η 4<sup>η</sup> από ανατολικά μετόπη: το 1949 και το 1953 με τον κορμό του Θησέα αποκατεστημένο/ δεξιά: αναπαράσταση του μύθου με τον Σίνη



1951 / φύτευση από ναυτοπρόσκοπους 02.1955



Το **1973** η Εφορεία Αρχαιοτήτων Ακροπόλεως (σημερινή Α.Ε.Π.Κ.Α.) πραγματοποίησε εργασίες στους κίονες της βόρειας πλευράς του ναού, καθώς και στους κίονες, τους τοίχους και την οροφή της νότιας πλευράς.

Το **1975**, η ίδια Εφορεία Αρχαιοτήτων πραγματοποίησε εργασίες στους κίονες και στους τοίχους του σηκού της νότιας πλευράς του ναού, καθώς και στο αέτωμα και στο επιστύλιο της δυτικής πλευράς.

Σε ορισμένες περιοχές του ναού έχουν πραγματοποιηθεί εργασίες συντήρησης της επιφάνειας του μαρμάρου και του πωρόλιθου, οι οποίες συνίστανται στη συμπλήρωση τμημάτων που λείπουν, στη σφράγιση ρωγμών και τη συγκόλληση θραυσμάτων με ιλώσεις. Για τις εργασίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τσιμεντοκονιάματα και κονιάματα ποικίλης σύστασης, τα οποία σε αρκετά σημεία παρουσιάζουν φθορές, όπως απώλεια υλικού, συρρίκνωση και ρηγμάτωση.

αποκατάσταση της δυτικής θύρας-1959



## 2.2. ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ

### 2.2.1. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Μάρμαρα ονομάζονται τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα που έχουν προκύψει από μεταμόρφωση ασβεστόλιθων, δηλαδή ιζηματογενών ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστιτικών ή δολομιτικών). Έχει ολοκρυσταλλικό ιστό (πλήρεις, ευμεγέθεις κρύσταλλοι) και εμφανίζει αναπτυγμένη ή όχι σχιστότητα, πράγμα που κάνει τη θραύση του συνήθως ακανόνιστη. Επιδέχεται σχετικά εύκολη κοπή, λάξευση και λείανση, ιδιότητες που το έκαναν προτιμητέο στην αρχαιότητα για διακοσμητικό και δομικό υλικό. Τα λευκά μάρμαρα ήταν ιδανικά και σαν υπόστρωμα για τον πολύχρωμο γραπτό διάκοσμο που κάλυπτε πολύ μεγάλο μέρος των αρχιτεκτονικών στοιχείων, των γλυπτικών παραστάσεων και των αγαλμάτων.

Το κύριο ορυκτολογικό τους συστατικό ο ασβεστίτης  $\text{CaCO}_3$ , υπό την επίδραση θερμότητας και πίεσης σχηματίζει κρυστάλλους διαφόρων μεγεθών και προσανατολισμού του πλέγματος, οι οποίοι προκαλούν τις χαρακτηριστικές αντανakλάσεις του φωτός μέσα στη μάζα του (μαρμαρυγή)<sup>48</sup>. Ο ιστός του μαρμάρου είναι γρानοβλαστικός, δηλαδή όλοι οι κόκκοι του έχουν περίπου ίδιο μέγεθος<sup>49</sup>. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων των κρυστάλλων τους, τα μάρμαρα χαρακτηρίζονται ως λεπτοκοκκώδη (με μέγεθος κόκκων 0,01-0,5 χιλ), μεσοκοκκώδη (0,5-2 χιλ) και χονδροκοκκώδη (2-6 χιλ).

Πέρα από ασβεστίτη μπορεί να περιέχει επίσης και δολομίτη  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , ορυκτό σκληρότερο και βαρύτερο<sup>50</sup>, η παρουσία του οποίου καθιστά τη κατεργασία του μαρμάρου δυσχερή και επιταχύνει τις διαδικασίες φθοράς του. Τα μάρμαρα διακρίνονται σε ασβεστιτικά ή δολομιτικά, ανάλογα με την επικράτηση του ασβεστίτη ή του δολομίτη. Ο καθαρός ασβεστίτης είναι λευκός, αλλά διάφορες ορυκτές προσμίξεις και εγκλείσματα άλλων ορυκτών, όπως χαλαζία, ανθρακούχων ενώσεων καθώς και εμποτισμοί μετάλλων, προσδίδουν διάφορες αποχρώσεις στη μάζα του μαρμάρου με τη μορφή φλεβών και επηρεάζουν τις φυσικομηχανικές του ιδιότητες.

Έχει καλές μηχανικές ιδιότητες και παρουσιάζει γενικά μεγάλη αντοχή στους περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασιακές μεταβολές, υγρασία) – εξαιτίας και του μικρού πορώδους του, περίπου 0.3%. Ωστόσο, καταστρέφεται εύκολα από τη φωτιά, όπως και οι κοινοί ασβεστόλιθοι, καθώς περίπου στους **900°C** το ανθρακικό ασβέστιο αποσυντίθεται. Όλα τα άλατα ανθρακικών οξέων όπως ο ασβεστίτης, δεχόμενα την άμεση επίθεση οξέων, παράγουν διαλυτά οξέα και διοξείδιο του άνθρακα. Συνεπώς, η όξινη βροχή – αλλά και γενικότερα η ατμοσφαιρική μόλυνση – αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα φθοράς τους.

48 Η λέξη ετυμολογείται από την αρχαιοελληνική μάρμαρος [μαρμαίρω: αστράφτω], δηλαδή «λαμπερός λίθος». Αρχικά η λέξη μάρμαρος είχε την έννοια του βραχώδους όγκου και αργότερα από το 400 π.Χ. χρησιμοποιήθηκε με τη σημερινή της έννοια. Στα κλασικά χρόνια για να δηλώσουν το μάρμαρο χρησιμοποιούσαν τη λέξη λίθος.

49 Δελέγκου Α., «Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων καθαρισμού σε μαρμάρινες επιφάνειες μνημείων», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 2011

50  $\text{CaCO}_3$ : σκληρότητα 3 κατά Mohs, ειδ. βάρος 2,7 g/cm<sup>3</sup> –  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ : σκληρότητα 3,5-4 κατά Mohs, ειδ. βάρος 2,9 g/cm<sup>3</sup>. Οι κρύσταλλοι του δολομίτη παρουσιάζονται πιο επιμηκυμένοι από τους αντίστοιχους του ασβεστίτη και κρυσταλλώνονται σε άλλη δομή, ενώ το πορώδες του χαρακτηρίζεται υψηλό.

## 2.2.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ

Οι φιλολογικές μαρτυρίες για τους τρόπους εξόρυξης των μαρμάρων είναι λιγοστές έως ανύπαρκτες και με την παρακμή του αρχαίου κόσμου έχει διακοπεί η συνέχεια της υψηλής τεχνογνωσίας των αρχαίων λατόμων. Τα διάφορα ευρήματα ή οι όποιες διαπιστώσεις μας, προκύπτουν από έρευνες στα αρχαία λατομεία και από πειραματικές εφαρμογές μεθόδων που διατηρούνταν ως πρόσφατα –στις αρχές του περασμένου αιώνα- για την εξόρυξη του μαρμάρου. Η συστηματική μελέτη του Καθηγητή Μανόλη Κορρέ στο αρχαίο λατομείο του Πεντελικού και τα μνημεία της Ακρόπολης, φωτίζει τη διαδικασία εξόρυξης και μεταφοράς των μαρμάρινων μελών. Παρακάτω παρατίθενται στοιχεία από το βιβλίο του «Από το λατομείο στον Παρθενώνα»<sup>1</sup>.

Εν γένει τα αρχαία λατομεία μπορούν να διακριθούν σε περιστασιακά ή μόνιμα. Τα περιστασιακά εξυπηρετούσαν ευκαιριακά τις ανάγκες ενός συγκεκριμένου έργου, ενώ στα μόνιμα οργανωμένα λατομεία εξόρυσσαν υλικό για διάφορα έργα, το οποίο και μεταφερόταν ενίοτε σε μεγάλες αποστάσεις. Ως προς τη θέση του κοιτάσματος, διακρίνονται σε επιφανειακά (οριζόντια, ή κλιμακωτά προς τα πάνω) και υπόγεια, όπου διανοίγονταν στοές που έφταναν ως τη φλεβα του υλικού. Στα υπαίθρια λατομεία, πριν την έλευση του σιδήρου, η θραύση και αποκοπή του υλικού γινόταν με διαβροχή ξύλινων σφηνών ή με αυλακίες που ανοίγονταν με πριόνι και ειδική σκόνη (σμίριδα). Αργότερα χρησιμοποιούνταν σφήνες, λαστοί και άλλα σιδερένια λιθοξοϊκά εργαλεία, τα οποία κατά την κλασική εποχή είχαν φτάσει σε πολύ υψηλή τεχνολογική ποιότητα.

Οι λατόμοι έπρεπε να κάνουν προσεκτική διαλογή των λατομήσιμων όγκων με κριτήριο όχι μόνο την αντοχή του μαρμάρου, αλλά και την καθαρότητά του από προσμίξεις, ατέλειες και εσωτερικές ασυνέχειες (κομμούς) και την επιδεκτικότητα του σε λεπτή κατεργασία. Για κάθε αρχιτεκτονικό μέλος που είχε παραγγελθεί, εξόρυσσαν τον τριπλάσιο όγκο πετρώματος, καθώς τα 2/3 του χάνονται στα διάφορα στάδια κατεργασίας. Στη λατόμηση ενός όγκου χρησιμοποιούσαν τους φυσικούς αρμούς του μητρικού πετρώματος, όπου οι εξειδικευμένοι τεχνίτες έσκαβαν τα κατάλληλα αυλάκια για να τοποθετήσουν σιδερένιες σφήνες, ελάσματα (πέταλα) και μεγάλους μοχλούς. Μετά από μια πολύ κοπιώδη διαδικασία συντονισμένων χτυπημάτων των σφηνών με βαρειές, ο όγκος αποκολλώνταν και σταδιακά τα αυλάκια βάθαιναν ώσπου να μπορούν να χωρέσουν τους εργάτες.

Για να προσαρμοστεί ο ακανόνιστος όγκος μαρμάρου σε μια μορφή πλησιέστερη προς την τελική του αρχιτεκτονικού μέλους, τον λάξευαν αφαιρώντας περιττό υλικό και επιπεδώνοντας τις πέντε εκτεθειμένες του έδρες. Το κάτω μέρος λαξευόταν μετά την ελεγχόμενη ανατροπή του όγκου στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο του λατομείου. Πριν ξεκινήσει η μεταφορά του όγκου, δεχόταν περαιτέρω προσεκτική χονδρολάξευση ώστε να μειωθεί περαιτέρω το βάρος και να αποκαλυφθούν τυχόν ατέλειες.<sup>2</sup> Από κάτω του έστηναν ένα στέρεο ξύλινο έλκηθρο, το οποίο με βαρούλκα και σκιοινιά τραβούσαν σε προσωρινό πλάτωμα ή ως την έξοδο του λατομείου όταν εγκρινόταν για μεταφορά.

Η μεταφορά των ογκόλιθων από το λατομείο στο εργαστήριο ονομαζόταν από τους αρχαίους λιθαγωγία ή κομιά και δεν ήταν πάντα εύκολη, γιατί πολύ συχνά η απόσταση ήταν μεγάλη και το έδαφος ορεινό και ανώμαλο, ενώ άλλες φορές μεσολαβούσε θάλασσα. Συνήθως, για μικρές και οριζόντιες αποστάσεις και για όγκους όχι μεγάλους, χρησιμοποιούσαν φάλαγγες ή σκυτάλες (κυλινδρικά ξύλα). Γενικά ήταν οικονομικότερη η θαλάσσια μεταφορά σε φορηγίδες λιθαγωγούς στις οποίες στοίβαζαν τους μικρότερους όγκους, ενώ τους μεγαλύτερους -εκμεταλλεόμενοι την άνωση- τους αναρτούσαν στο νερό από ξύλινα δοκάρια, που πατούσαν σε δύο αμφίπρυμες φορηγίδες.

1 Μανόλης Κορρέ, Από το λατομείο στον Παρθενώνα, εκδ. Μέλισσα, 2000

2 Σε αυτό συνηγορούν διάφορα ημιτελή κιονόκρανα, στήλες και αγάλματα που βρέθηκαν σε αρχαία λατομεία μαρμάρου.

Στην περίπτωση της Πεντέλης το ημίεργο μέλος ξεκινούσε την καταβίβασή του μέχρι το σταθμό φόρτωσης των αμαξών. Η καταβίβαση («καταγωγή») γινόταν κατά μήκος ενός πολύ κατηφορικού, στενού, λιθόστρωτου δρόμου, με τη βοήθεια πασσάλων και σχοινιών που μετρίαζαν την ορμή του. Το μέλος φορτωνόταν σε μεγάλη τετράτροχη άμαξα που έσερναν πολλοί ημιόνιοι, για να διανύσει την απόσταση των σχεδόν είκοσι χιλιομέτρων ως την Αθήνα.

Στο εργοτάξιο γινόταν η τελική κατεργασία των μελών, στα οποία συχνά αφήνονταν ημίεργα τμήματα που ολοκληρώνονταν μετά την τοποθέτηση (όπως οι ραβδώσεις των κιόνων). Επίσης δέχονταν την κατάλληλη κατεργασία για την ανύψωση, τοποθέτηση και μολυβδοχόησή τους: ημικυκλικές αύλακες και σφηνοειδείς εγκοπές για την ανύψωση, μοχλοβόθρια για την τοποθέτηση με λοστούς, εντορμίες και αύλακες για την εισαγωγή σιδερένιων συνδέσμων και τη μολυβδοχόησή τους.



Τμήμα λατομικής τάφρου σε μικρό ανώνυμο λατομείο της Πεντέλης, ανατολικότερα του Νυμφαίου

### 2.2.3. ΤΑ ΜΑΡΜΑΡΑ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ

#### ΠΕΝΤΕΛΙΚΟ

Το περίφημο κατά την κλασική εποχή πεντελικό μάρμαρο έχει διάφορες ποιότητες, αλλά γενικά είναι ένα λευκό διαυγές και λεπτόκοκκο μάρμαρο χωρίς διάστιξη ή έντονες διάσπαρτες φλέβες μιας και φέρει μόνο πολύ μικρό ποσοστό οξειδίων και άλλων προσμίξεων (ενίοτε παρατηρούνται κυανίζουσες και υπότεφρες γραμμές). Η σχιστότητα που παρουσιάζει διευκολύνει την εξόρυξη των ογκόλιθων και τη μηχανική κατεργασία του. Έχει πολύ συνεκτικό ιστό και αντοχή στη θραύση<sup>3</sup>, ενώ κατεργάζεται και στιλβώνεται σχετικά εύκολα, ιδιότητα που το έκανε κατάλληλο για τις ποικίλες του χρήσεις – διακοσμητική, δομική και γλυπτική. Όταν τα πεντελικά μάρμαρα εκτεθούν στην (μη-ρυπασμένη) ατμόσφαιρα, δημιουργείται μια χρυσή πατίνα που οφείλεται σε οξειδία του σιδήρου.

Εκτός από τον ασβεστίτη και το δολομίτη, τα ορυκτά που κυρίως συμμετέχουν στη σύσταση του μάρμαρου είναι:

- **Μοσχοβίτης:** που αποτελεί και το συνηθέστερο πυριτικό συστατικό του Πεντελικού μαρμάρου. Τα φυλλάκια του (συνήθως αργυρόχρωμα και σπανιότερα τεφροπράσινα) εμφανίζονται μεμονωμένα ή διάσπαρτα εντός του πετρώματος, είτε συγκεντρώνονται κατά μήκος ρωγμών, ραφών ή στρωσιγενών επιφανειών σε φακοειδή συσσωματώματα.
- **Χλωρίτης:** κυρίως τα ανοιχτόχρωμα πεντελικά μάρμαρα, είναι πλούσια σε χλωρίτη που συνήθως συναντάται μαζί με τον μοσχοβίτη<sup>4</sup>.
- **Χαλαζίας:** συναντάται σπάνια, αλλά σε μερικές ζώνες μαρμάρου που βρίσκονται σε επαφή με σχιστόλιθους, είναι άφθονος και μπορεί να σχηματίζει λεπτά φλεβίδια ή φλέβες μαζί με διάφορα άλλα πυριτικά ορυκτά<sup>5</sup>.

72

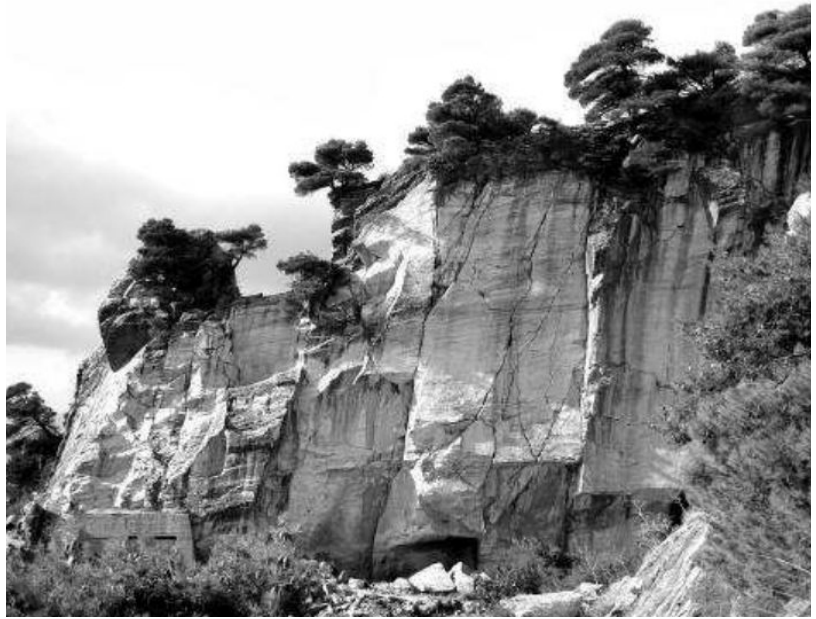
Καθότι τα περισσότερα μέλη των αρχαίων ναών και ο γλυπτικός τους διάκοσμος ήταν επιζωγραφισμένα, η λευκότητα και η καθαρότητα του πεντελικού μαρμάρου το καθιστούσε ιδανικό για υπόβαθρο. Επίσης στα γλυπτά-όπου ήταν πολύ δημοφιλές- η φυσική χρυσωπή πάτινα που αποκτά, αποδίδει γλαφυρά τα εκτεθειμένα μέρη του ανθρώπινου σώματος. Πέρα από το Ηφαιστείο και τον Παρθενώνα, από πεντελικό μάρμαρο έχουν κατασκευαστεί μεταξύ άλλων το Ερέχθειο και τα Προπύλαια της Ακρόπολης, ο ναός του Ολυμπίου Διός και πολλά σημαντικά κτίρια των Αθηνών και άλλων αρχαίων πόλεων της Ελλάδας (το Τελεστήριο της Ελευσίνας, ο ναός του Ασκληπιού της Γόρτυνας κτλ) Κατά τους νεότερους χρόνους πεντελικό μάρμαρο χρησιμοποιήθηκε σε πολλά μεγάλα δημόσια κτίρια, μεταξύ αυτών και η Ακαδημία Αθηνών.

3 Η θλιπτική αντοχή του είναι 1091 kg/cm<sup>2</sup>. // εφελκυστική αντοχή: 130-390 kg/cm<sup>2</sup>.

4 Δελέγκου Α., «Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων καθαρισμού σε μαρμαρίνες επιφάνειες μνημείων», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Επιβλέπουσα: Α. Μοροπούλου, Αθήνα, 2011

5 Σαπουντζής Σ. Η., Χριστοφίδης Θ. Γ.: «Ορυκτοδιαγνωστική», University studio press, Θεσσαλονίκη, 1985





Η εντατική εκμετάλλευση του λατομείου, γνωστό και ως «Λατομείο της Σπηλιάς», στη νοτιοδυτική πλευρά του όρους Πεντελικού (Κοιλιάδα της Σπηλιάς), ξεκίνησε ουσιαστικά για να τροφοδοτήσει την κατασκευή του Παρθενώνα. Πριν από αυτό υπήρχαν μόνο μικρές επιφανειακές εκμεταλλεύσεις, καθώς το μάρμαρο χρησιμοποιούνταν μόνο σε αγάλματα και μικρά αρχιτεκτονικά στοιχεία –και εξάλλου το παριανό ήταν προτιμότερο. Παλαιότερα η ζήτηση δομικών υλικών για τα τους ναούς καλυπτόταν από τον πωρόλιθο του Πειραιά<sup>6</sup> και αργότερα από το πιο δύσκολο σε κατεργασία μάρμαρο του Υμηττού. Στα κατάλοιπα των αρχαίων λατομείων περιλαμβάνονται πολυάριθμα λαξευτά μέτωπα και σκάμματα, επιμελώς διαμορφωμένες αποθέσεις λάτυπης, αρχαίες οδοί κλπ., κυρίως σε μια συνεχή ζώνη μήκους τριών σχεδόν χιλιομέτρων στη νότια πλευρά του κεντρικού όγκου του Πεντελικού.

73

Κατά την ύστερη ρωμαϊκή εποχή φθίνει η δημοφιλία του, καθώς αλλάζουν και οι αισθητικές προτιμήσεις προς τα έγχρωμα μάρμαρα. Η νεότερη εξόρυξη στην Πεντέλη άρχισε το **1836**, επί της βασιλείας του Όθωνα και συνεχίστηκε μέχρι το **1976** σε διάφορες θέσεις της νότιας πλευράς του Πεντελικού όρους. Δυστυχώς, όμως, τα σύγχρονα λατομεία αναπτύχθηκαν ως επί το πλείστον στη θέση των αρχαίων, με αποτέλεσμα την καταστροφή τους σε τεράστιο ποσοστό. Το λατομείο της Σπηλιάς διατηρεί αρκετά αρχαία ίχνη, παρά τη μετέπειτα λατόμευση και την πλήρωση των τάφρων με λιθάρια και λατύπη. Από το **1976** η εξόρυξη πεντελικού μαρμάρου συνεχίζεται μόνο στην αθέατη από το λεκανοπέδιο των Αθηνών βόρεια πλευρά της Πεντέλης, στην περιοχή του Διονύσου.

6 ακτίτης λίθος, ο οποίος πιθανό να έχει χρησιμοποιηθεί στη θεμελίωση του Ηφαιστείου

## ΠΑΡΙΑΝΟ

Στο γλυπτό διάκοσμο και μέρη της οροφής

Το περίφημο μάρμαρο της Πάρου με το όνομα «**Λυχνίτης**» («**λυχνεύς**», «**παρία λίθος**» στην αρχαιότητα) εξορυσσόταν εντατικά από τον 7<sup>ο</sup> αι. π.Χ., ενώ η λατόμευση είχε ξεκινήσει ήδη από την πρωτοκυκλαδική εποχή (3200-2000π.Χ)<sup>7</sup>. Τα φυσικά του χαρακτηριστικά το καθιστούν προτιμητέο για αγάλματα και γλυπτά αρχιτεκτονικά στοιχεία.<sup>8</sup> Λυχνίτης χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ξακουστών αγαλμάτων της αρχαιότητας, όπως η Αφροδίτη της Μήλου, ο Ερμής του Πραξιτέλη και η Νίκη της Σαμοθράκης. Η αντοχή του πετρώματος είναι αρκετά μεγάλη, χωρίς να εμφανίζει υψηλή σκληρότητα, ενώ διαθέτει μεγαλύτερη λάμψη και καθαρότητα χρώματος σε σχέση με το πεντελικό, καθώς και πιο ιστροπική συμπεριφορά. Ο Λυχνίτης είναι χιονόλευκος με μια ελαφρά κυανότεφρη απόχρωση και είναι ένα μεσοκοκκώδες πέτρωμα με γρανοβλαστικό συμπαγή ιστό και δεν παρουσιάζει δυσκολίες στην στίλβωση και γενικά στην επεξεργασία. Οι κρύσταλλοι ασβεστίτη, ανώμαλου γενικά σχήματος, είναι διαυγείς, ιδιότητα στην οποία οφείλεται η έντονη διαφάνεια τεμαχίων πάχους μέχρι και 7 εκατοστά. Ο σκεδασμός του φωτός κάτω από την επιφάνειά του προσδίδει ιδιαίτερη ζωνρότητα στις γλυπτικές μορφές, κυρίως στα τμήματα που αποδίδουν γυμνό ανθρώπινο σώμα.

Το αρχαίο λατομείο του Λυχνίτη βρίσκεται σε απόσταση 5,5 χλμ. βόρεια από την Παροικιά της Πάρου και η εξόρυξη του γινόταν υπόγεια, με τη διάνοιξη εκτεταμένων στοών, εξ' ου και η ονομασία του από τους λύχνους που φώτιζαν τις στοές. Κατά το μεγαλύτερο τμήμα είχε εκμεταλλευτεί ήδη κατά την αρχαιότητα, εν η εξόρυξη σταμάτησε τον 7<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα. Ίχνη των αρχαίων εργασιών διατηρούνται ακόμα. Παρ' όλο που κατά τους νεότερους χρόνους έγινε κατά περιόδους εξόρυξη μικρών ποσοτήτων μαρμάρου από τα υπόγεια μέτωπα, η εξόρυξή του θεωρείται σήμερα ασύμφορη.

Στο ναό του Ηφαίστου έχει χρησιμοποιηθεί για την πλειοψηφία του γλυπτού διακόσμου, αλλά και σε μέρη της φατνωματικής οροφής.

7 Σε παριανό μάρμαρο είναι κατασκευασμένα και τα γνωστά κυκλαδίτικα ειδώλια

8 Χρησιμοποιήθηκε επίσης σαν δομικό υλικό στον Θησαυρό των Αθηναίων στους Δελφούς, αλλά και στο Ναό του Σολομώντος στην Ιερουσαλήμ.

## 2.3. Η ΦΘΟΡΑ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

### 2.3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΦΘΟΡΑ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ

Φθορά καλείται η απομείωση στο χρόνο των ιδιοτήτων (φυσικών, χημικών, μηχανικών κ.α.) και των χαρακτηριστικών (ορυκτολογικών, υφής κ.α.), της συνοχής, των διαστάσεων και της αισθητικής των υλικών.

Τα φαινόμενα φθοράς κατατάσσονται γενικά ως ακολούθως<sup>9</sup>:

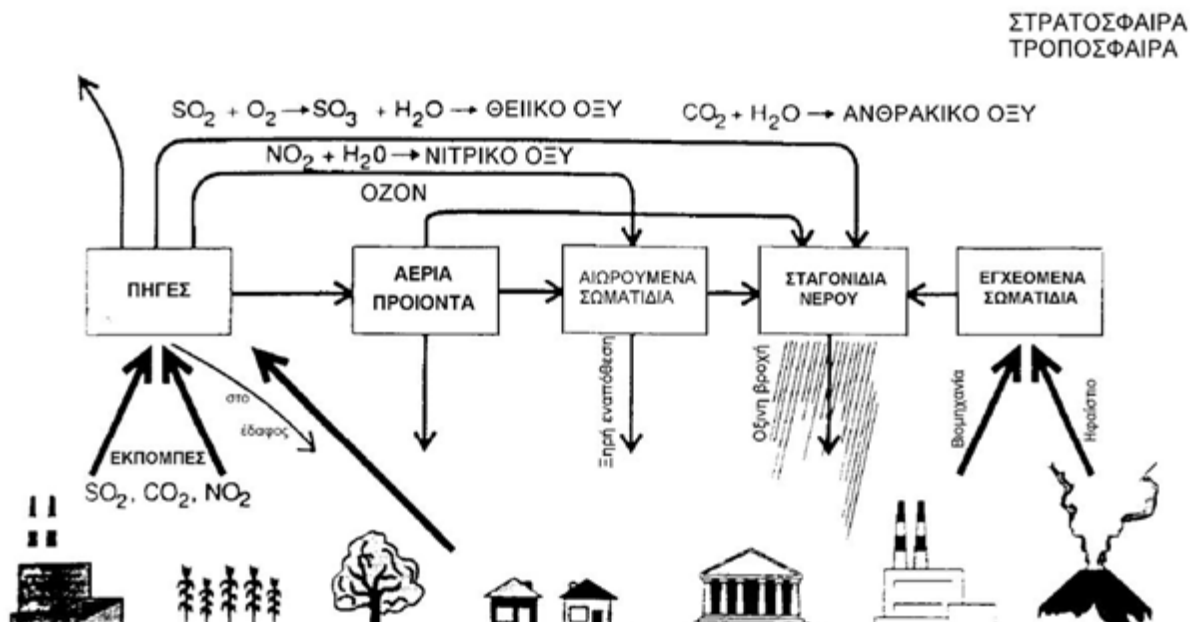
- **Μηχανική ή φυσική φθορά:** Αφορά σε μηχανική χαλάρωση των δομών και διαχωρισμό των συστατικών του υλικού λόγω θλιπτικών, εφελκυστικών ή διατμητικών τάσεων, αναπτυσσόμενων δυνάμεων εντός του υλικού λόγω ανισοτροπίας ή διαδικασιών που σχετίζονται με την παρουσία διαλυτών αλάτων και των κύκλων ύγρανσης-ψύξης. Παράδειγμα φυσικής φθοράς είναι η απολέπιση λίθου λόγω δράσης αλάτων .
- **Χημική φθορά:** Περιλαμβάνει τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο υλικό υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων ή λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας ορισμένων συστατικών του. Παράδειγμα χημικής φθοράς είναι η επίδραση της όξινης βροχής σε δομικά υλικά.
- **Βιολογική φθορά:** Αφορά στην επίδραση διαφόρων οργανισμών στα υλικά και σχετίζεται με τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες φθοράς.

Οι επιφανειακές φθορές που παρατηρούμε στους λίθους –αλλά και στα δομικά υλικά εν γένει- των μνημείων οφείλονται στη συνδυασμένη επίδραση διαφόρων παραγόντων του περιβάλλοντός τους. Οι λίθοι από τη στιγμή που εκτίθενται στο περιβάλλον, υπόκεινται σε διαρκή φθορά, λόγω συνδυασμού περιβαλλοντικών/κλιματολογικών συνθηκών, μηχανικών, φυσικοχημικών, βιολογικών και ανθρωπογενών παραγόντων, σε συσχέτιση πάντα και με τα ενδογενή χαρακτηριστικά τους. Έτσι πολύ συχνά σε ένα σημείο της κατασκευής υπάρχει παράλληλη δράση ή διαδοχή διαφόρων παραγόντων φθοράς, που επιτείνει την υποβάθμιση της επιφάνειας.

Οι μηχανισμοί διάβρωσης, αλλά και ο βαθμός φθοράς των λίθων ποικίλουν κυρίως ανάλογα με τη θέση του αρχιτεκτονικού μέλους στο κτίριο (εκτεθειμένη έως πλήρως προστατευμένη), τον προσανατολισμό του και την «ιστορία» του (προέλευση/κατεργασία/χρήση).

Καθότι το μάρμαρο είναι το κύριο υλικό του Ηφαιστείου, αποτελώντας το μεγαλύτερο μέρος των ορατών του επιφανειών, στη συνέχεια σχολιάζονται οι μηχανισμοί φθοράς που δρουν σε αυτό και το ορατό αποτέλεσμά τους στις επιφάνειες.

## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗ ΦΘΟΡΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Η πορεία των φυσικών και ανθρωπογενών ρυπαντών<sup>10</sup>.

76

Μέχρι πριν από μερικές δεκαετίες τα μνημεία και τα κτίρια αρχιτεκτονικής σημασίας παρουσίαζαν πολύ αργό ρυθμό φθοράς. Από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αι. όμως, η ένταση της αστικής συσσώρευσης και η συγκέντρωση βιομηχανιών προκάλεσαν τη ραγδαία αύξηση συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρυπαντών, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της φθοράς μνημείων που βρίσκονται σε αστικές ή βιομηχανικές περιοχές.

Ρυπαντές θεωρούνται οι ουσίες που προκαλούν αλλαγή στη σύσταση του φυσικού αέρα. Ωστόσο, όσον αφορά θέματα διάβρωσης και προστασίας, ρυπαντής θεωρείται κάθε συστατικό της ατμόσφαιρας – προερχόμενο από ανθρωπογενείς πηγές ή όχι – το οποίο μπορεί να βλάψει τα συνήθη δομικά υλικά. Υπάρχουν πολλές χημικές δράσεις διαμέσου των οποίων οι πρωτογενείς ρύποι, όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου μπορούν να μετατραπούν σε δευτερογενείς ρυπαντές, όπως θειικό οξύ, θειικά ιόντα, νιτρικό οξύ, νιτρικά ιόντα. Η οξειδωτική στην ατμόσφαιρα μπορεί να πραγματοποιηθεί ομογενώς στην αέρια φάση, ή ετερογενώς. Οι ετερογενείς αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα όταν δύο τουλάχιστον φάσεις αντιδρούν μεταξύ τους. Οι ρυθμοί των αντιδράσεων αυτών εξαρτώνται από μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η απόλυτη και σχετική υγρασία, η παρουσία νεφών και η παρουσία - σε ίχνη - άλλων ουσιών που μπορεί να δρουν και σαν καταλύτες (π.χ. όζον, υδρογονάνθρακες, αιθάλη, σωματίδια κ.α.)

Τις τελευταίες δεκαετίες στην περιοχή της Αθήνας παρατηρείται μείωση ή τάση σταθεροποίησης κυρίως των πρωτογενών ρύπων ( $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  και αιθάλη) ενώ το όζον ( $O_3$ ) -εξαιτίας και της υψηλής ηλιοφάνειας- αποτελεί το κύριο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το κέντρο των Αθηνών παραμένει επιβαρυσμένο σε ρύπους και αιωρούμενα σωματίδια<sup>11</sup>.

Η χημική και η ηλεκτροχημική προσβολή της πέτρας δεν είναι παρά η εναπόθεση των ατμοσφαιρικών ρύπων στην επιφάνεια της και η ενεργοποίηση χημικών και ηλεκτροχημικών διαδικασιών. Διακρίνονται με βάση το μεσο αποθεσης, δυο μηχανισμοί απόθεσης ρύπων στην επιφάνεια των δομικών υλικών: εν ξηρώ και υγρή.

<sup>10</sup> Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ: Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ

<sup>11</sup> Εκθεση 2000: "Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα", ΥΠΕΧΩΔΕ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Ι(Ιούνιος 2001)

Ο μηχανισμός της εν ξηρώ απόθεσης συνίσταται στην συσσώρευση στην επιφάνεια της πέτρας ρυπαντών, αέριας ή σωματιδιακής προέλευσης, που μεταφέρονται με τον αέρα και εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος των σωματιδίων (τα μεγαλύτερα εναποτίθενται πιο αργά).

Στην υγρή απόθεση οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μεταφέρονται στην πέτρα διαλυμένοι στο νερό, μέσω των μετεωρικών κατακρημνισμάτων και της συμπύκνωσης που συμβαίνει στην επιφάνεια των μνημείων. Το νερό της βροχής διαλύει τα όξινα συστατικά της ατμόσφαιρας<sup>12</sup>:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , στερεά σωματίδια θειικής σύστασης,  $\text{NO}_x$  και  $\text{CO}_2$ <sup>13</sup>. Στην περίπτωση του μαρμάρου η πιο επιβλαβής δράση των  $\text{NO}_x$  είναι ότι δρουν καταλυτικά στην οξείδωση του διοξειδίου του θείου και στο σχηματισμό θειικού οξέος, που οδηγεί με τη σειρά του στο σχηματισμό γύψου.

Η “όξινη βροχή” έχει σοβαρές επιπτώσεις στα μνημεία εκτεθειμένα στο ύπαιθρο, ιδίως σε λίθους αλκαλικής σύστασης (εξ’ ολοκλήρου ή εν μέρει) όπως ανθρακικά άλατα ασβεστίου, μαγνησίου κ.α.

12 Βροχή με μικρό μέγεθος σταγόνων, με μεγάλη δηλαδή ειδική επιφάνεια και χαμηλή ταχύτητα πτώσης, απορροφά μεγαλύτερες ποσότητες αερολυμάτων.

13 Το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ) προϊόν των αντιδράσεων καύσης, προκαλεί έμμεσα φθορά στα δομικά υλικά, αφού αποτελεί την πηγή παραγωγής του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα

## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η δράση του νερού αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών. Έχει ποικίλες πηγές προέλευσης: συμπύκνωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας και κατακρημνίσματα, τριχοειδή αναρρίχηση από το έδαφος, από ανθρωπογενείς πηγές (διαρροές, καθαρισμός επιφανειών), σταγονίδια θαλάσσιας προέλευσης. Ενώ έχει και πιο άμεσες επιπτώσεις [βλ. i-iv], συμβάλλει καίρια στην υποβάθμιση των λίθινων επιφανειών όταν δρα συνδυαστικά/υποβοηθητικά με άλλες μορφές φθοράς.

i-Μια μεγάλη κατηγορία διαβρωτικών φαινομένων ερμηνεύεται μέσω των κυκλικών μεταβολών της ατμοσφαιρικής υγρασίας, ιδιαιτέρως και με την παρουσία διαλυτών αλάτων.

ii-Το νερό προκαλεί μηχανική φθορά κατά την πήξη του, ένα φαινόμενο ιδιαίτερα σοβαρό όσο η συχνότητα των κύκλων αυξάνεται.

iii-Φθορά μπορεί να προκληθεί επίσης και από ισχυρές καταιγίδες και χαλαζοπτώσεις.

iv-Εκπλένει τις γυψοποιημένες αλλά και τις υγιείς επιφάνειες του μαρμάρου, οδηγώντας σε απώλεια υλικού και επιφανειακών λεπτομερειών.

v-Οι αέριοι ρύποι μεταφέρονται στο νερό με τη βροχή ή με συμπύκνωση για να σχηματίσουν όξινα διαλύματα ιδιαίτερα επικίνδυνα για τα πετρώματα ανθρακικής σύστασης όπως το μάρμαρο.

vi-Πολλές αντιδράσεις στην επιφάνεια και στο εσωτερικό του λίθου μπορούν να λάβουν χώρα μόνο παρουσία νερού.

vii-Το σύνολο σχεδόν των βιολογικών δράσεων συμβαίνει μόνο παρουσία υγρασίας.

### 2.3.2. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΦΘΟΡΕΣ

#### ΟΞΙΝΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ (ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ CO<sub>2</sub>)

Το νερό της βροχής οξινισμένο από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και ιδίως το CO<sub>2</sub> (αυξημένο σε αστικές περιοχές), διαλύει το ανθρακικό ασβέστιο ασβεστόλιθων και μαρμάρων σχηματίζοντας όξινο ανθρακικό ασβέστιο: Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, το οποίο είναι δεκάδες φορές πιο υδατοδιαλυτό από το CaCO<sub>3</sub><sup>14</sup>.

##### - Αποπλυμένες επιφάνειες:

Αυτή η διάλυση και έκπλυση του ασβεστίτη συμβαίνει συστηματικά στις εξωτερικές επιφάνειες των μαρμάρινων μνημείων, ποικίλλοντας ανάλογα με το βαθμό έκθεσης τους. Σε βάθος χρόνου συνεπάγεται απώλεια του αυθεντικού υλικού στις πλήρως απροστάτευτες επιφάνειες, τράχυνση της επιφάνειας, μικρορηγματώσεις και απολεπίσεις που εκθέτουν νέο υλικό στην ατμόσφαιρα και επιτείνουν την υποβάθμιση της επιφάνειας. Είναι πιθανή και η παρουσία γύψου σε μικρές ή μεγάλες ποσότητες ανάλογα με το βαθμό προστασίας της επιφάνειας.

##### - Λευκές Όξινες Ανθρακικές Κρούστες:

Με την εξάτμιση του νερού και τις κατάλληλες συνθήκες (T, P, RH%, κ.ά) γίνεται απόθεση ανακρυσταλλωμένου δευτερογενούς ασβεστίτη στην επιφάνεια του μαρμάρου. Παρουσιάζει μεγαλύτερους κρυστάλλους από τον αυθεντικό και πιο πορώδη δομή, με συνέπεια την αύξηση της επιδεκτικότητας της επιφάνειας σε φθορά (καθώς το αυξημένο πορώδες διευκολύνει τη διείσδυση όξινων διαλυμάτων και διαλυτών αλάτων). Οι αποθέσεις μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό μιάς όξινης ανθρακικής κρούστας λευκής ή υποκίτρινης, η οποία παρότι επιφανειακά σκληρή, συνοδεύεται από χαλάρωση των υποκείμενων στρωμάτων του αυθεντικού υλικού, λόγω της κίνησης ιόντων ασβεστίου από τα εσωτερικά στρώματα προς τα έξω<sup>15</sup>. Η κακή συνοχή με το υποκείμενο ανθρακικό ασβέστιο οδηγεί σε χαλάρωση της κρούστας, που σε συνέργεια με βιοδιάβρωση μπορεί να καταλήξει σε αποφλοιώσεις.

##### - Ζαχαροειδής Φθορά:

Η όξινη προσβολή των κόκκων του μαρμάρου από τα αραιά οξέα που είναι διαλυμένα στο νερό της βροχής ( H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ) προκαλεί τη διακρυσταλλική αποσάθρωσή τους, απώλεια της συνοχής τους και τελικά την εκλεκτική αποκόλλησή τους. Πέρα από τη μεταβολή της επιφανειακής υφής, τα περατωτικά όρια των κρυστάλλων σκεδάζουν με χαρακτηριστικό τρόπο το φως, θυμίζοντας κόκκους ζάχαρης. Η ζαχαροποίηση εμφανίζεται σε τμήματα του μαρμάρου που είναι εκτεθειμένα στη βροχή.

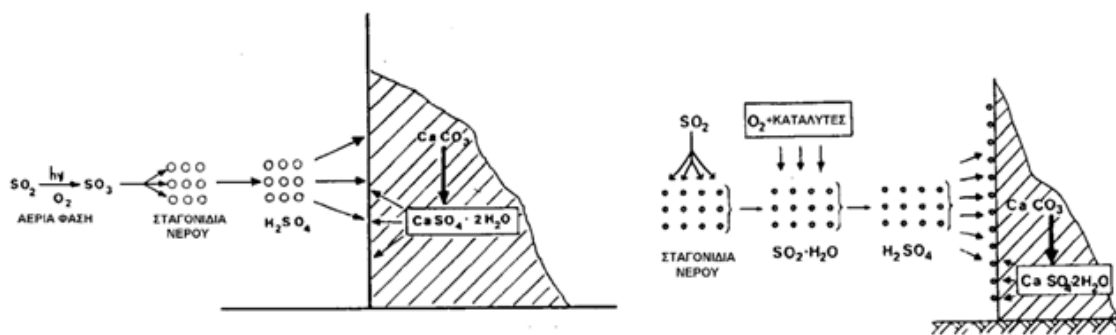


14 Η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου είναι μόλις 15 mg/L στους 25°C

15 Δελέγκου Α., «Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων καθαρισμού σε μαρμάρινες επιφάνειες μνημείων», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Επιβλέπουσα: Α. Μοροπούλου, Αθήνα, 2011

## ΓΥΨΟΠΟΙΗΣΗ (ΕΠΙΔΡΑΣΗ $\text{SO}_2$ )

Μια πολύ σημαντική και συχνά εμφανιζόμενη μορφή φθοράς του μαρμάρου είναι η γυψοποίηση της επιφάνειάς του εξαιτίας του διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ )<sup>16</sup> που έχει ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις σε αστικές περιοχές. Παρουσία υγρασίας το  $\text{SO}_2$  αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο και σχηματίζεται γύψος:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί θείωσης του μαρμάρου, χωρίς να είναι επακριβώς γνωστός. Μέχρι ένα ορισμένο πάχος της στρώσης ο γύψος έχει μικροκρυσταλλική δομή και διατηρούνται τα χαρακτηριστικά του αναγλύφου της επιφάνειας. Κατά τις διαδικασίες καθαρισμού δεν πρέπει να απομακρύνονται τα κατώτερα αυτά στρώματα<sup>17</sup>.



Ομογενής και ετερογενής οξείδωση του  $\text{SO}_2$

Οι συνέπειες της γυψοποίησης συνοψίζονται στις εξής:

- Δημιουργία επιβλαβών επιφανειακών φαιόμαυρων κρουστών, των οποίων ο γύψος αποτελεί κύριο συστατικό. (βλ. παρακάτω)
- Σημαντική απώλεια των γλυπτών λεπτομερειών του αυθεντικού μαρμάρινου μέλους. Ο γύψος είναι περισσότερο διαλυτός από τον ασβεστίτη με αποτέλεσμα να διαλύεται με τη βροχή και να αποπλένεται. Η συνεχής αποκάλυψη νέας επιφάνειας μαρμάρου, η οποία με τη σειρά της εκτίθεται στην κυκλική διαδικασία γυψοποίησης / απόπλυσης, οδηγεί στην εξέλιξη του φαινομένου σε βάθος.
- Η γυψοποιημένη επιφάνεια καθίσταται περισσότερο υγροσκοπική και επιδεκτική στη φθορά, καθότι το  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  καταλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο σε σχέση με το αυθεντικό κρυσταλλικό πλέγμα του ασβεστίτη και αυξάνεται το πορώδες της επιφάνειας. Ο σχηματισμός γύψου σε ρωγμές και κενά, οδηγεί σε ανάπτυξη εντατικών τάσεων.



<sup>16</sup> Το διοξείδιο του θείου είναι δυνατόν να αντιδράσει στην ατμόσφαιρα με το οξυγόνο, σχηματίζοντας  $\text{SO}_3$ . Το  $\text{SO}_3$  με το νερό σχηματίζει θειικό οξύ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  που αποσθρώνει άμεσα το μάρμαρο.

<sup>17</sup> Maravelaki-Kalaitzaki P., et al. Excimer laser cleaning of encrustation on Pentelic marble: Procedure and evaluation of the effects, Applied Surface Science **148** (1999) σελ. 92–104



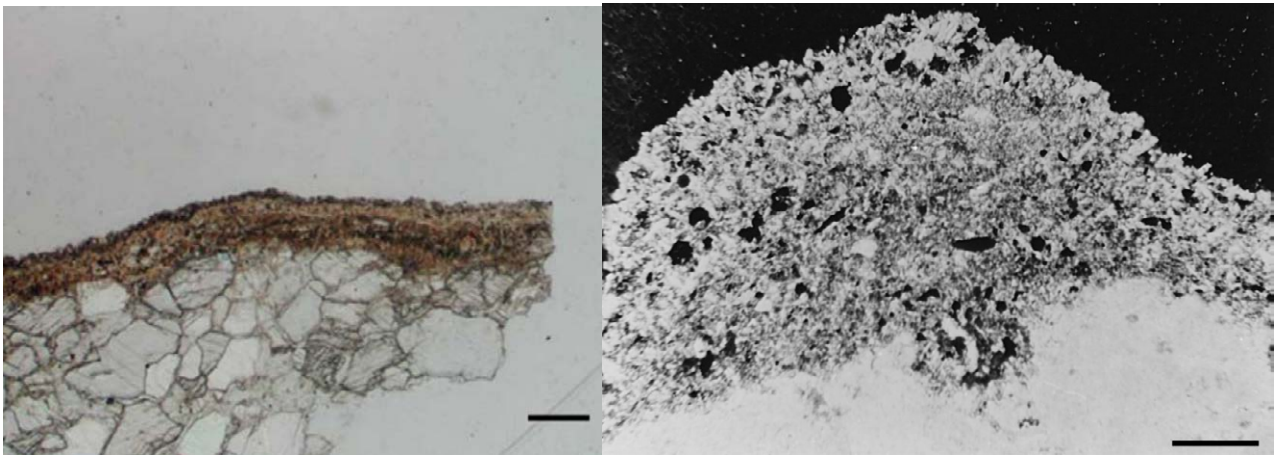
## ΦΑΙΟΜΑΥΡΕΣ – ΜΑΥΡΕΣ ΚΡΟΥΣΤΕΣ<sup>18</sup>

Στις γυψοποιημένες επιφάνειες που βρίσκονται πλήρως προστατευμένες από την άμεση επαφή με το νερό της βροχής παρατηρείται επικάλυψη και προσρόφηση αιωρούμενων σωματιδίων<sup>19</sup> της ατμόσφαιρας. Η επάλληλη εναπόθεση γύψου, επικαθίσεων και ανακρυσταλλωμένου ανθρακικού ασβεστίου σχηματίζει φαιομαυρές κρούστες. Αυτή είναι και η πιο διαδεδομένη μορφή φθοράς των επιφανειών των μαρμάρινων μνημείων και κατασκευών σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα.

Η δομή του στρώματος μαύρης κρούστας αποτελείται από μαύρα σωματίδια ατμοσφαιρικής προέλευσης (αιθάλη, υδρογονάνθρακες, οξειδία μετάλλων) ενσωματωμένα σε κρυστάλλους γύψου και ασβεστίτη. Τα προσροφημένα σωματίδια δρουν και ως ενεργοί καταλύτες στο μετασχηματισμό του ασβεστίτη σε γύψο. Η επαφή του νερού με την επιφάνεια θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να υποκινεί την αντίδραση μεταξύ της και του διαβρωτικού περιβάλλοντος, χωρίς να την ξεπλένει και να παρασύρει τα προϊόντα.

Η μαύρη κρούστα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα, μικρότερη διαπερατότητα στο νερό, οπότε παρουσιάζει μεγαλύτερη κατακράτηση νερού και λόγω του μαύρου χρώματος η επιφάνεια απορροφά περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Ο συνδυασμός των παραγόντων αυτών την καθιστά κατάλληλο υπόστρωμα και για την ανάπτυξη βιοδιάβρωσης (βλ. παρακάτω), οι οποίοι θα επιτείνουν τη φθορά της επιφάνειας.

Το εξώτερο μέρος της κρούστας, επηρεαζόμενο κι αυτό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, εμφανίζει αποκολλησεις εγκλεισμένων σωματιδίων, ρηγμάτωση εξαιτίας των επαναλαμβανόμενων κύκλων ύγρυνσης – ξήρανσης, βιοδιάβρωση, απόπλυση της κρούστας (σε προφυλαγμένα σημεία που για διάφορους λόγους ξεκίνα συστηματική ροή κατερχόμενης υγρασίας), αλλά και πιο συμπαγή τμήματα λόγω δευτερογενώς κρυσταλλωμένου ασβεστίτη. Μετά από κάποιο πάχος, μπορεί να αρχίσει η χαλάρωση, απολέπιση ή αποφλοίωση της επιφάνειας ακόμα και σε μεγάλο βάθος. Όπως και στις γυψοποιημένες επιφάνειες, η υποκείμενη μαρμάρινη επιφάνεια που αποκαλύπτεται με την απομάκρυνση της κρούστας είναι εκτεθειμένη σε νέες διεργασίες διάβρωσης.



Λεπτές τόμες πεντελικού μμάρου με μαύρη κρούστα πάχους περ. 300μm σε πολωτικό μικροσκόπιο<sup>20</sup>.

18 Μοροπούλου Α., Δελέγκου Α. Φθορά Λίθινων Αρχιτεκτονικών Επιφανειών λόγω Επίδρασης Ατμοσφαιρικών Ρυπαντών. Ο Σχηματισμός Κρούστών. Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ: Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ

19 Οι κυριότερες πηγές προέλευσης στερεών σωματιδίων στη ατμόσφαιρα είναι η μετεωρική σκόνη και τα σωματίδια γήινης και θαλάσσιας προέλευσης, πυρκαγιές, διάβρωση εδάφους, ηφαιστειακές εκρήξεις, φυτά και διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες.

20 Maravelaki-Kalaitzaki P., Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin, Analytica Chimica Acta 532 (2005) σελ. 190-1



## ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΙΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΚΟΝΗΣ

Αποθέσεις μη συνεκτικά συνδεδεμένες με το υπόστρωμα, συνήθως αργιλοπυριτικής σύστασης και έντονου μαύρου χρώματος λόγω σωματιδίων αιθάλης και υδρογονανθράκων. Μπορεί να επικαλύπτουν περιοχές κρουστών.



## ΦΑΙΟΚΑΣΤΑΝΕΣ ΚΡΟΥΣΤΕΣ

Πλούσια περιεκτικότητα σε οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου (έντονη γκριζοκάστανη ή/και πορτοκαλοκάστανη χροιά) τα οποία πολλές φορές είναι θωρακισμένα πίσω από ομοιογενές και συμπαγές στρώμα αργιλοπυριτικών

### 2.3.3. ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ

Υπό τις κατάλληλες συνθήκες (υγρασίας, ηλιοφάνειας, επιφανειακής σύστασης), οι μαρμάρινες και γυψοποιημένες επιφάνειες εποικούνται απο ποικίλους έμβιους οργανισμούς: μικρόβια, βακτήρια, μύκητες, επιλιθικούς και ενδολιθικούς λειχήνες και ανώτερους φυτικούς οργανισμούς (πόες, βρύα κα). Η παρουσία των οργανισμών αυτών έχει ποικίλες και συχνά σοβαρές επιπτώσεις, στην εμφάνιση αλλά και στη συνοχή/ακεραιότητα του λίθου:

-Η παρουσία βιογενούς μεμβράνης επιταχύνει τη συσσώρευση ατμοσφαιρικών ρύπων και την εξέλιξη άλλων φαινομένων φθοράς.

-Η έκκριση από ορισμένους μικροοργανισμούς διαβρωτικών οξέων (οργανικών ή ανόργανων), τα οποία διαλύουν το ανθρακικό ασβέστιο, οδηγεί σε βελονοειδή διάβρωση και απώλεια υλικού σε βάθος.

-Μια μεγάλη μερίδα της μικροχλωρίδας και τα ανώτερα φυτά, ασκούν μικροπιέσεις στη μάζα του υλικού (ρίζες, διείδυση υφών, συστολο-διαστολή βιογενών προϊόντων), με αποτέλεσμα μηχανικές επιφανειακές φθορές –ρηγμάτωση, απολέπιση.

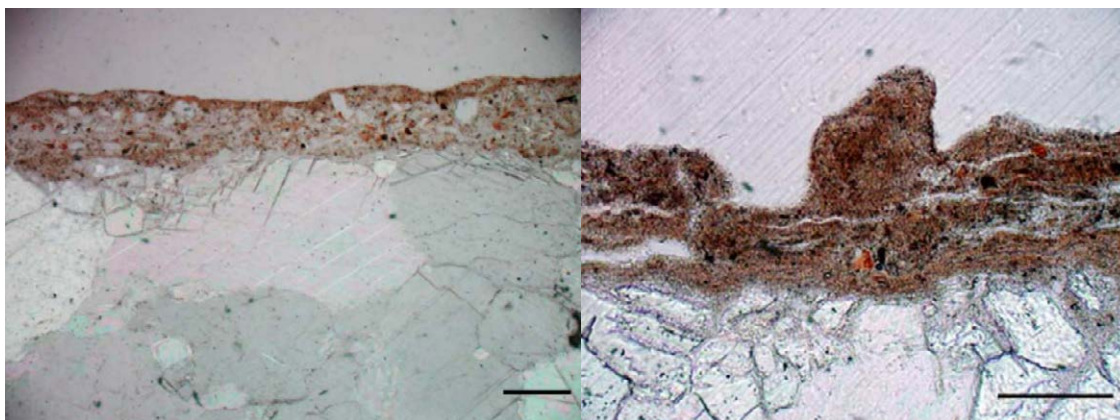
-Μια άλλη σημαντική συνέπεια είναι η αισθητική υποβάθμιση του μνημείου λόγω των χαρακτηριστικών πορτοκαλί, καστανών και μαύρων χρώσεων της μαρμάρινης επιφάνειας (ή επιφανειακών κρουστών) από βιογενείς χρωστικές (καροτενοειδή, χλωροφύλλη, μελανίνη).





### 2.3.4. ΠΑΤΙΝΕΣ-ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ

Στην επιφάνεια των μαρμάρινων μνημείων συχνά εμφανίζονται έγχρωμες περιοχές που εμφανίζουν πολύ καλή σύνδεση με την αυθεντική μαρμάρινη επιφάνεια και παρατηρούνται μόνο στις καλύτερα διατηρημένες περιοχές. Διαβαθμίζονται χρωματικά μεταξύ ερυθρο-καστανού και πορτοκαλί. Οι πορτοκαλοκάστανες πάτινες του Ερεχθείου και του Παρθενώνα -διαφορετικής μεταξύ τους σύστασης<sup>21</sup> - βρέθηκε ότι αποτελούνται κυρίως από ένυδρο οξαλικό ασβέστιο σε ένυδρη ή διένυδρη μορφή ( $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) -το οποίο προστατεύει το μάρμαρο από την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων. Επίσης εντοπίζονται σημαντικά ποσοστά σιδήρου (αιματίτης), φωσφόρου (υδροξυαπατίτης) και μολύβδου (κερουσίτης)<sup>22</sup>. Για την πάτινα του Ερεχθείου έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι χρησιμοποιήθηκε αττική ώχρα -πλούσια σε κερουσίτη- σαν λεπτό επίχρισμα κατά τις εργασίες επισκευής της ρωμαϊκής περιόδου, το οποίο έδινε κιτρινωπό χρώμα στην επιφάνεια<sup>23</sup>.

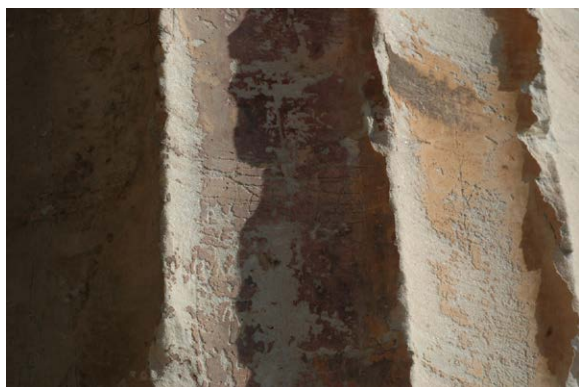


Λεπτές τομές σε πολωτικό μικροσκόπιο: πεντελικό μάρμαρο με πάτινα. Από το Ερέχθειο και τον Παρθενώνα πάχους περ. 100μm. Η πάτινα του Ερεχθείου μοιάζει με λεπτό επίχρισμα και αποτελείται κυρίως από ασβεσίτη, πυριτικά εδρανή και ώχρες πορτοκαλοκάστανου χρώματος. Η πάτινα του Παρθενώνα χαρακτηρίζεται από μικροκρυσταλλική δομή και συνδέεται πλήρως με το μαρμάρινο υπόστρωμα, στο οποίο δεν παρατηρείται διάβρωση<sup>24</sup>.

86

Έχουν διατυπωθεί δύο βασικές υποθέσεις σχετικά με την προέλευσή τους:

1. Σύμφωνα με τη «βιολογική» υπόθεση, το οξαλικό ασβέστιο προκύπτει από το οξαλικό οξύ, το οποίο εκκρίνεται από μικροοργανισμούς, όπως είναι οι λειχήνες που εποικούν την επιφάνεια των μνημείων.
2. Σύμφωνα με τη «χημική» υπόθεση, τα οξαλικά και ο υδροξυαπατίτης, μπορεί να είναι προϊόντα μετασχηματισμού οργανικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν σε προγενέστερες εργασίες προστασίας ή στίλβωσης του μαρμάρου.



Στην περίπτωση σιδηρούχων προσμίξεων στο μάρμαρο παρατηρείται οξείδωσή τους από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο (σε εκτεθειμένες φλεβώσεις ή κατόπιν διάχυσης ιόντων σιδήρου από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του λίθου), δίνοντας στην επιφάνεια χρυσή ή έντονη πορτοκαλοκάστανη χροιά. Συνήθως οι οξειδώσεις αυτές συνεπάγονται και διόγκωση των προϊόντων, οδηγώντας σε λύση της συνοχής των κόκκων και μικρορηγματώσεις. Το πεντελικό μάρμαρο δεν περιέχει εγγενώς ικανές προσμίξεις σιδήρου.

21 Από άποψη υφής η επιδερμίδα στον Παρθενώνα μοιάζει με βερνίκι με ομοιογενή δομή, ενώ η πάτινα του Ερεχθείου μοιάζει με λεπτό επίχρισμα.

22 P. Maravelaki-Kalaitzaki, Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin, *Analytica Chimica Acta* **532** (2005) 187–198

23 Το χρώμα της πάτινας μπορεί να εξηγηθεί από την παρουσία σιδήρου (με τη μορφή αιματίτη) στην ώχρα.

24 Maravelaki-Kalaitzaki P. (2005)

### 2.3.5. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Φθορές που οφείλονται σε μηχανικές καταπονήσεις του μαρμάρου στην κλίμακα των δομικών μελών αλλά και στη μικροκλίμακα των επιφανειών.

- Ρωγμές και ρήγματα εξαιτίας της οξειδωσης και διόγκωσης σιδερένιων συνδέσμων (αυθεντικών ή τοποθετημένων κατά επεμβάσεις συντήρησης) που συχνά προκαλούν πολύ σημαντικές βλάβες στη στατική επάρκεια του μνημείου.

- Ρηγματώσεις, αποφλοιώση, αποκόλληση τεμαχίων, μετακίνηση μελών, ακόμα και καταρρεύσεις λόγω μηχανικής καταπόνησης των δομικών μελών κατά τη διάρκεια εντατικών φαινομένων: σεισμικών φορτίσεων, καθιζήσεων ή εκρήξεων.

- Ρωγμές και αποφλοιώσεις (απόσπαση μεγάλων τεμαχίων από την επιφάνεια του μαρμάρου) που οφείλονται στην ορυκτολογική ετερογένεια του μαρμάρου – πέρα από το φυσικό σχισμό και τους κομμούς. Αργιλοπυριτικές προσμίξεις, εγκλείσματα και δολομιτικές φλέβες εμφανίζουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες (συντελεστή θερμικής διαστολής, πορώδες, μηχανικές αντοχές) και επιδεκτικότητα σε διάβρωση από τον ασβεστίτη. Η παρουσία τους στη μάζα του μαρμάρου μπορεί να συγκεντρώσει τάσεις κατά τη διάρκεια εντατικών φαινομένων (θερμικών ή σεισμικών) και να οδηγήσει σε έντονη ρηγματώση του μαρμάρινου μέλους.

- Μηχανική δράση μπορεί να θεωρηθεί και η επίδραση των ακραίων θερμοκρασιακών μεταβολών (π.χ. μεταξύ μέρας και νύχτας) ή της άνισης κατανομής θερμοκρασίας εντός του δομικού μέλους. Στην κλίμακα των κόκκων του μαρμάρου, οι κρυσταλλοί ασβεστίτη παρουσιάζουν ανισοτροπία κατά τη θερμική διαστολή: διαστελλονται κατά τον κύριο άξονά τους (c) και συστέλλονται κατά τον άλλο (α). Συνεχείς κύκλοι συστολοδιαστολών έχουν σαν αποτέλεσμα οι κρύσταλλοι να χάνουν τη συνοχή τους και το μάρμαρο να εμφανίζει περικρυσταλλικές ρηγματώσεις. Η αποσάθρωσή του επιδεινώνεται και από την όξινη προσβολή των αέριων ρυπαντών<sup>25</sup>.

87

- Στην κλίμακα του αρχιτεκτονικού μέλους, σε περίπτωση φωτιάς<sup>26</sup>, η θερμική ενέργεια δεν μεταφέρεται σε βάθος καθότι το μάρμαρο είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Έτσι γειτονικές «ζώνες» του υλικού εμφανίζουν μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά, με την ανομοιόμορφη διαστολή να αναπτύσσει ισχυρές τάσεις κάτω από την επιφάνεια του, που οδηγούν σε απολεπίσεις και αποφλοιώσεις. Το μέλος αποκτά τη χαρακτηριστική στρογγυλεμένη όψη των θερμικών θραύσεων.

- Ανάπτυξη μηχανικών τάσεων και αποσάθρωση προκαλείται και από το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου στο εσωτερικό του μαρμάρου (ρωγμές ή πόρους).

25 Lazzarini Lorenzo, General Issues on the Deterioration of Stone. Διεπιστημονική ημερίδα: ο Δομικός Λίθος στα Μνημεία, σελ. 149-160  
26 Η φωτιά επηρεάζει και πιο άμεσα το μάρμαρο καθώς το ανθρακικό ασβέστιο αποσυντίθεται σε CaO στους 850°C



88

δολομιτικό έγκλεισμα σε κίονα της βόρειας πλευράς





### 2.3.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Πέρα από τα προβλήματα που δημιουργεί η οξείδωση σιδηρών στοιχείων, αστοχίες εξαιτίας των επεμβάσεων συντήρησης ενός μνημείου παρουσιάζονται και στα κονιάματα που χρησιμοποιούνταν για σφράγιση ρωγμών και συγκόληση θραυσμάτων. Πρόκειται για τσιμεντιτικά κονιάματα ή συνθέσεις που βασίζονται στην κονία **Sorrel** ή **Meyer**, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε πολύ μεγάλη έκταση τόσο σε μνημεία, όσο και σε γλυπτά για περισσότερο από 80 χρόνια.

Τα τσιμεντιτικά κονιάματα παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής διαστολής από το μάρμαρο, με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια κύκλων θέρμανσης - ψύξης, να ασκούνται μηχανικές τάσεις στον λίθο που μπορούν να οδηγήσουν σε ρηγματώση, μερική ή ολική αποκόλληση συγκρατημένων θραυσμάτων, αλλά και ρηγματώσεις στο ίδιο το κονίαμα. Επίσης παρατηρούνται εξανθίσεις αλάτων που περιέχονται στα κονιάματα ή μεταφέρονται στη διεπιφάνεια κονιάματος-μαρμάρου λόγω της συγκράτησης νερού.







## 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 3.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για την χαρτογράφηση των εμφανιζόμενων μορφών φθοράς στις επιφάνειες του Ηφαιστείου ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα :

- Επι τόπου μακροσκοπικές παρατηρήσεις τόσο στο εσωτερικό, όσο και στο εξωτερικό του ναού.
- Μια πρώτη φωτογραφική καταγραφή συχνά εμφανιζόμενων μορφών φθοράς
- Βιβλιογραφική έρευνα αναφορικά με την ιστορία του ναού και τα ευρήματα προηγούμενων αρχαιολογικών μελετών και αρχιτεκτονικών αναλύσεων, προκειμένου να διερευνηθεί ο συσχετισμός των εμφανιζόμενων φθορών με τα εγγενή κατεσκευαστικά χαρακτηριστικά (υλικά, τρόπος δόμησης ) καθώς και με τα γεγονότα που τις προκάλεσαν.
- Πρώτη διάκριση των φθορών για ευρύτερη κατανόηση και κατηγοριοποίηση / ομαδοποίηση των τύπων και των μηχανισμών φθοράς του μαρμάρου.
- Σχεδιασμός των υποβάθρων χαρτογράφησης με χρήση περιβάλλοντος CAD στο AutoCAD και το 3dStudioMax με συνδυασμό τεχνικών. Δοκιμαστικά, σε περιορισμένη έκταση, χρησιμοποιήθηκε και στερεο-ορθοφωτογραφική προβολή με χρήση του plugin λογισμικού OrthoStereoMate που έχει αναπτύξει το Εργαστήριο.
- Σχεδιαστική απόδοση των περιοχών φθοράς στην κλίμακα των αρχιτεκτονικών επιφανειών κατόπιν επεξεργασίας των προϊόντων γεωμετρικής τεκμηρίωσης, που είχαν παραχθεί από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.
- Καταγραφή, ταυτοποίηση και ομαδοποίηση των φθορών, σε Θεματικούς Χάρτες υλικών και φθοράς χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των αναλύσεων της Διαγνωστικής Μελέτης του Εργαστηρίου Υλικών Χημικών Μηχανικών, που είχε ακολουθήσει τη δειγματοληψία χαρακτηριστικών τύπων φθοράς, αλλά και κατόπιν επί τόπου παρατηρήσεων και μελέτης φωτογραφικών δεδομένων.
- Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της χαρτογράφησης για την σύγκριση της κατανομής των φθορών στις επιφάνειες του μνημείου (προσανατολισμός και θέση). Εποπτική παρουσίαση γεωμετρικών παραμορφώσεων του μνημείου.

### 3.2. ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Στην παρούσα εργασία, το υπόβαθρο της χαρτογράφησης της φθοράς σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας τα -έως την έναρξή της- διαθέσιμα προϊόντα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης του Ηφαιστείου, η οποία έγινε από τη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ κατά τη διάρκεια προπτυχιακών μαθημάτων του 9<sup>ου</sup> εξαμήνου. Τα προϊόντα είναι τα εξής:

1. Ορθοφωτογραφίες τμημάτων του εξωτερικού αλλά και του εσωτερικού του μνημείου, ποικίλης ακρίβειας (απο 1-16 pixels/cm<sup>2</sup>), οι οποίες συνοδεύονται απο σχέδια του περιγράμματος των αρχιτεκτονικών μελών και του περιγράμματος τομής, (σε μορφή αρχείου AutoCAD) από:

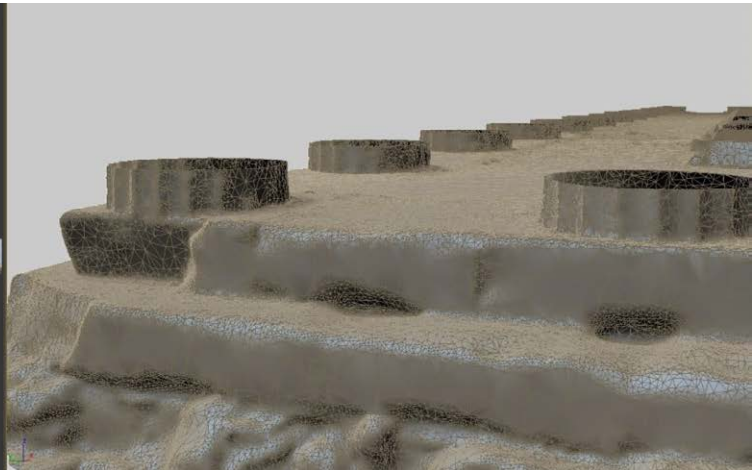
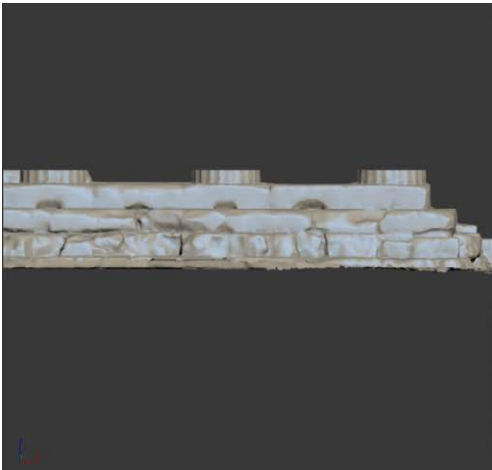
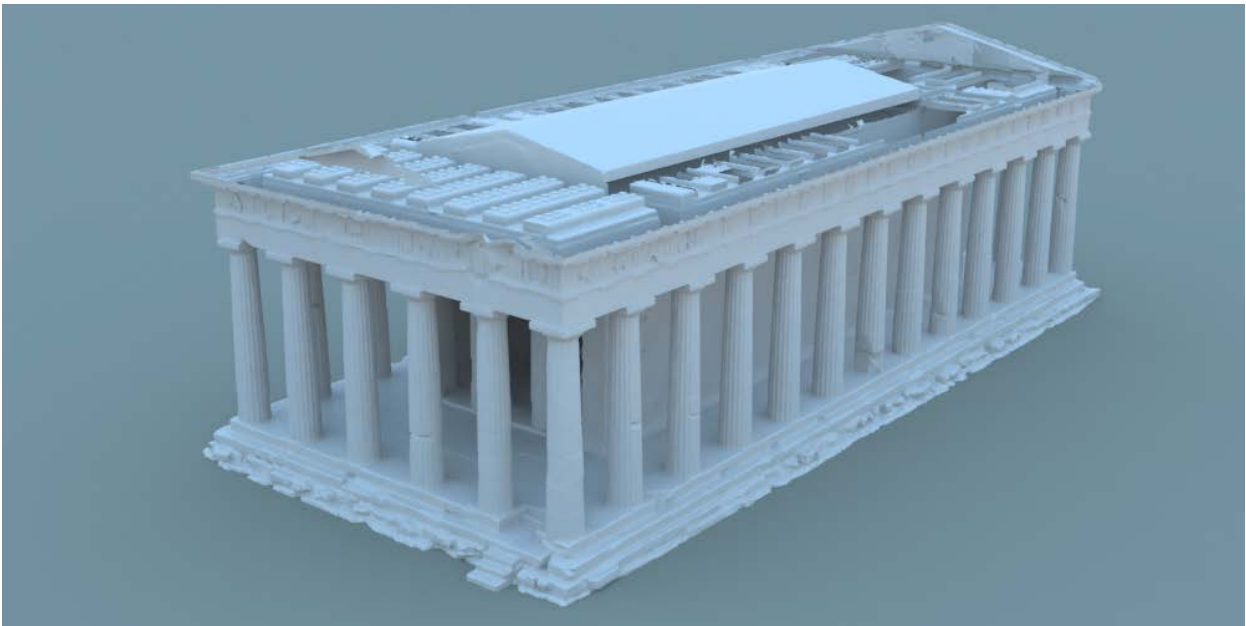
- τη Νότια και την Ανατολική όψη του μνημείου.
- την εσωτερική (δυτική) πλευρά του ανατολικού εγκάρσιου τοίχου και του ενιαίου επιστυλίου του πρόναου και
- την εσωτερική (ανατολική) παρειά του οπισθόδομου



2. Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο του ναού που έχει παραχθεί από συνδυασμό τεχνικών (πολυεικονικής και σάρωσης laser), ακρίβειας της τάξης των 5χιλ.



94



### 3.3. ΣΥΝΤΑΞΗ ΚΑΤΟΨΕΩΝ-ΤΟΜΩΝ

Γιά τη δισδιάστατη σχεδιαστική καταγραφή των τεμνόμενων και προβαλλόμενων στοιχείων στις κατόψεις και τις τομές του μνημείου, έγιναν τομές σε διάφορα επίπεδα του μοντέλου, των οποίων το περίγραμμα αποθηκεύθηκε σαν διακριτή οντότητα. Ορίστηκαν λοιπόν, τα επίπεδα των διατμήσεων -οριζόντια για την κάτοψη και κατακόρυφα για τις τρεις τομές - καθώς και τα αντιπροσωπευτικά δευτερεύοντα επίπεδα για την απόδοση των προβαλλόμενων στοιχείων.

Η υψηλή ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας έκανε δυσχερή τη διαχείρισή του, δίχως η μεγάλη πυκνότητά του να συνεισφέρει σε χρήσιμη πληροφορία στην κλίμακα 1:50. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε μια απλοποιημένη εκδοχή του, με 17.000.000 τρίγωνα, περίπου το 1/4 της αρχικής ανάλυσης. Σε σχέση με το αρχικό μοντέλο παρατηρούμε μειωμένη απόδοση στην ευκρίνεια των ακμών (ραβδώσεις και ορθές γωνίες εμφανίζονται πιο ακανόνιστες και αποτμημένες), εντούτοις είναι επαρκής για αυτή την κλίμακα σχεδίασης.

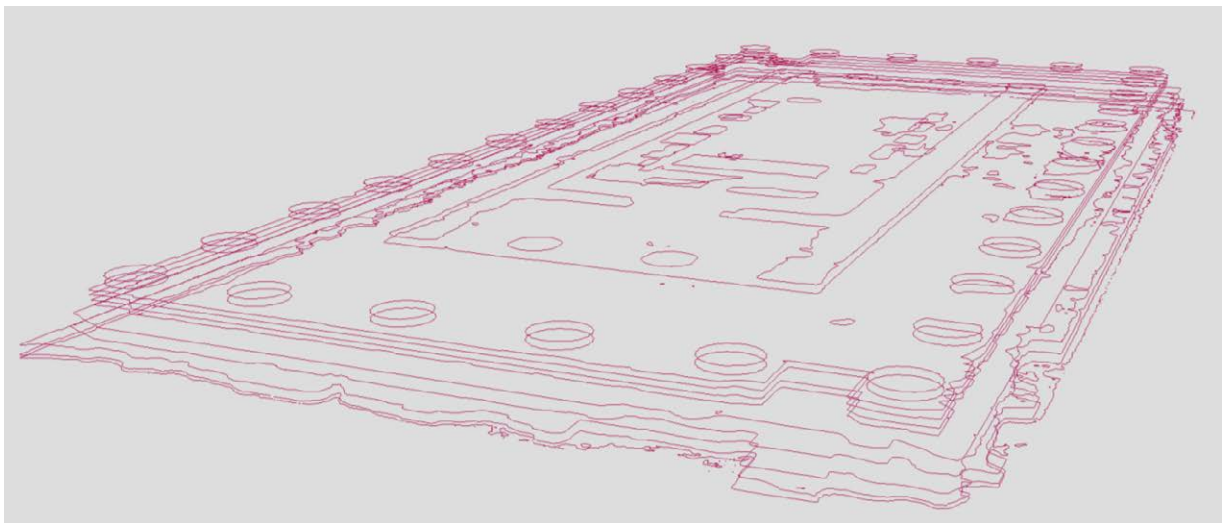
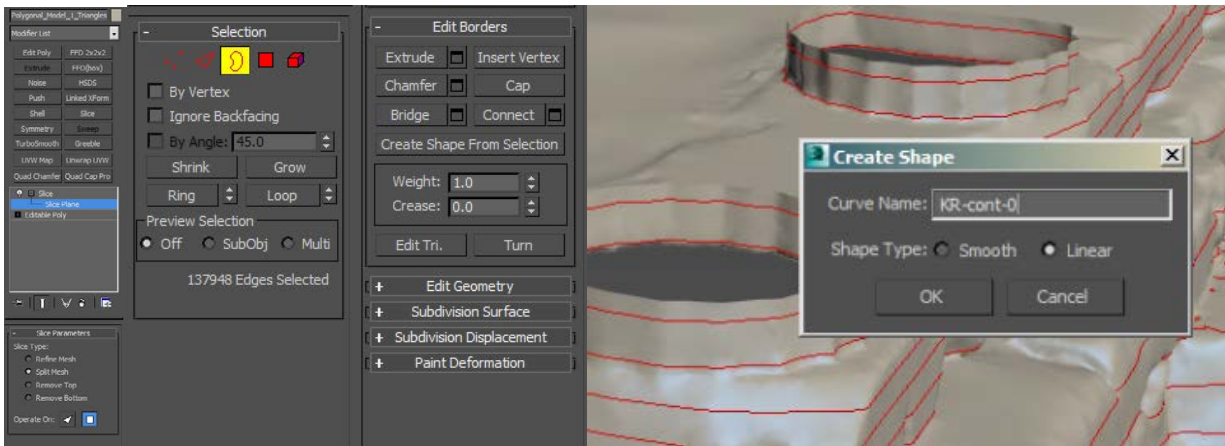
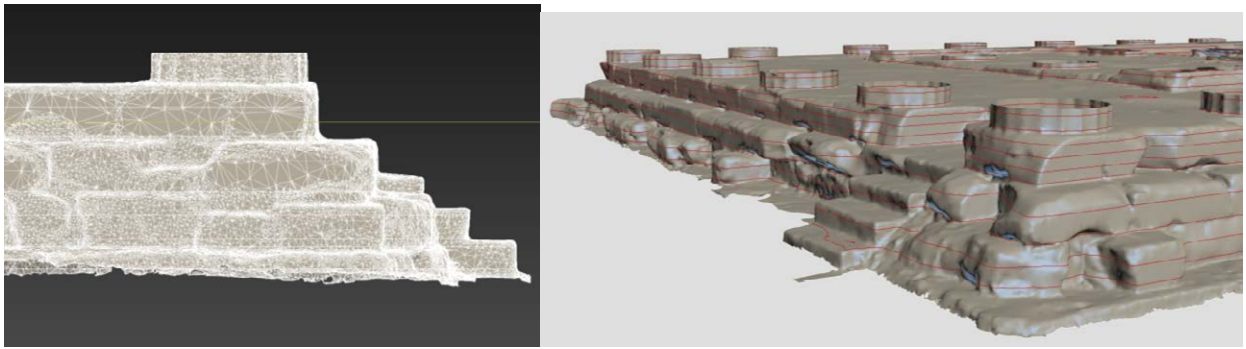
Το μοντέλο έχει παραχθεί (στο Εργ. Φωτογραμμετρίας) και εξαχθεί από το πρόγραμμα **GeoMagic** στην κοινά αναγνωρίσιμη μορφή αρχείου **.obj**, ώστε να γίνει η περαιτέρω επεξεργασία του στο λογισμικό **3dStudioMax**. Επιλέχθηκε η χρήση του λόγω της ευχέρειάς του στην παραγωγή τομών των τρισδιάστατων αντικειμένων, παρόλο που υστερεί στη διαχείριση πολύ μεγάλου αριθμού (της τάξης των εκατομμυρίων) τριγώνων. Για αυτό το λόγο, διαιρέθηκε σε τέσσερα τμήματα : κρηπίδωμα, κίονες πτερού, σηκός και επίστεψη. Η παρακάτω διαδικασία επαναλήφθηκε για καθένα από τα κομμάτια αυτά, με τα παραγόμενα σχήματα να συντίθενται στο τέλος.



Απόδοση (rendering) του μοντέλου με ενιαία επιφανειακή υφή και διακριτές τις τομές σε διάφορα επίπεδα.

Στο σχεδιαστικό περιβάλλον του λογισμικού **3dStudioMax**, χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή κάθε γραμμικού στοιχείου τα εξής βήματα:

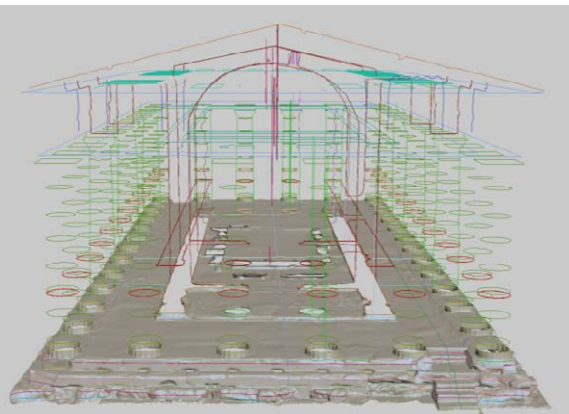
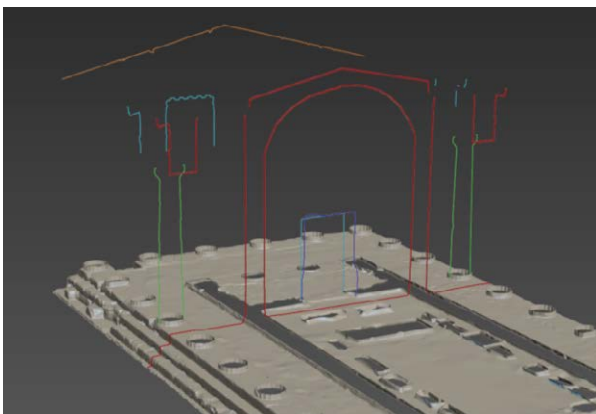
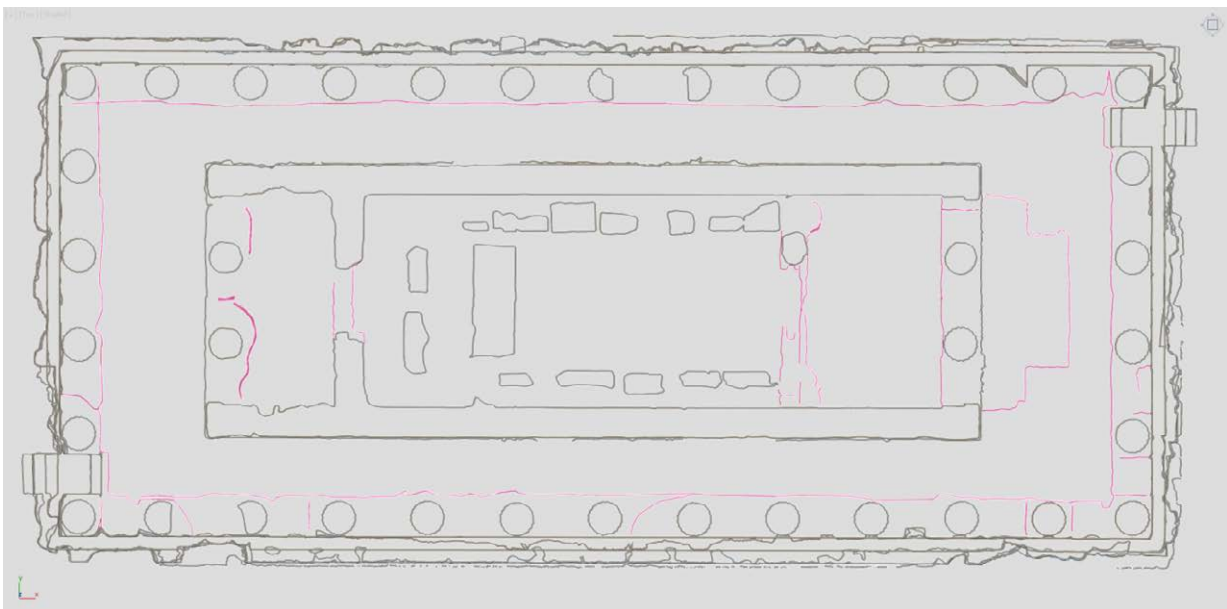
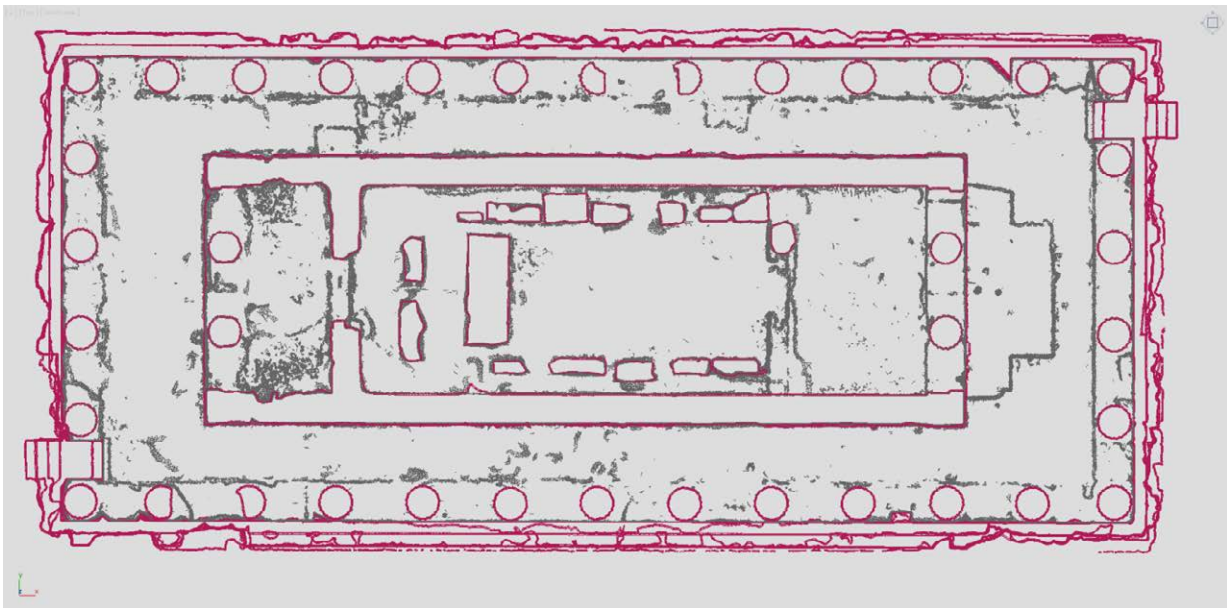
1. Προσθήκη του **Slice modifier** στο αντικείμενο, με την επιλογή να διαιρεί τη γεωμετρία στο επίπεδο τομής (επιλογή **Split Mesh**) και καθορισμός του επιπέδου τομής (θέση-προσανατολισμός)
2. Προσθήκη **Edit Poly Modifier**, ώστε να μπορούμε να διαχειριστούμε ξανά τα πολύγωνα του διαιρεμένου αντικειμένου και επιλογή της «ραφής» -που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα- ως **border**
3. Χρήση της εντολής για δημιουργία μονοδιάστατου γραμμικού σχήματος - σημεία και ευθύγραμμα τμήματα – απο τα επιλεγμένα ευθύγραμμα τμήματα του αντικειμένου (**Create shape from selection**).
4. Ονοματοδοσία του γραμμικού σχήματος (**shape**) σχετική με τη θέση και το ύψος τομής.



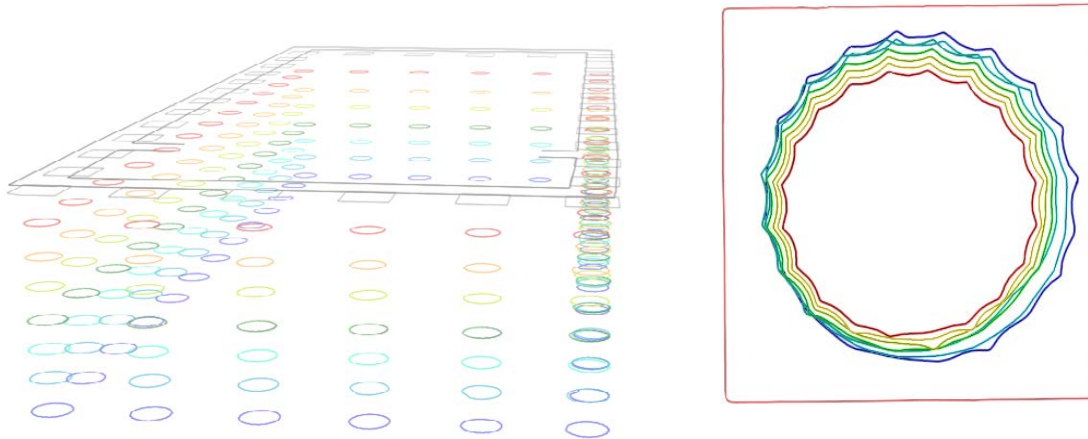
Για να υπάρξει συνέχεια μεταξύ των τομών στα τέσσερα ξεχωριστά αρχεία (κρηπίδωμα, κίνες πτερού, σηκός, επίστεψη), η σήμανση της θέσης των επιπέδων τομής αντιγράφηκε στο καθένα, αξιοποιώντας τη χρήση ενός κοινού συστήματος συντεταγμένων.

Λόγω της πυκνότητας -σε πολύγωνα- του 3d αντικειμένου, η παραπάνω διαδικασία παράγει γραμμές με πολύ μεγάλο αριθμό σημείων -στις οποίες υπεισέρχεται και «θόρυβος» της καταγραφής-, πολύ δύσκολα διαχειρίσιμες από το λογισμικό AutoCAD. Έτσι, μια πρώτη απλοποίηση έγινε στο περιβάλλον του 3dStudioMax χειροκίνητα και με χρήση διάφορων διαθέσιμων εργαλείων του, με σκοπό να μειωθεί το πλήθος των σημείων των γραμμών και να απλοποιηθούν.

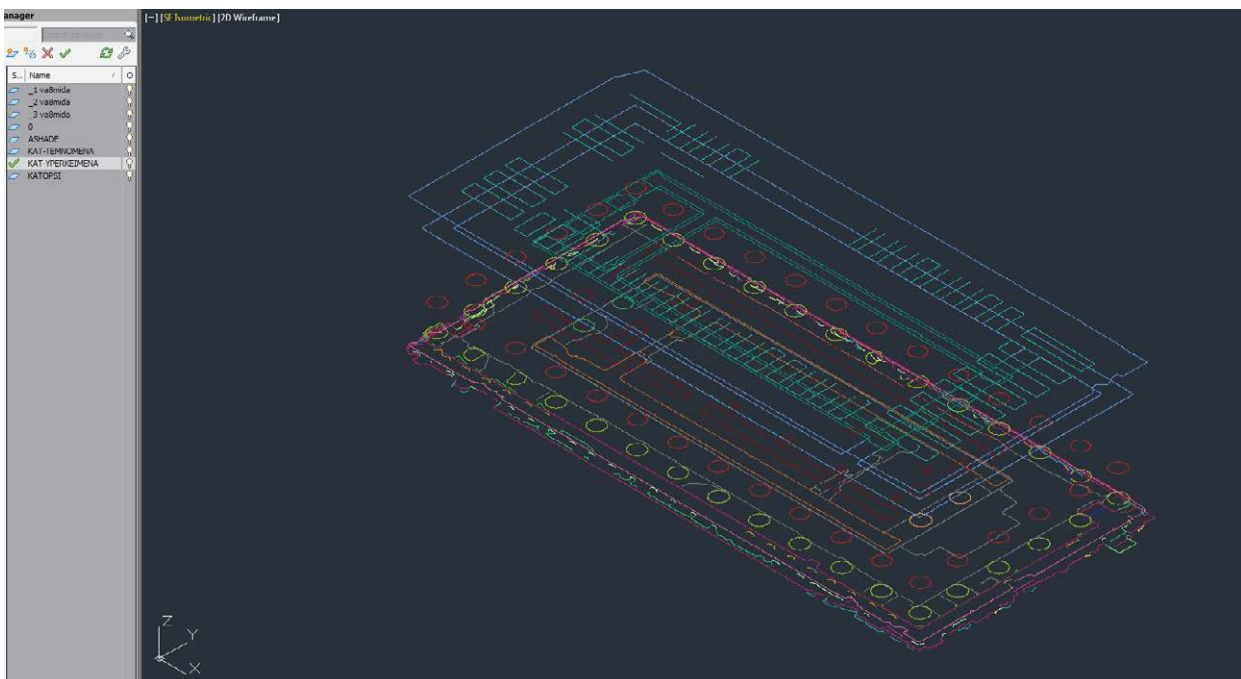




Επίσης, αναφορικά με τους κίνες του πτερού, εξήχθησαν τα περιγράμματα αλληπάλληλων τομών καθ' ύψος στο μέσο κάθε σπονδύλου με σκοπό να διαπιστωθεί η μετακίνηση και περιστροφή των σπονδύλων λόγω σεισμικών καταπονήσεων. Δόθηκε καθ' ύψος χρωματική διαβάθμιση για την ευκρινέστερη ανάγνωση σε κάτοψη.



Στη συνέχεια τα περιγράμματα χωρίστηκαν σε ομάδες (Layers) τεμνόμενων και προβαλλόμενων στοιχείων ανα τομή-κάτοψη και ακολούθησε η εξαγωγή τους σε μορφή αρχείου .dwg, αναγνωρίσιμη από το λογισμικό AutoCAD. Στο AutoCAD έγινε η περαιτέρω επεξεργασία και συμπλήρωσή τους για τη δημιουργία των αρχιτεκτονικών υποβάθρων. Στο λογισμικό έγινε και η προετοιμασία τους για εκτύπωση, καθώς επίσης ξεκίνησε και το κυρίως κομμάτι της χαρτογράφησης των φθορών, για όποια τμήματα υπήρχαν διαθέσιμα ορθοφωτογραφικά δεδομένα. [βλ.ακολουθη ενότητα].



### 3.4. ΣΥΝΤΑΞΗ ΟΨΕΩΝ

Για τα σχέδια των δύο όψεων του μνημείου, βάση αποτέλεσαν τα ορθοφωτομωσαϊκά τους. Έχουν επαρκή ακρίβεια για τη σχεδιαστική απόδοση σε κλίμακα 1:50 και δίνουν τη δυνατότητα συνεπών μετρήσεων, μιας και έχουν εξαλειφθεί οι προοπτικές παραμορφώσεις.

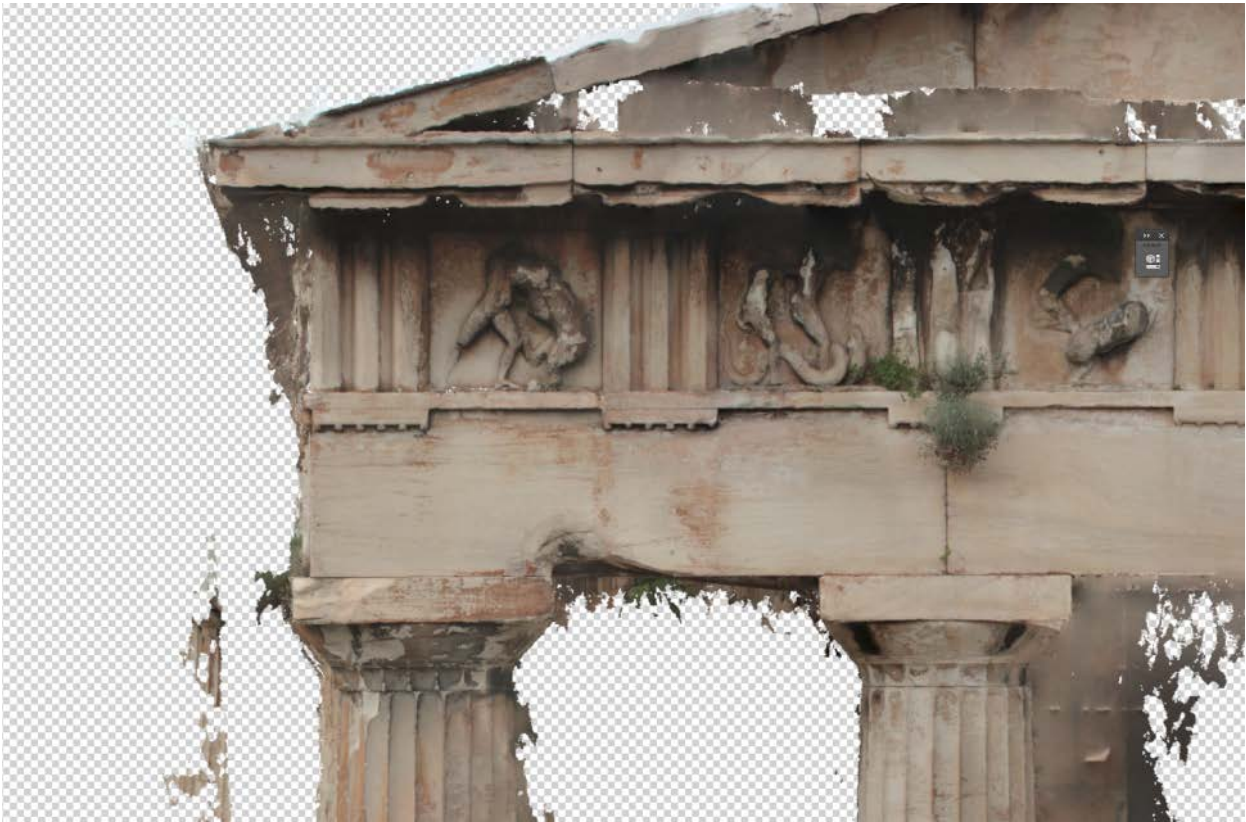


99

Εντούτοις, οι ορθοφωτογραφίες περιέχουν περιορισμένης έκτασης κενά στα καταγεγραμμένα δεδομένα και παρατηρείται ότι προς τα άνω μέρη του ναού, η ποιότητα της εικόνας ελαττώνεται και εμφανίζονται παραμορφώσεις, ιδίως αισθητές στα κιονόκρανα: στις οριζόντιες ταινίες (ιμάντες) μεταξύ του υποτραχηλίου και του εχίνου. Επίσης, μικρής έκτασης έλλειψη δεδομένων παρατηρείται και στο κάτω τμήμα των ζωφόρων και των επιστυλίων (εκεί που συναντούν τον άβακα του κιονοκράνου), καθώς οι περιοχές αυτές ήταν άορατες από τις επίγειες λήψεις.

Υπολογίστηκε η πυκνότητα πληροφορίας σε εικονοστοιχεία (pixels) που αντιστοιχεί ανά  $\text{cm}^2$  του μνημείου.

- **Νότια Όψη:**  $10\text{px}/\text{cm}^2$
- **Ανατολική Όψη:**  $5\text{px}/\text{cm}^2$
- **Τοίχος Πρόναου:**  $16\text{px}/\text{cm}^2$
- **Τοίχος Οπισθόδομου:**  $<1\text{px}/\text{cm}^2$



100



Στα αρχιτεκτονικά σχέδια που παρήχθησαν, ιχνηλατήθηκαν στοιχεία όπως οι ραβδώσεις των κίωνων, η απώλεια αυθεντικού υλικού και παρεμφερή γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Καθότι η πλειοψηφία των δομικών μονάδων εμφανίζει απώλεια αυθεντικού υλικού και παραμορφώσεις που αλλοιώνουν το «αρχικό» περίγραμμα του μέλους, έγινε προσπάθεια –όπου ήταν δυνατό βάσει ενδείξεων- τα σχήματα που αντιπροσωπεύουν την απώλεια υλικού να υποδηλώνουν την «ιδεατή» μορφή του μέλους –καίτοι μερικές φορές σε άλλη θέση, όπως στους μετακινημένους σπονδύλους του πτερού. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να παρασταθεί η απώλεια υλικού σαν περιοχή μεταξύ «αρχικού» και παρόντος περιγράμματος.

Σημειώνεται ότι η ελαφρά καμπύλωση του στυλοβάτη και του γείσου αποδόθηκε προσεγγιστικά με ευθύγραμμα τμήματα .



Περιγράφηκε επίσης το **εξωτερικό περίγραμμα** κάθε γενικού τμήματος του ναού (πχ κίονες, επιστύλιο, σηκός), αλλά και επιμέρους περιγράμματα των δομικών μονάδων, όπως κίονες, δοκοί επιστυλίου, δομόλιθοι. Σχεδιάστηκαν ως κλειστές πολυγωνικές γραμμές, με σκοπό να ορίζουν τοπολογικά μια περιοχή. Αυτό δίνει το διπλό πλεονέκτημα της γρήγορης εμβαδομέτρησης της επιφάνειας που περικλείεται καθώς και της δυνατότητας για γραμμοσκίασή της κατά την ακόλουθη παραγωγή των θεματικών χαρτών. Σε περιπτώσεις όπως αυτή του τοίχου του σηκού, όπου μια αρχιτεκτονική επιφάνεια καλύπτεται κατά τόπους από μιά άλλη –την κιονοστοιχία-, περίγραμμα της επιφάνειας νοείται μόνο το ορατό τμήμα της.

### 3.5. ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

#### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ-ΔΟΜΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

Πρώτο βήμα στη σχεδιαστική καταγραφή των μορφών φθοράς σε περιβάλλον AutoCAD είναι ο προσδιορισμός των διαφορετικών επιπέδων σχεδίασης ομοειδών πληροφοριών (Layers) που αντιστοιχούν στις ποικίλες μορφές φθοράς και γενικά στις οντότητες των θεματικών χαρτών (όπως περιγράμματα αρχιτεκτονικών μελών ή διαφορετικών υλικών). Το περίγραμμά τους ιχνηλατήθηκε με βάση κυρίως τα χρωματικά τους χαρακτηριστικά και το πλαίσιο στο οποίο εμφανίζονται. Κάποιες πρώτες διαπιστώσεις της Διαγνωστικής Μελέτης του Εργαστηρίου Υλικών της Σχολής ΧΜ ΕΜΠ μέσω της μεταπτυχιακής εργασίας της Ιωάννας Ντούτση, έδωσαν κατευθύνσεις για τη σωστή ταυτοποίηση και ομαδοποίηση των φθορών. Ακολουθούν κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με τη δόμηση των θεματικών πληροφοριών, αλλά και αναφορικά με τη σχεδιαστική απόδοση των φθορών.

Ως προς την αντιμετώπισή τους οι γενικές κατηγορίες που διακρίθηκαν είναι οι εξής:

#### - Απώλεια αυθεντικού υλικού

Όπου ήταν ευδιάκριτα τα σημεία στα οποία διακρίνεται απώλεια αυθεντικού υλικού στην περιφέρεια του μαρμάρινου μέλους, ορίστηκε το περίγραμμά της σε σχέση με το υποθετικά υγιές μέλος. Είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η απώλεια υλικού στον όγκο του μέλους -αποτελεί μόνο μια ένδειξη αλλοίωσης στο επίπεδο της εξωτερικής επιφάνειας (δεν εκτιμάται το βάθος της φθοράς) και δίνει μια γενική εικόνα των περιοχών στις οποίες εμφανίζεται έντονα.

Στις περιοχές αυτές περιλαμβάνονται απολαξυμένες περιοχές, θραύσεις και αποτμήσεις γωνιών.

#### - Ρωγμές

102

- τριχοειδείς όπου είναι ορατές – αναπαρίστανται ως μονοδιάστατες τεθλασμένες γραμμές

- όπου παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια υλικού σε τμήματα της ρωγμής, παρίσταται ως κλειστό πολύγωνο.

Σε αυτό το επίπεδο ανάλυσης της ορθοφωτογραφίας και λόγω του διαφορετικού φωτισμού των επιφανειών κατά τη διάρκεια της λήψης δεν είναι διακριτές οι λεπτές / τριχοειδείς ρηγματώσεις του μαρμάρου, αλλά μόνο μεγαλύτερες ρήξεις που συνοδεύονται από απώλεια υλικού, μετακίνηση των παρειών (χείλη) ή συνδέονται με άλλες μορφές διάβρωσης που τις καθιστούν ορατές. Συχνά συγχέονται με εξαλλοιώσεις φλεβώσεων του μαρμάρου και μόνο η επί τόπου παρατήρηση ή και η χρήση κοντινών φωτογραφιών μπορεί να βοηθήσει στη διάκριση και ακριβή καταγραφή.

#### - Επιφανειακά στρώματα (Μαύρες Κρούστες – Επιδερμίδες – Μαύρη Βιοδιάβρωση και Λειχήνες)

Οι επιφανειακές φθορές που επιφέρουν έντονη χρωματική αλλοίωση είναι πιο ευδιάκριτες, εντούτοις δεν έχουν ευκρινή όρια και συχνά συνυπάρχουν με άλλες μορφές διάβρωσης. Ο πιο εμφανής τύπος επιφανειακής φθοράς στις όψεις είναι οι έντονες πορτοκαλί επιδερμίδες με διάφορες διαβαθμίσεις και αποχρώσεις που σχετίζονται και με τη θέση της επιφάνειας στην κατασκευή. Αλλού εμφανίζονται πιο αποπλυμένες, ενώ ανά περιοχές επικαλύπτονται από μαύρες κρούστες. Σε πρώτο στάδιο του σχεδιασμού, μέχρι να διαπιστωθεί η σύσταση του εκάστοτε στρώματος, έγινε διάκριση μεταξύ διαφορετικών βαθμών χρωματικής έντασής του, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των μαύρων κρουστών όπου σημειώθηκαν σε ξεχωριστό layer οι περιοχές τους που εμφανίζονται περισσότερο αποπλυμένες.



#### - Ανώτερη χλωρίδα

Ποώδη φυτά και βρύα είναι διακριτά σε πολλά τμήματα του μνημείου, κυρίως στην κρηπίδα και την επίστεψή του, όπου δύσκολα απομακρύνονται και ευνοούνται από την έντονη παρουσία πτηνών. Δόθηκε ένα γενικό περίγραμμα που δείχνει την έκταση του φυτού (βαθμό ανάπτυξής του) και εμμέσως την έκταση της φθοράς που προκαλεί το ριζικό του σύστημα.

#### - Ανθρώπινες Παρεμβάσεις

##### - Επεμβάσεις/ Συμπληρώσεις με άλλο υλικό

Τμήματα στα οποία διακρίνονται επεμβάσεις συμπλήρωσης με νέο λίθινο στοιχείο, σφράγισης ρωγμών με τσιμεντιτικό κονίαμα, ή παλαιότερες μετατροπές όπως η διάνοιξη και μετέπειτα σφράγιση των πλευρικών θυρών και απολαξεύσεις. Στη βάση της κρηπίδας είναι ευδιάκριτες οι εκτεταμένες συμπληρώσεις με τσιμεντοκονίαμα. Τα κονιάματα σφράγισης και στερέωσης δύσκολα διακρίνονται –εξαιτίας του χρώματός τους, των συνθηκών φωτισμού και της ανάλυσης της ορθοεικόνας (οι περισσότερες σφραγίσεις είναι της τάξεως των δύο εκατοστών).



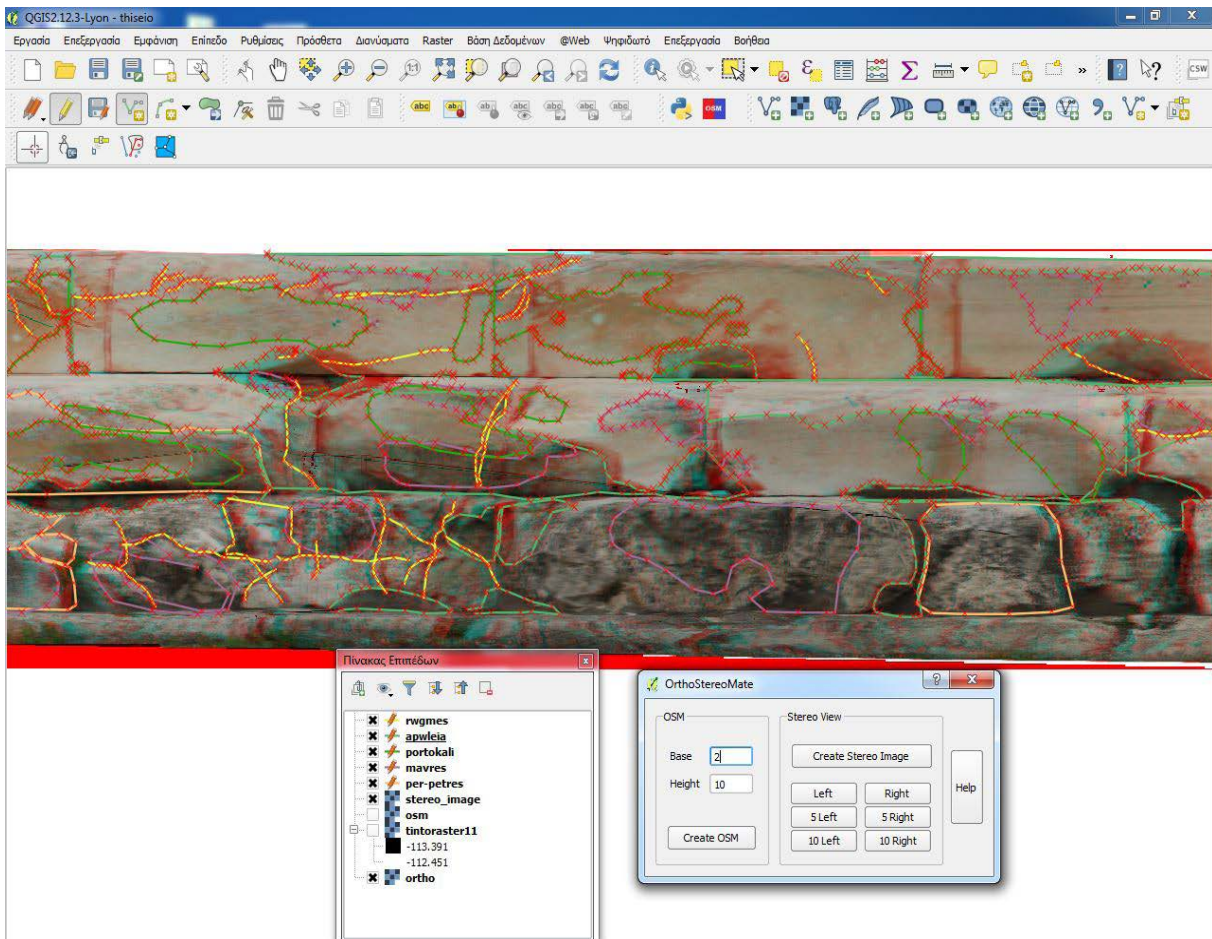
##### - Ιχνη Βλημάτων

Κυλικές περιοχές στις οποίες η επιφάνεια εμφανίζεται θραυσμένη και βυθισμένη, οι οποίες φαίνεται να προέρχονται από πρόσκρουση βλημάτων από πυροβόλα όπλα. Κριτήριο για τη διάκρισή τους στις ορθοφωτογραφίες είναι το κυκλικό σχήμα και το λευκότερο χρώμα (της υποκείμενης υγιούς επιφάνειας), ενώ συχνά στην περίμετρό τους φαίνεται να έχει διατηρηθεί επιφανειακή κρούστα ή επιδερμίδα, σχηματίζοντας ένα σκούρο δακτύλιο που πλαισιώνει το σημάδι.

## ΣΤΕΡΕΟ-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΠΙΔΑΣ

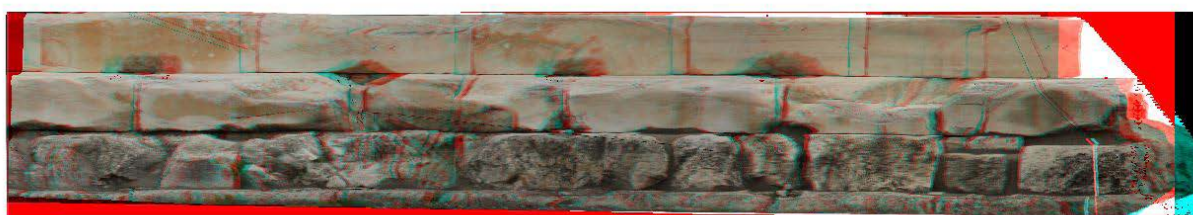
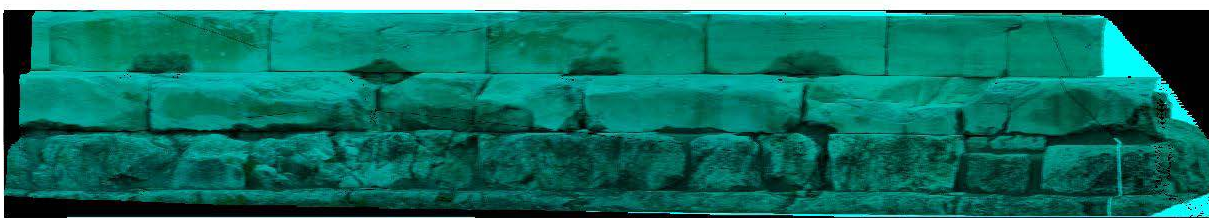
Σε περιορισμένη έκταση έγινε γεωμετρική καταγραφή (περιγραμμάτων αρχιτεκτονικών μελών και φθορών) ενός τμήματος της νότιας πλευράς της κρηπίδας, μέσω στερεο-ορθοφωτογραφικής απόδοσης στο ανοιχτό λογισμικό QGIS. Η έντονη απολάξευση των περιοχών αυτών καθιστά δύσκολο τον εντοπισμό των ακμών τους μέσω μίας ορθοφωτογραφίας. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε δοκιμαστικά το λογισμικό **OrthoStereoMate** (plugin του QGIS) που έχει αναπτύξει το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας ΑΤΜ ΕΜΠ, για τη στερεο-ορθοφωτογραφική προβολή του μοντέλου σε κοινή οθόνη υπολογιστή με χρήση μπλε-κόκκινων γυαλιών. Δίνει στο χρήστη το πλεονέκτημα της αντίληψης της χωροθέτησης των στοιχείων που βλέπει σε μια ορθοφωτογραφία. Για τη δημιουργία της στερεο-απόδοσης, το **OrthoStereoMate** δημιουργεί το κατάλληλο στερεοζεύγος που θα δώσει την αντίληψη του αναγλύφου. Με βάση την αρχική ορθοφωτογραφία και μέσω των πληροφοριών του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας για την τρίτη διάσταση, συντίθεται η δεύτερη εικόνα του στερεοζεύγους.

Ο χειριστής διαλέγει το ποσοστό παράλληξης των εικόνων, εστιάζοντας έτσι σε ένα επίπεδο βάθους στο οποίο και μπορεί να σχεδιάσει γραμμές και πολύγωνα. Στη συνέχεια τα σχήματα εισάγονται στο **AutoCAD** για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

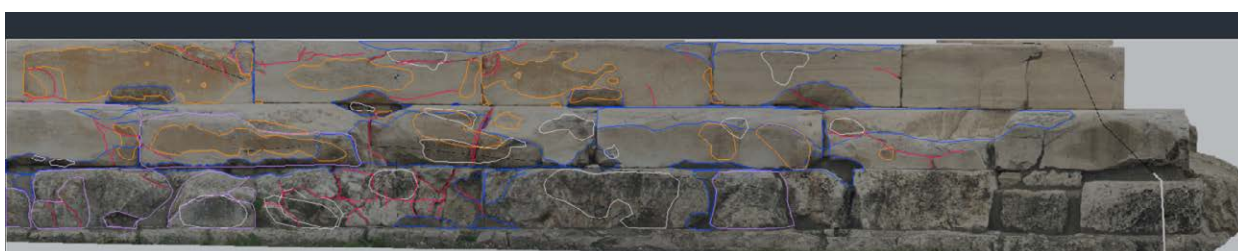


Στερεοσκοπική προβολή τμήματος της κρηπίδας με χρήση του OSM





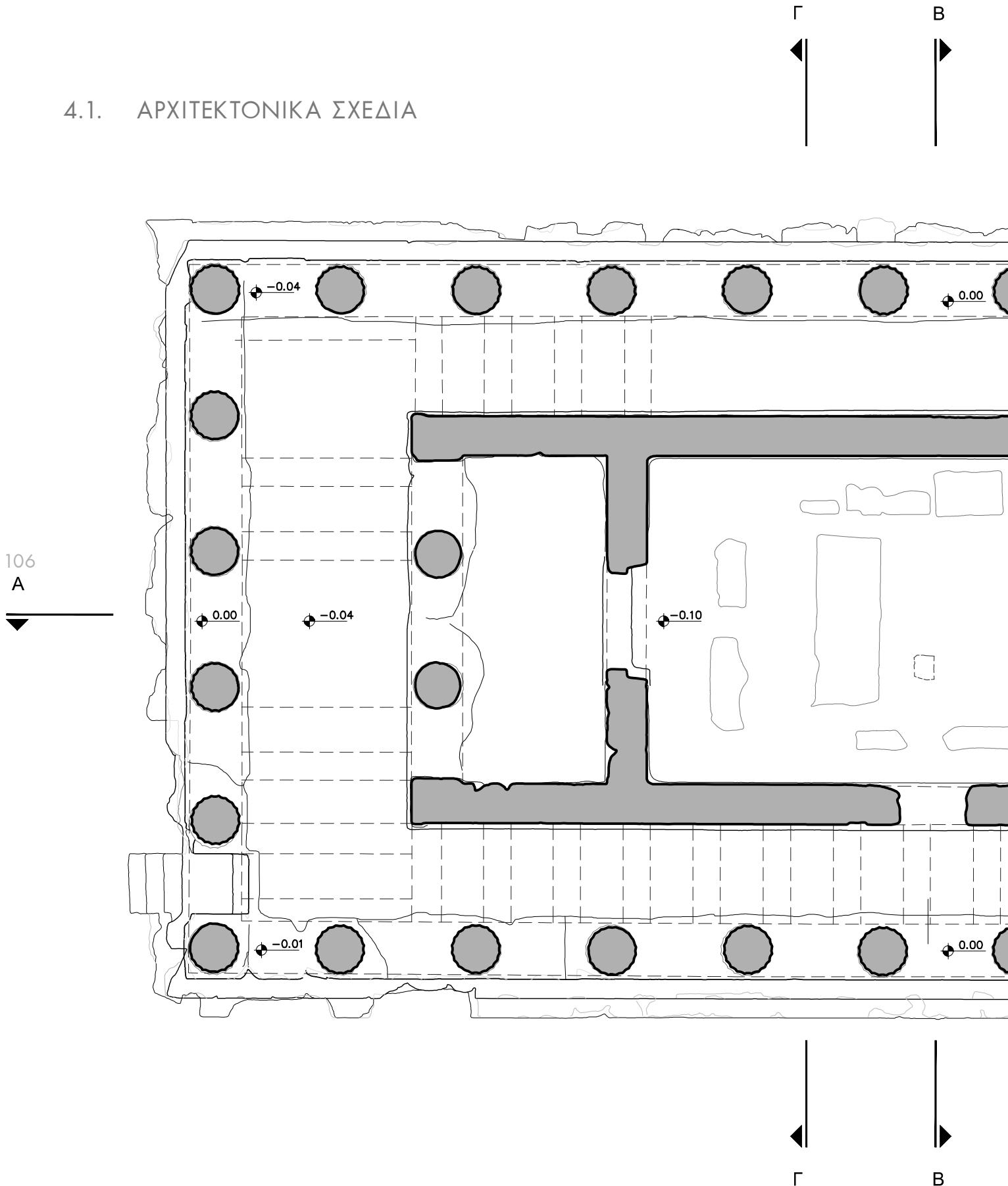
105



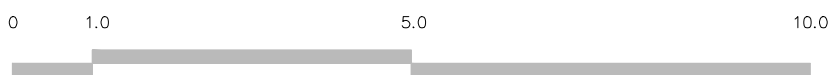
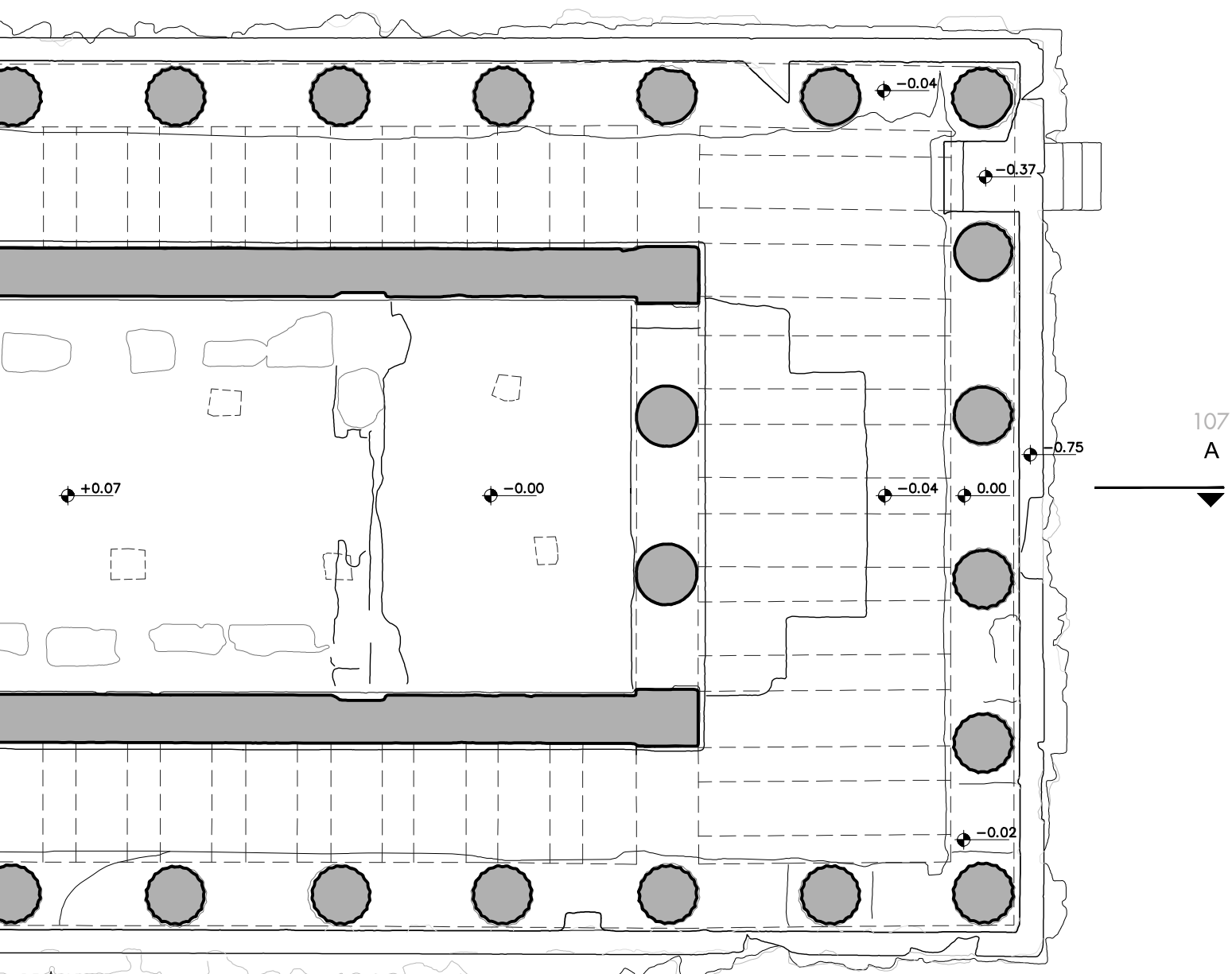
1. Η αρχική ορθοφωτογραφία του τμήματος / 2. Χάρτης «υψομέτρων» αναγλύφου του 3d μοντέλου / 3. Η δεύτερη εικόνα του στερεοζεύγους που παράγει το OrthoStereoMate χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες του μοντέλου / 4. Στερεο-προβολή του ζεύγους / 5. Αποτέλεσμα της ιχνηλάτησης των περιγραμμάτων και των τύπων φθοράς στο QGIS

## 4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

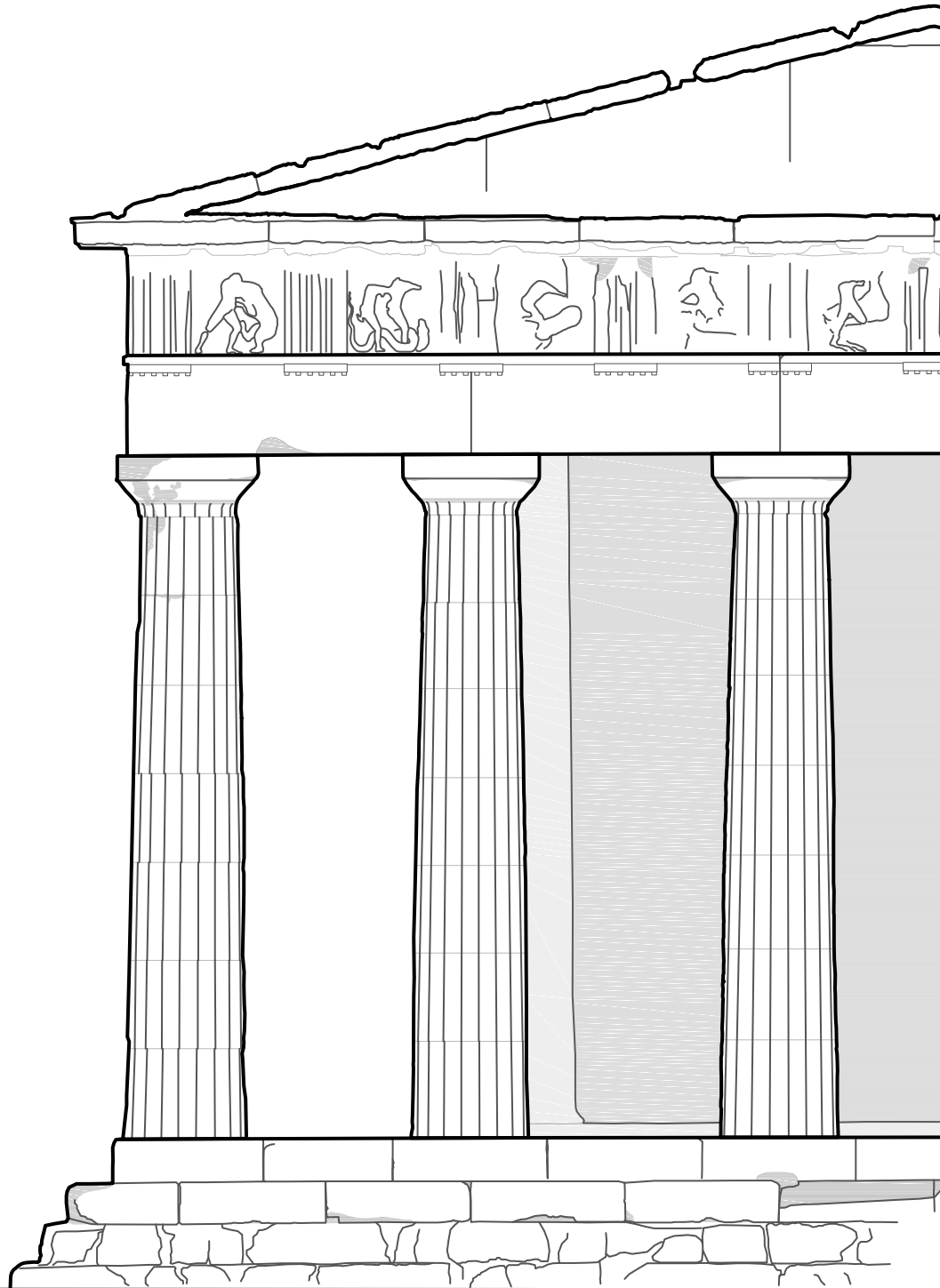
### 4.1. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

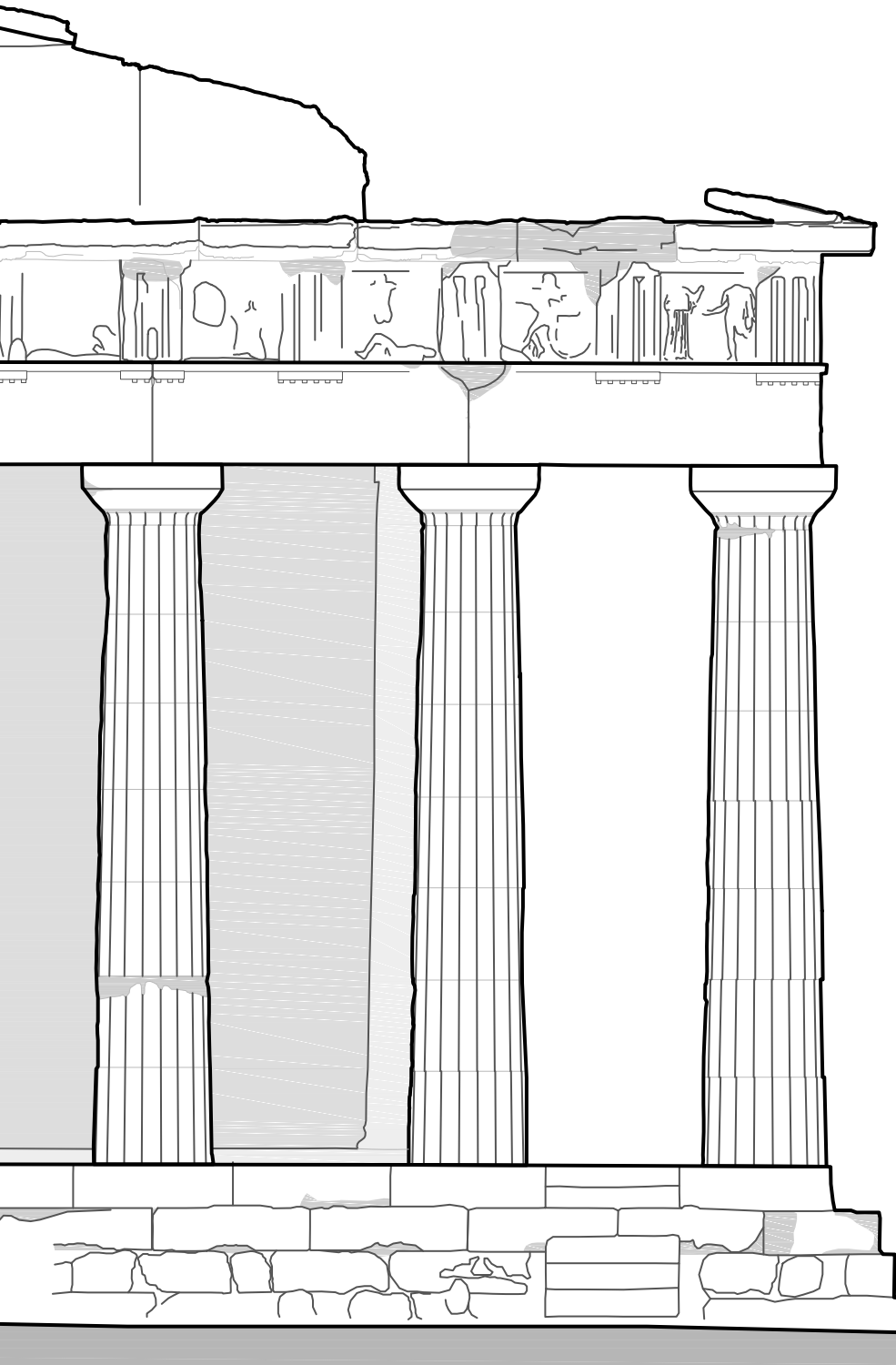


# ΚΑΤΟΨΗ

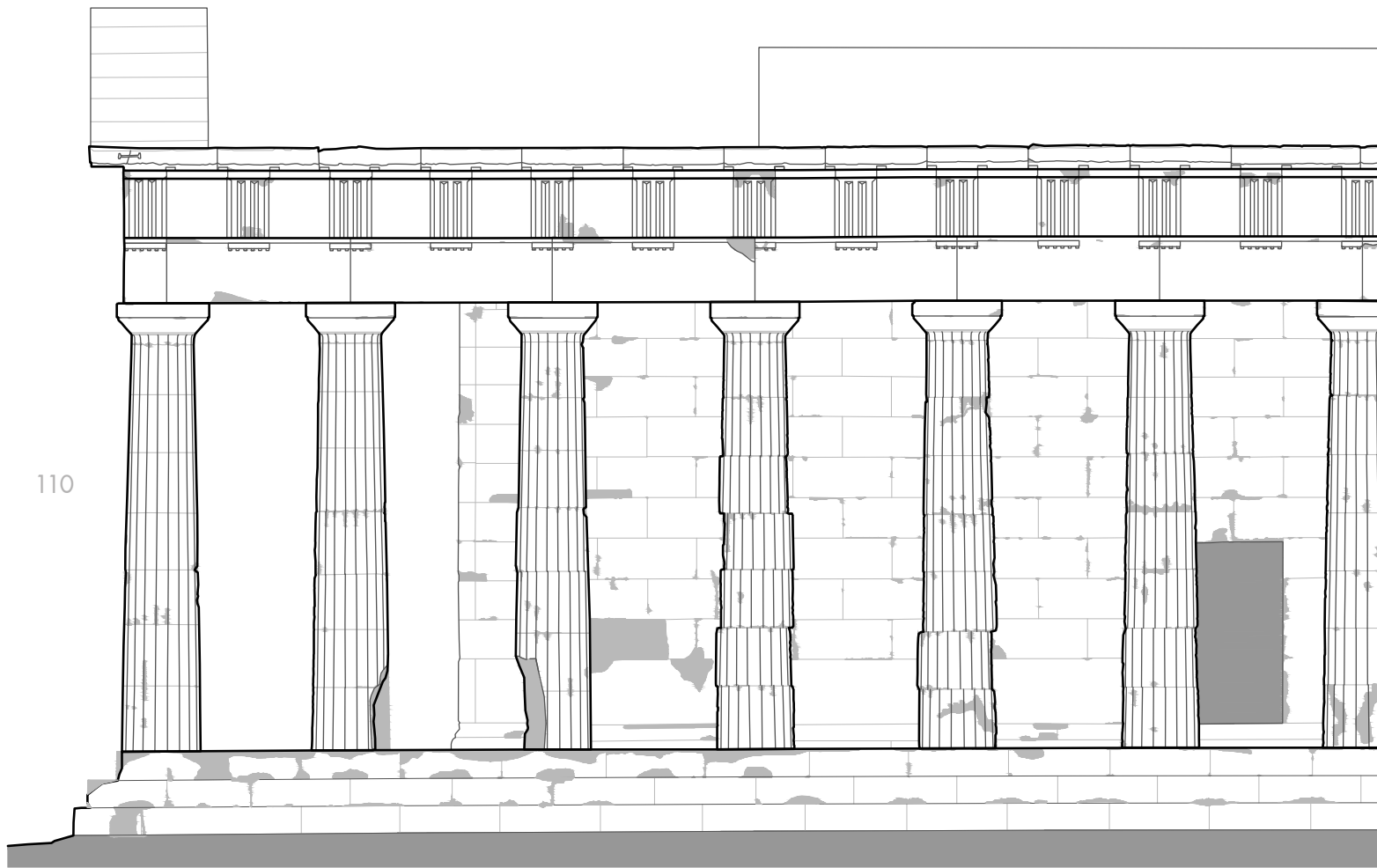


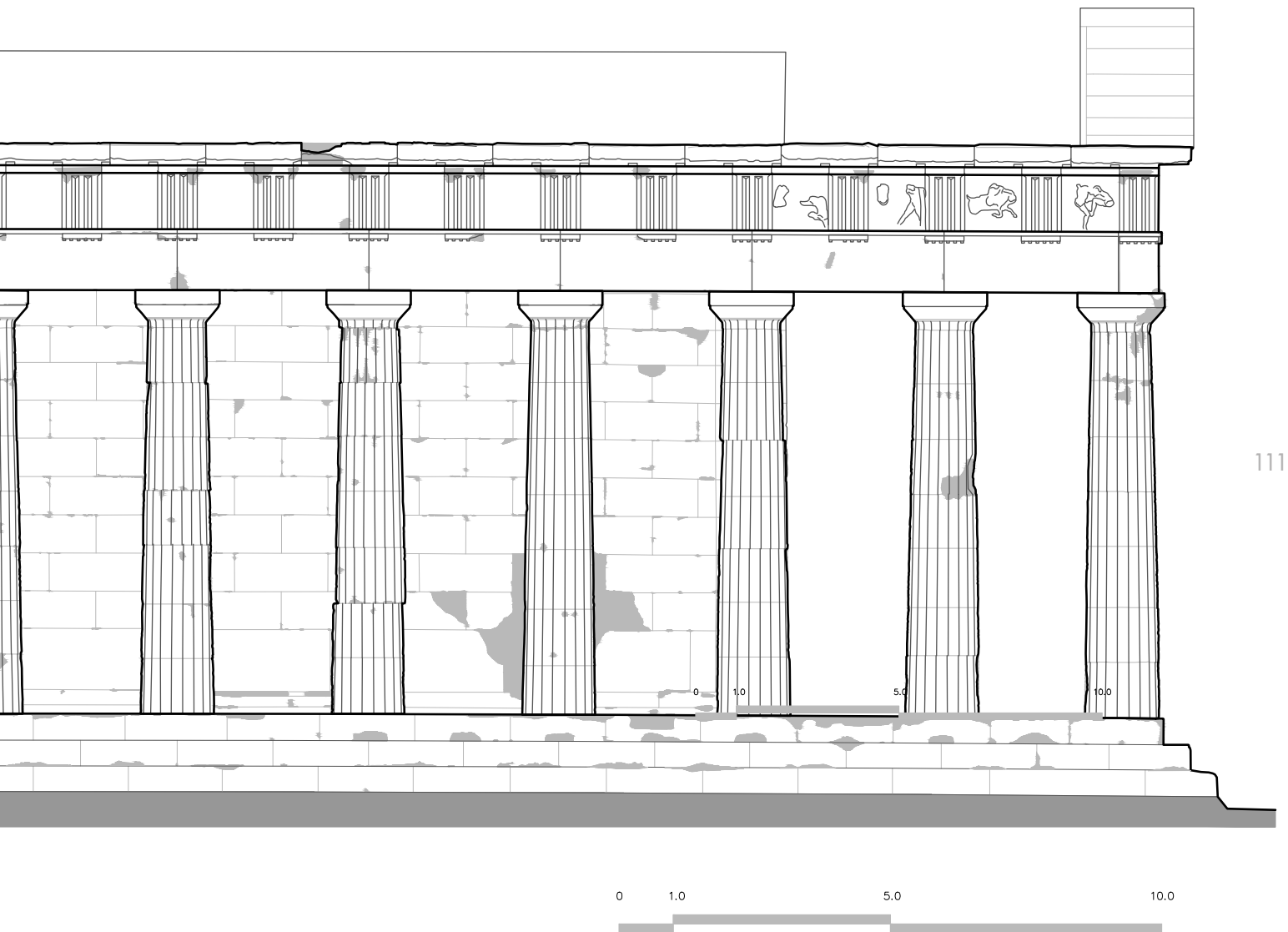
## ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ





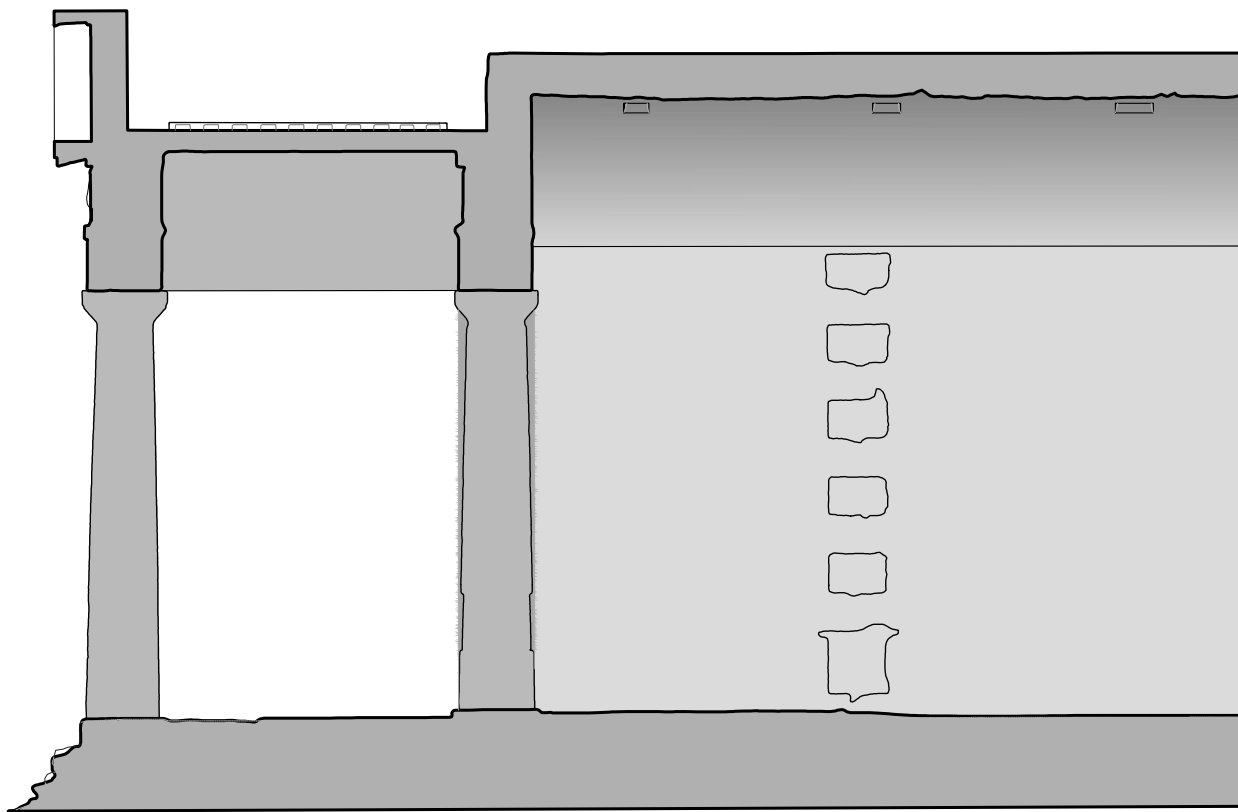
## ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ



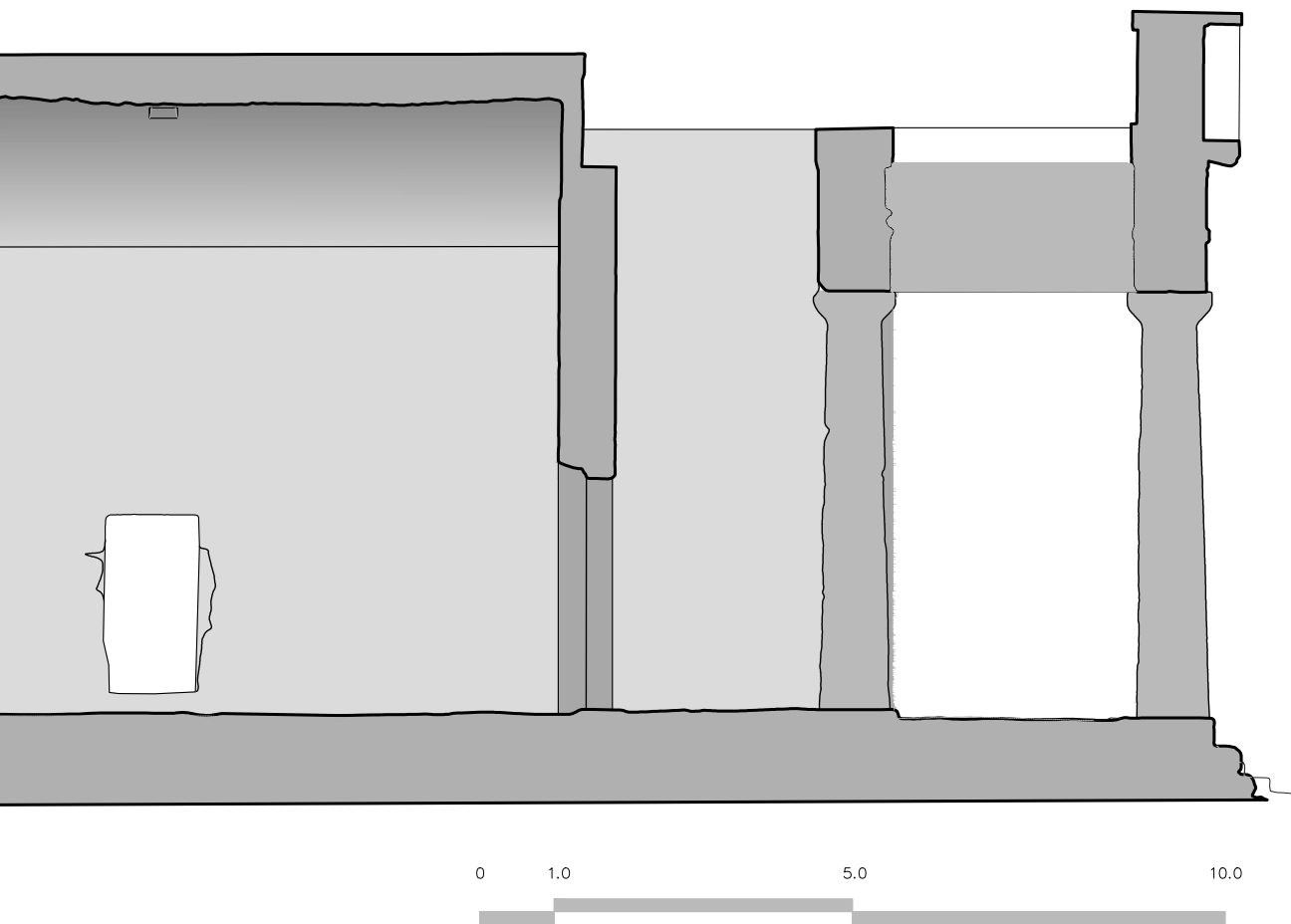


## ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ Α-Α'

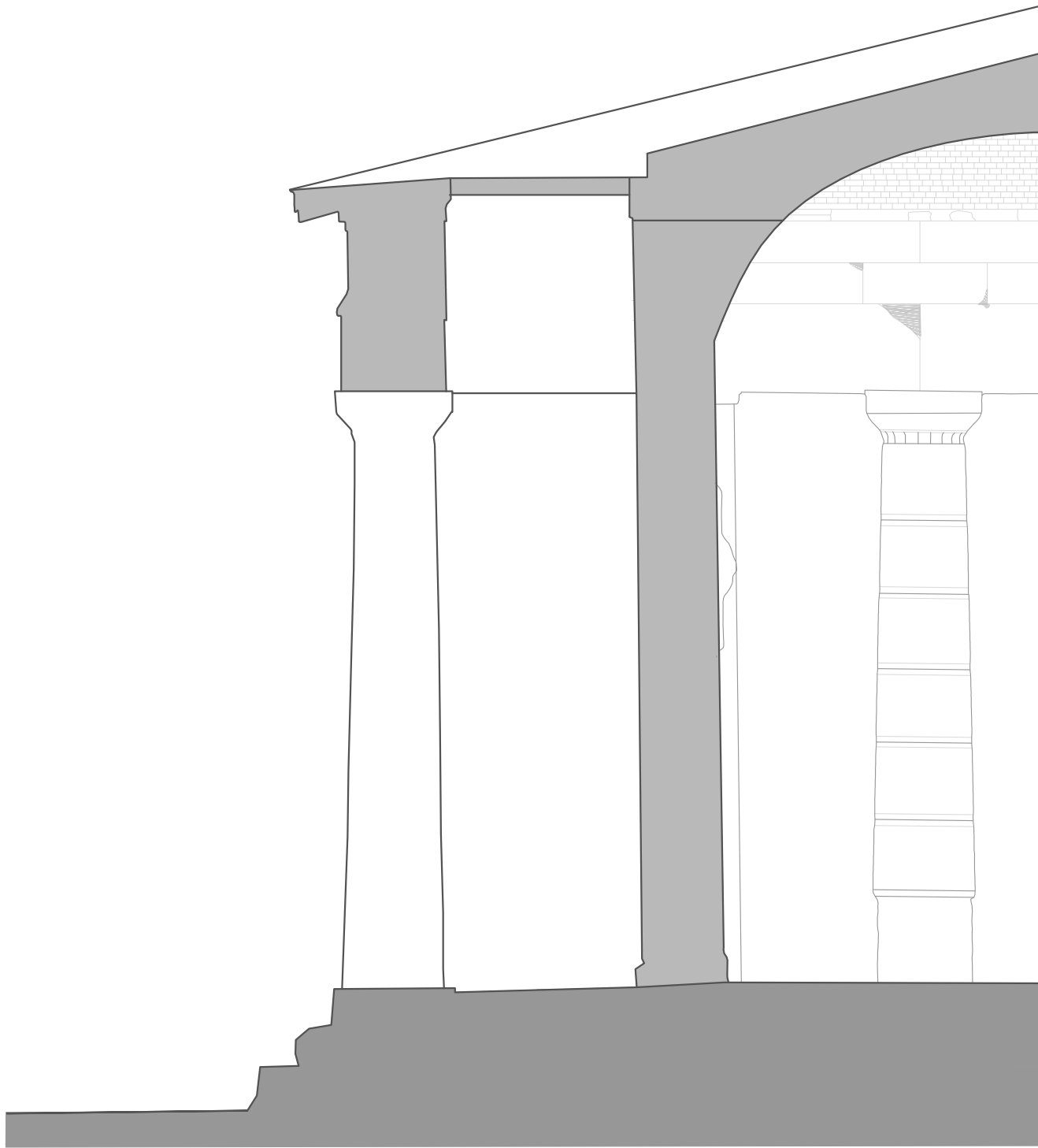
112

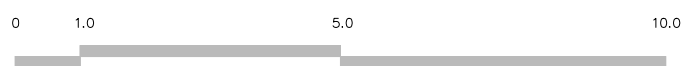
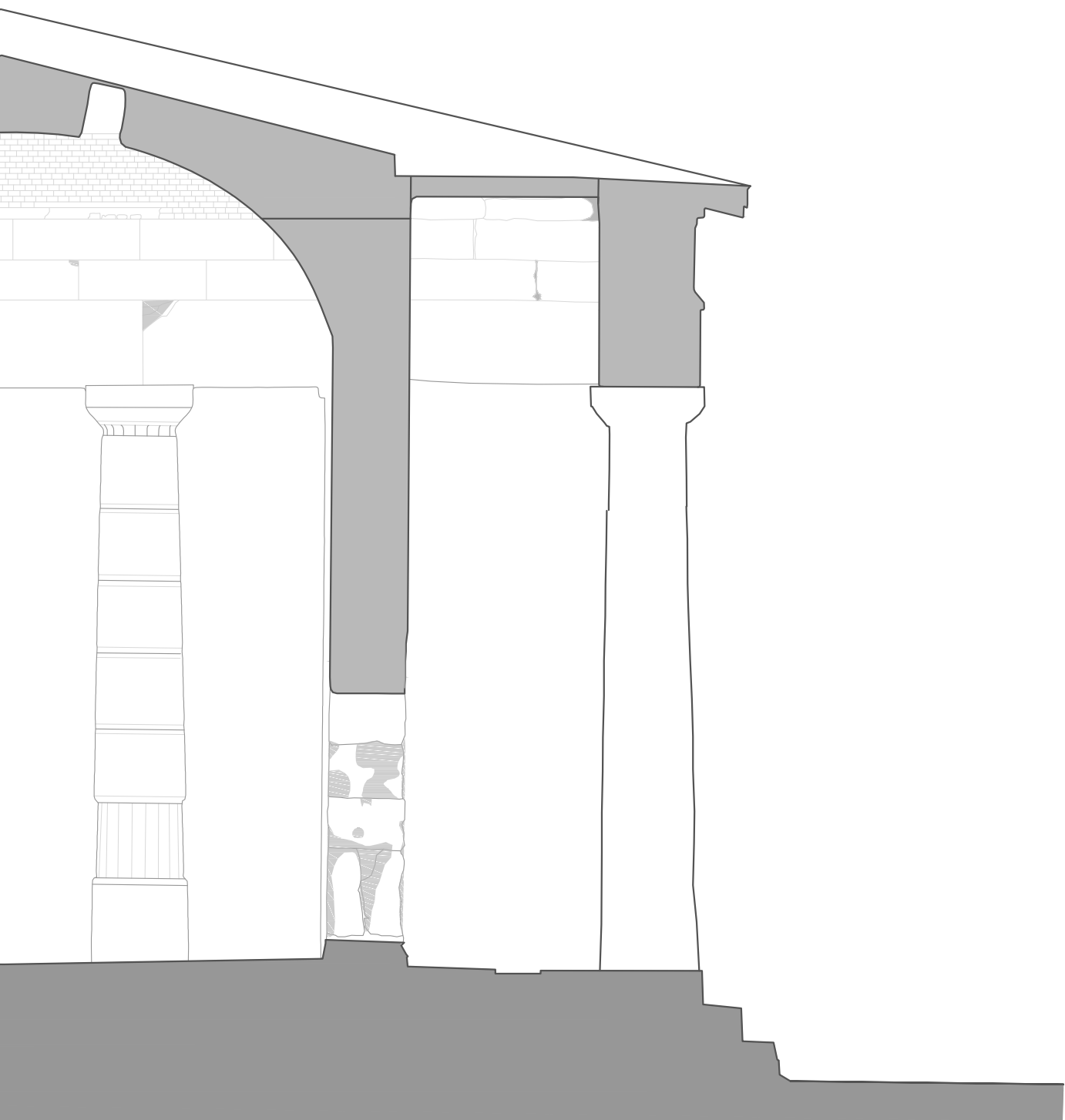






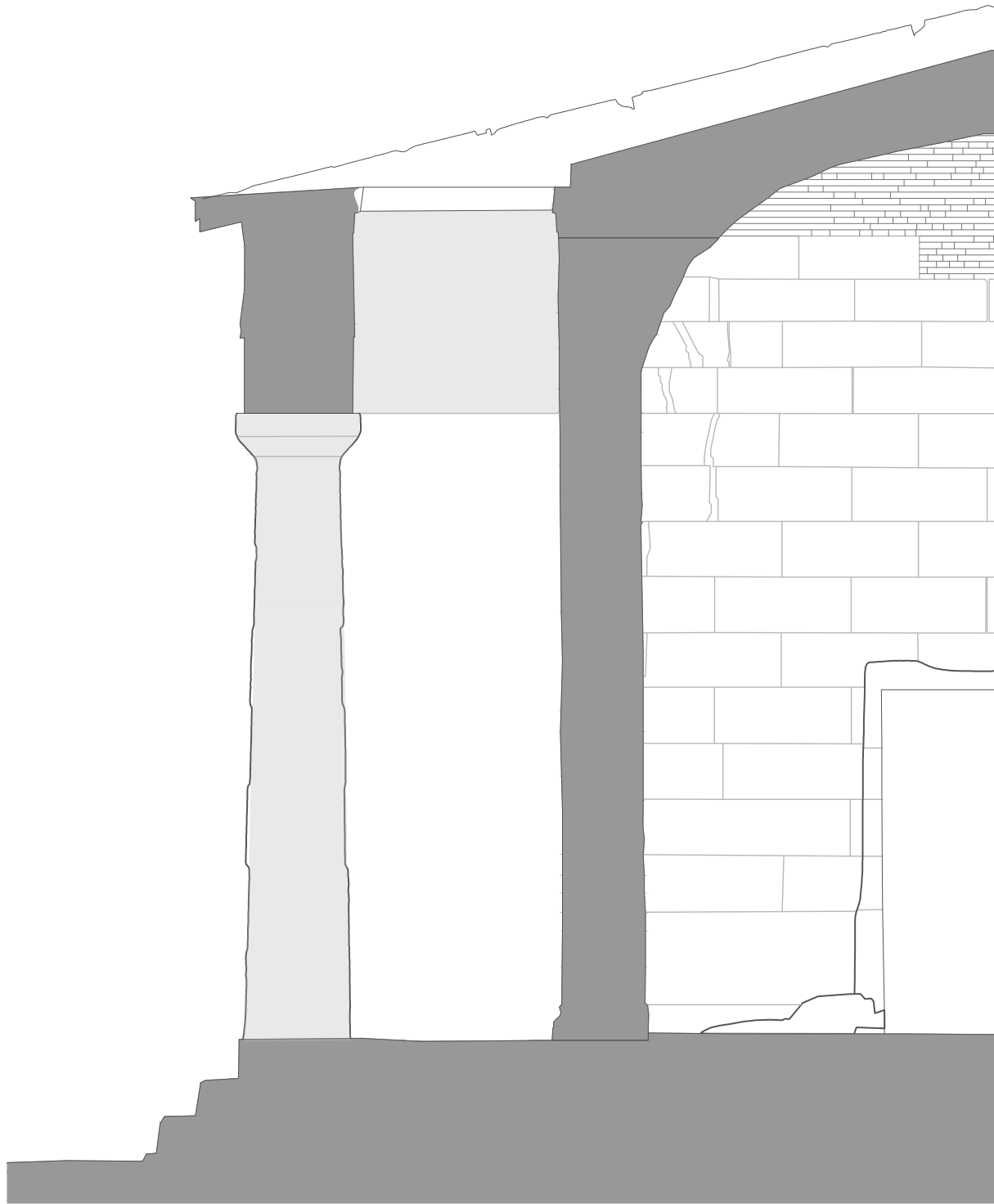
## ΤΟΜΗ Β-Β'

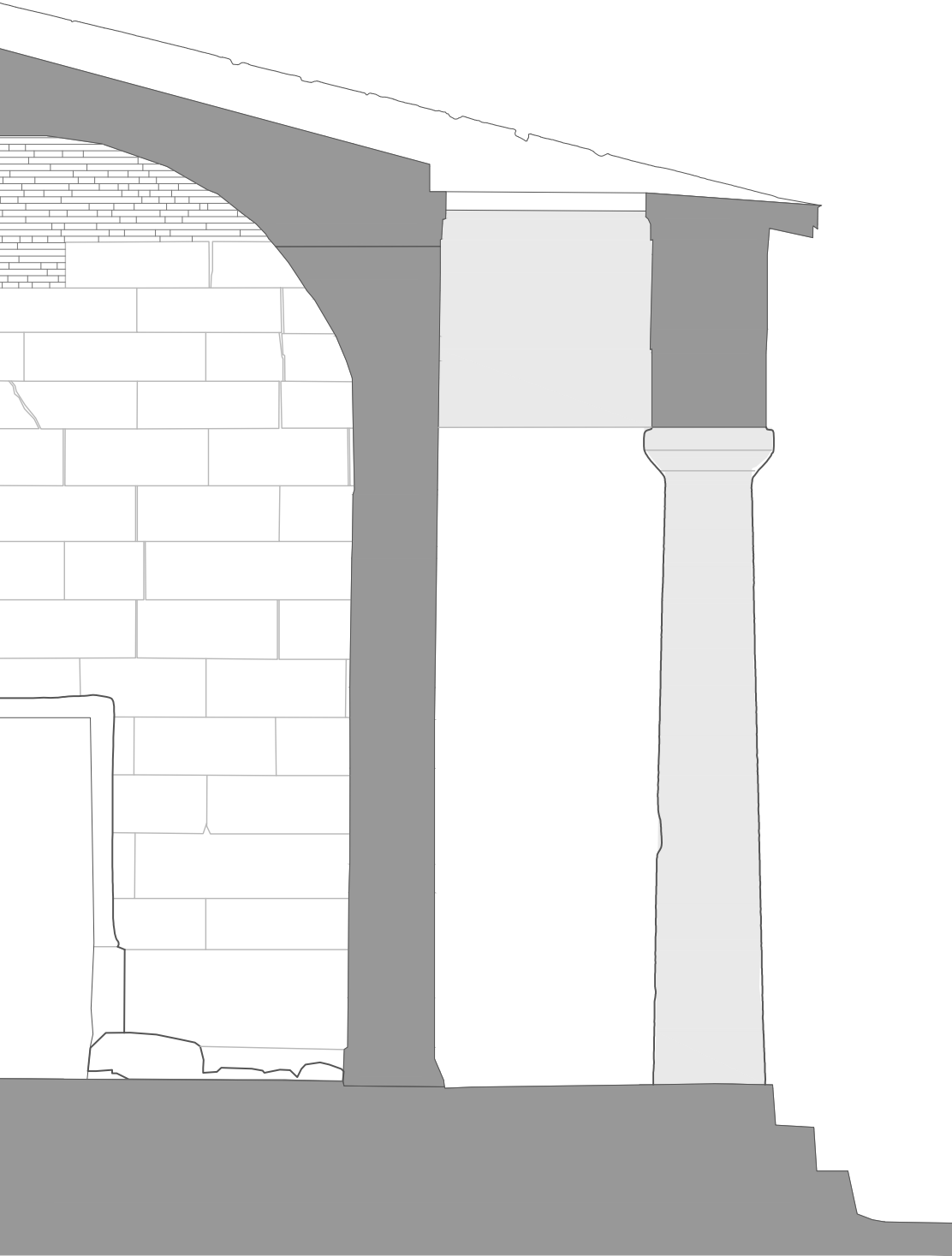




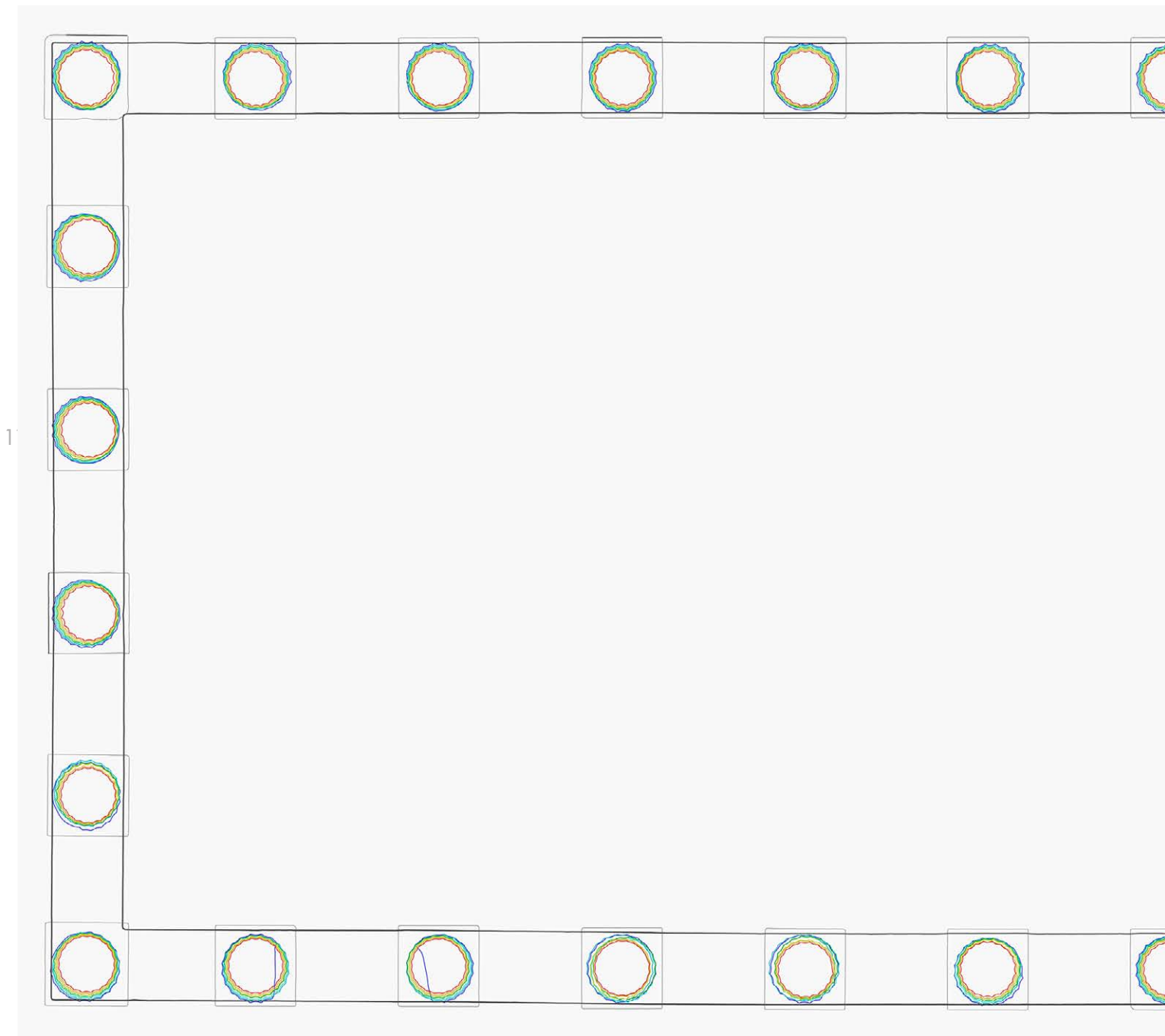
## ΤΟΜΗ Γ-Γ'

116

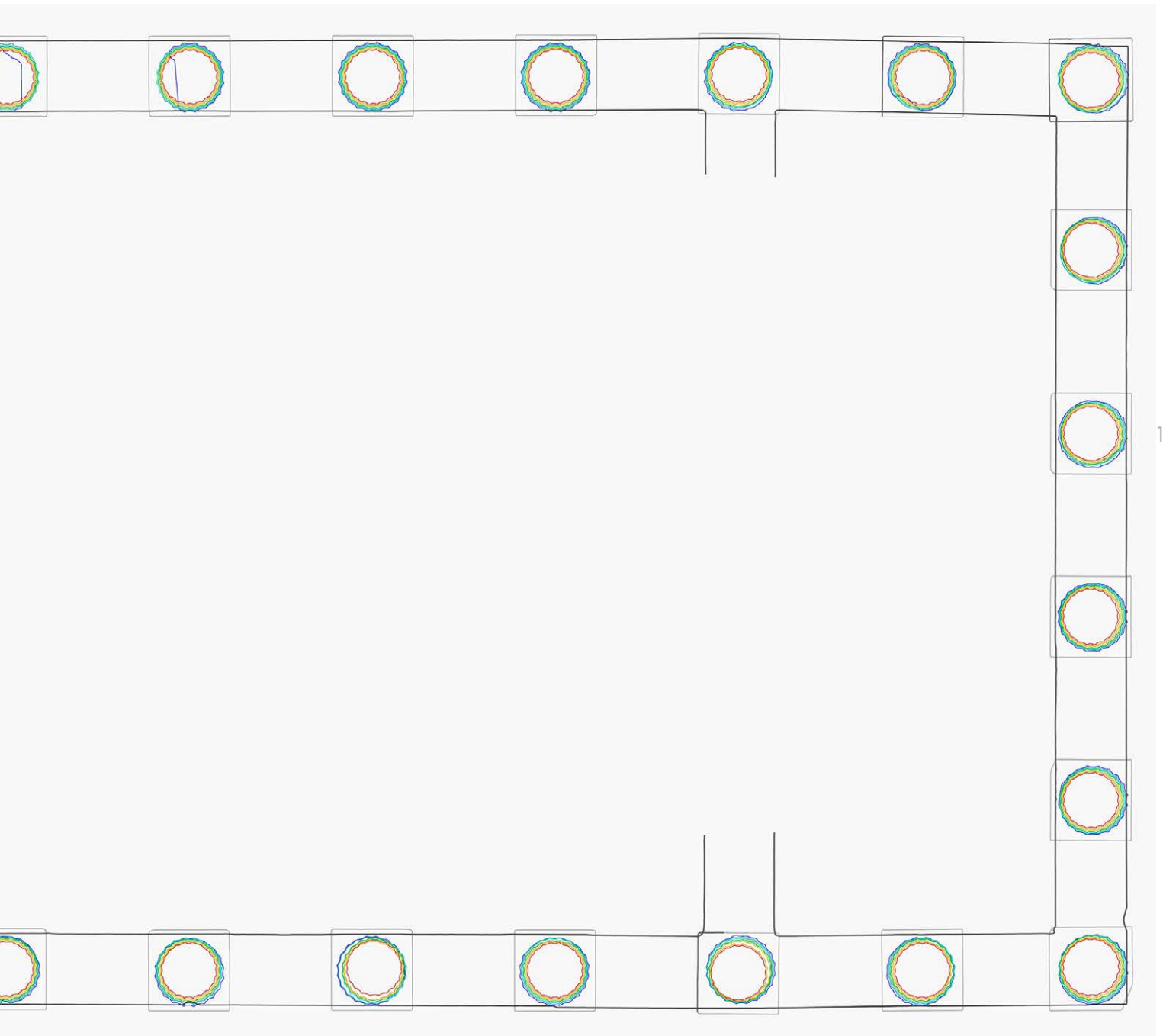




## ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΕΠΙΣΤΥΛΙΟΥ & ΚΙΟΝΩΝ

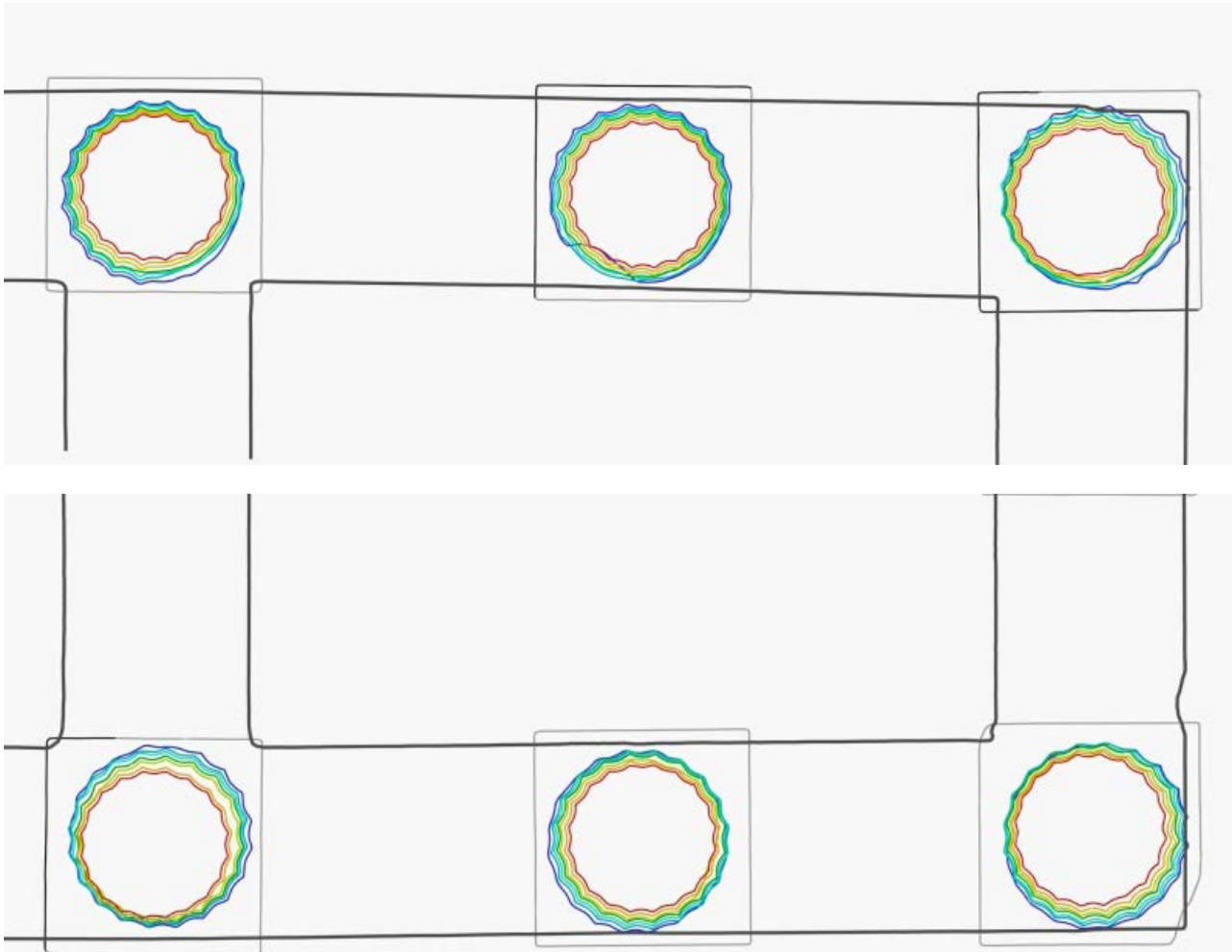


τα περιγράμματα των σπονδύλων στο μέσο του ύψους τους με χρωματισμούς που κυμαίνονται απο μπλε (χαμηλά) μέχρι κόκκινο (για το κιονόκρानο) και τους άβακες των κιονοκράνων.



Μετρώντας το επιστύλιο του περιμετρικού πτερού, διαπιστώθηκε ότι οι δύο στενές πλευρές παρουσιάζουν πολύ μικρή απόκλιση στις διαστάσεις τους, της τάξης του ενός εκατοστού. Αποκλίσεις στο πλάτος του ναού –στο επίπεδο του επιστυλίου- παρατηρούνται περί μέσο της νότιας πλευράς μεταξύ 5<sup>ου</sup> και 6<sup>ου</sup> κίονα απο δυτικά, κατά 3 με 4 εκατοστά.<sup>1</sup> Σημαντικότερη απόκλιση, με μέγιστη τιμή της τάξης των 15εκ. εμφανίζεται προς το ανατολικό τμήμα του ναού, στον άξονα του εσωτερικού επιστυλίου πάνω από την ανατολική είσοδο (περί τα 10εκ. στο βορρά και 5εκ. στη νότια κιονοστοιχία).

Η μετακίνηση αυτή ακολουθείται και από την εμφάνη προς τα έξω κλίση των αντίστοιχων κίωνων ( τρίτοι απο ανατολικά), αντίθετη προς την αρχική τους κλίση προς τα μέσα (μέρος των οπτικών διορθώσεων των κλασικών ναών) Επίσης, στη βορειοανατολική γωνία του ναού τα δύο επιστύλια συναντώνται υπό αμβλεία γωνία, με το βόρειο επιστύλιο να ακολουθεί την παραμόρφωση του τρίτου κίονα. Αντίστοιχα και στη νοτιοανατολική γωνία παρατηρούμε άνοιγμα του αρμού των επιστυλίων.



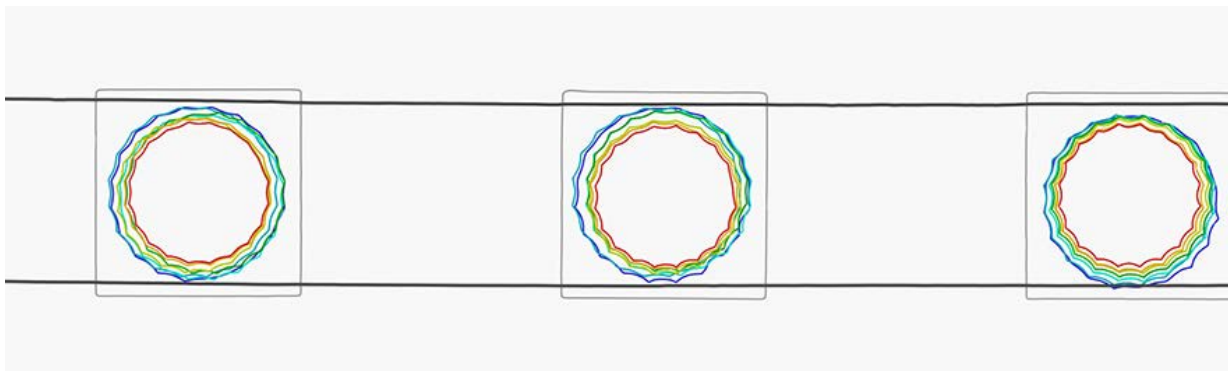
Η βορειοανατολική και νοτιοανατολική γωνία των επιστυλίων

Τα στοιχεία αυτά οδηγούν στην υπόθεση ότι ωθήσεις της βυζαντινής καμάρας έχουν μετακινήσει -μέσω του εσωτερικού ανατολικού επιστυλίου- τους κίονες των κατά μήκος κιονοστοιχιών στο ύψος των επιστυλίων. Η δράση αυτή πιθανώς ξεκίνησε ή υποβοηθήθηκε από σεισμική δραστηριότητα -εξάλλου σε άλλους κίονες παρατηρείται έντονη στροφή και μετατόπιση των σπονδύλων τους - χαρακτηριστική του συνδυασμού σεισμικών φορτίσεων και πλευρικών ωθήσεων- πολύ εντονότερη στη νότια κιονοστοιχία (βλ. εικόνα)

1 Ο W. B. Dinsmoor Jr. καταγράφει αποκλίσεις από τις θεωρούμενες αρχικές διαστάσεις στο -πιό πάνω- επίπεδο των γείσων: 5-6 εκατοστά μεγαλύτερος κατά το μήκος, ενώ κατά το πλάτος οι αποκλίσεις κυμαίνονται από 3 έως και 21 εκ. Dinsmoor, W.B. Jr. 'The roof of the Hephaisteion' A.J.A. 80. 223 (1976), σελ. 223-4



Μια ακόμα ένδειξη ότι ο βυζαντινός θόλος «ανοίγει» κατά το πλάτος του, αποτελούν οι βαθιές ρηγματώσεις που διατρέχουν το μήκος του και από τις οποίες κατέρχεται υγρασία που αποπλένει τις επιφάνειες των εγκάρσιων τοίχων. Επίσης, όπως είναι εμφανές και από τις εγκάρσιες τομές Β-Β και Γ-Γ, υπάρχει αισθητή προς τα έξω κλίση του νότιου τοίχου του σηκού, ενώ αντίστοιχα βλέπουμε πλήρεις ρηγματώσεις και έντονες μετακινήσεις σε δομολίθους του οπισθόδομου. Τα στοιχεία αυτά σχετίζονται πιθανώς και με την προς νότο καμπύλωση του επιστυλίου που προαναφέρθηκε.



Οι κίονες 4-6 (απο δυτικά) του νότιου πτερού, με το επιστύλιο να αποκλίνει με τόξο 3-4 εκ.

## 4.2. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

### A. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΦΘΟΡΕΣ

Ο ναός του Ηφαίστου βρίσκεται σε αστικό και ρυπασμένο περιβάλλον, με υψηλή συγκέντρωση διοξειδίων άνθρακα, θείου και αζώτου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι παραπάνω ρύποι, σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας στην περιοχή, προκαλούν την όξινη προσβολή του δομικού ασβεστιτικού υλικού στον ναό. Το φαινόμενο αυτό διαπιστώνεται από την έκπλυση και την εξαφάνιση γλυπτών λεπτομερειών στα τμήματα του ναού που είναι εκτεθειμένα στη βροχή. Το σύνολο σχεδόν των μαρμάρινων επιφανειών που δεν καλύπτονται από επιφανειακά στρώματα και δεν προστατεύονται από το νερό της βροχής είναι έντονα ζαχαροποιημένες .

Στις περιοχές που είναι προστατευμένες και δεν βρέχονται παρατηρούνται επικαθίσεις αιθάλης και σχηματισμός μαύρης κρούστας, που οφείλονται στην επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το φαινόμενο αυτό ευνοείται από τις υψηλές συγκεντρώσεις αιθάλης που υπάρχουν στην περιοχή κατά τους χειμερινούς μήνες.



Απόπλυση της μαύρης κρούστας που έχει σχηματιστεί πάνω από την πορτοκαλί επιδερμίδα στην μερικώς προστατευμένη από τη ροή του νερού κάτω επιφάνεια των μαρμάρινων δοκών του νότου πτερού. Η επιδερμίδα εμφανίζεται σταδιακά προς τις αποπλυμένες περιοχές.



Εκτεταμένη περιοχή μαύρης κρούστας στη νοτιοδυτική γωνία του ναού, με διάφορους βαθμούς έκπλυσης.

## B. ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ

Στην επιφάνεια του μαρμάρου έχουν αναπτυχθεί βιολογικές συμβιώσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερα έντονες στο εσωτερικό του σηκού και στην πώρινη βαθμίδα της ορατής κρηπίδας. Επίσης, παρατηρούνται ενδολιθικοί μικροοργανισμοί, ιδιαίτερα στις ρωγμές της επιφάνειας του μαρμάρου, οι οποίοι διαβρώνουν το υλικό, με αποτέλεσμα να υπάρχει η πιθανότητα αποκόλλησης τμημάτων.

Στο εξωτερικό τμήμα των κίωνων της βόρειας πλευράς του ναού παρατηρείται χαρακτηριστική διάβρωση η οποία οφείλεται στη δράση των διατρητικών λειχήνων, η ανάπτυξη των οποίων ευνοείται από την αυξημένη υγρασία. Είναι εντονότερη στις ζώνες των αργιλοπυριτικών φλεβών και οφείλεται στη συνεργιστική δράση της έκπλυσης των προσμίξεων, της αιολικής δράσης και της βιοδιάβρωσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλυτικών τεχνικών για τα δείγματα της βορινής πλευράς υπέδειξαν ανάπτυξη βιοδιάβρωσης γύρω από κρυστάλλους δολομίτη που βρίσκονται στο εσωτερικό μιας κύριας ασβεστιτικής μάζας.

Σε ορισμένα σημεία του ναού είναι έντονη η παρουσία φυτών τα οποία εισχωρούν στους αρμούς ή στις ρωγμές που προϋπάρχουν. Ασκούν μηχανικές πιέσεις και εκκρίνουν οξέα από τις ρίζες τους, τα οποία προκαλούν αποσάθρωση του λίθου.

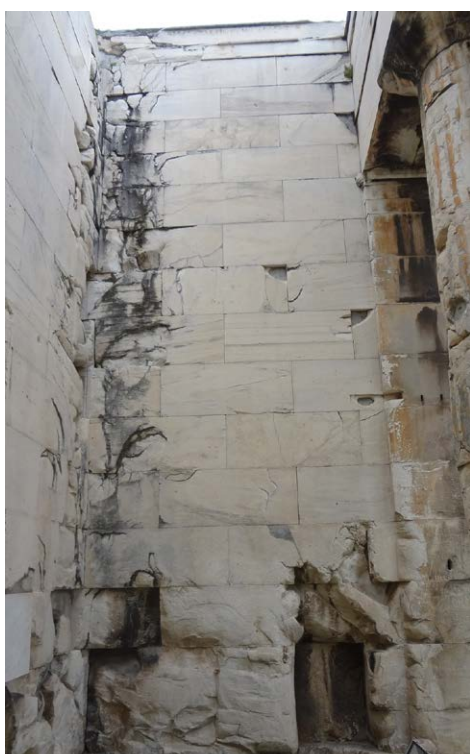
Μαύρη βιοδιάβρωση με βελονισμούς εμφανίζεται κυρίως στον δολομιτικό ασβεστόλιθο της κατώτερης βαθμίδας του κρηπιδώματος, καθώς και στα γείσα των αετωμάτων –πιθανώς σχετίζεται με την παρουσία πτηνών.

Ανώτερη χλωρίδα, πώδη φυτά και βρύα (κυρίως στη βόρεια πλευρά) εντοπίζονται τόσο στη κρηπίδα όσο και σε περιοχές της ανωδομής του ναού.

## C. ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

- Στροφή σπονδύλων και αποκλίσεις των κίωνων του πτερού σε διάφορες κατευθύνσεις
- Απώλεια αναγλύφου κυρίως στους κίονες της ανατολικής πρόστασης –πιθανώς απο πυρκαγιά- παρατηρείται χαμηλά στον βόρειο παραστάτη της ανατολικής εισόδου. Επίσης, εκτεταμένες θερμικές θραύσεις διακρίνουμε και στους δομόλιθους του οπισθόδομου στη νοτιοδυτική γωνία (εικόνα)

123



## D. ΠΑΤΙΝΕΣ / ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ / ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ

Στην επιφάνεια του μαρμάρου -τόσο στα αρχιτεκτονικά μέλη όσο και στο γλυπτό διάκοσμο- του ναού, διακρίνονται έγχρωμα στρώματα. Τα χρώματα των στρωμάτων αυτών ποικίλουν: σκούρο φαιοκάστανο ως ερυθρό και ανοιχτό πορτοκαλί και συχνά είναι δύσκολη η διάκρισή τους από τις βιογενείς κρούστες, με τις οποίες ενίοτε συνυπάρχουν

Οι επιδερμίδες αυτές εμφανίζονται συστηματικά στις πιο καλοδιατηρημένες επιφάνειες του μαρμάρου, ιδίως στις κοιλότητες των ραβδώσεων στους κίονες του πτερού. Η προέλευσή τους (βιογενείς ή προϊόντα εξαλλοίωσης προστατευτικών στρωμάτων) δεν είναι επακριβώς γνωστή. Έχουν γίνει μελέτες για την προέλευση και τη σύσταση παρόμοιων επιφανειακών στρωμάτων, τα οποία παρατηρούνται και στον Παρθενώνα και το Ερέχθειο.<sup>2</sup> Στο Ηφαιστείο διακρίνονται:

- Καστανή επιδερμίδα με επιφανειακό στρώμα μολύβδου (παρουσία κερουσίτη) που παρατηρείται στους κίονες του περιστυλίου
- Πορτοκαλί Επιδερμίδα
- Πορτοκαλί επιδερμίδα με μεγάλο ποσοστό μαύρων επικαθίσεων στον τοίχο του σηκού και στο εσωτερικό.
- Αποπλυμένη πορτοκαλί επιδερμίδα στον εχίνο των κιονοκράνων

124



## - Ιχνη Χρωστικών

Στην εξωτερική πλευρά του βόρειου τοίχου του σηκού, αριστερά από τη δυτική μεταγενέστερη θύρα (σήμερα σφραγισμένη με λίθους και κονίαμα) σώζονται ελάχιστα ίχνη από βυζαντινής τοιχογραφίας. Η τοιχογραφία μελετήθηκε και αποτυπώθηκε στις αρχές του αιώνα από τον Α. Ξυγγόπουλο.<sup>3</sup>



125



Ο Α. Ξυγγόπουλος αναφέρει επίσης ότι, στην εξωτερική επιφάνεια του δυτικού τοίχου του σηκού και πάνω από τη θύρα, παρατήρησε ελάχιστα διατηρημένα γράμματα μελανού χρώματος από επιγραφή, τα οποία σήμερα πια δε σώζονται. Ένας από τους βασικούς παράγοντες φθοράς, τόσο της τοιχογραφίας όσο και της επιγραφής, κατά τη διάρκεια του αιώνα μας είναι η όξινη βροχή η οποία οφείλεται στην έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση.

Τέλος, στο ανώτερο τμήμα της δυτικής θύρας της νότιας πλευράς του σηκού και στο δυτικό τμήμα της νότιας παραστάδας του οπισθόδομου παρατηρούνται πιθανά ίχνη χρωστικών, για τα οποία δεν έχουν βρεθεί στοιχεία στη βιβλιογραφία.

3 Ξυγγόπουλος, Α., 'Παρθενώνας βυζαντινά τοιχογραφία, επίμετρον: Θησείου τοιχογραφία', Αρχαιολογική Εφημερίς, 1920

#### 4.2.1. ΛΟΙΠΕΣ ΦΘΟΡΕΣ

- Καθ'όλο το μήκος του νότιου τοίχου του σηκού (αλλά και στη νότια πλευρά του νότιου πτερού) παρατηρούνται χαρακτηριστικά σημάδια απο πυροβόλο όπλο, τα οποία μάλιστα πυκνώνουν στο διάστημα μεταξύ των κίωνων (βλ. θεματικούς χάρτες όψεων). Αποδίδονται σε ασκήσεις σκοποβολής κατά την τουρκοκρατία.<sup>4</sup>
- Στους τοίχους και στους κίονες του ναού υπάρχουν χαράγματα τα οποία χρονολογούνται από τη μεσοβυζαντινή περίοδο μέχρι τον 19<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα και αποτελούν πολύτιμη πηγή ιστορικών πληροφοριών
- Πέρα απο τις ταφικές επιγραφες, βιβλιογραφικά αναφέρονται και χαράγματα άλλου χαρακτήρα που μας πληροφορουν για έναν λοιμό του **1555**, μια φωτιά το **1591**, μια επιδρομή του **1770**, μια μάχη το **1785**, μια νηστεία του **1800**.
- Οι βαθιές κοιλότητες στις βαθμίδες του ναού μαρτυρούν τα σημεία απ' όπου αφαιρέθηκαν οι σιδερένιοι σύνδεσμοι και η μολυβδοχόηση, κατά πάσα πιθανότητα για υλικό πυρομαχικών κατά την Επανάσταση.



νότιο πτερό: αναμνηστικά χαράγματα / χονδρολάξευση του τοίχου που πιθανώς σχετίζεται με τις σαρκοφάγους της κιονοστοιχίας

4 Thomson H.A., *Activities in the Athenian Agora*: 1954, *Hesperia* 24, σελ. 68, αναφέρεται στην πρωτογενή πηγή: Bruno Sauer, *Das sogenannte Theseion*, 1899, σελ. 3-4



αποσκαμμένος σύνδεσμος στην κρητίδα. διακρίνεται γέμισμα με οπτόπλινθο



η επιφάνεια του νότιου τοίχου του πτερού με σημάδια πυροβόλων όπλων

### 4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Παρουσιάζονται συνοπτικά κάποια αποτελέσματα των αναλυτικών και ενόργανων τεχνικών που εφαρμόστηκαν σε δείγματα των επιφανειών του Ηφαιστείου. Οι αναλύσεις έγιναν από την Ιωάννα Ντούτση, στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας της με τίτλο «Χαρακτηρισμός και διάγνωση της φθοράς των δομικών υλικών του Ναού του Ηφαιστου στο Θησείο με ενόργανες και αναλυτικές τεχνικές» (Επιβλ.: Α. Μοροπούλου, 2016).

- Το πεντελικό μάρμαρο, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μεγαλύτερο μέρος της ανωδομής παρουσιάζει σε όλες τις όψεις του περιστυλίου προσμίξεις διάσπαρτα ή σε φλεβώσεις, κυρίως δολομιτικής σύστασης.

- Ο λίθος του κρηπιδώματος είναι δολομιτικής σύστασης με αργιλοπυριτικό και οργανικό περιεχόμενο. Ενδεχομένως, πρόκειται για ακτίτη λίθο (βιογενής μαργαϊκός ασβεστόλιθος). Εμφανίζει χαμηλού βαθμού γυψοποίηση και αρκετά υψηλό περιεχόμενο σε διαλυτά άλατα. Είναι πιθανό το γκρίζο κονίαμα συμπλήρωσης που έχει χρησιμοποιηθεί στην κρηπίδα να είναι τιμεντιτικής φύσης και να λειτουργεί ως φορέας διαλυτών αλάτων για τον πορώδη ασβεστόλιθο.

- Το κονίαμα του βυζαντινού θόλου παρουσιάζει υδραυλικό χαρακτήρα και φαίνεται να είναι κονίαμα υδραυλικής ασβέστου.

- Το επίχρισμα στο εσωτερικό του νότιου τοίχου του σηκού σώζεται σε δύο στρώσεις παρόμοιας σύστασης. Έχει παρασκευαστεί από ασβεστοιτικής φύσης κονία και ασβεστολιθικά αδρανή, ενώ περιέχει χαλαζία. Βασική μορφή φθοράς που παρουσιάζει είναι χαμηλού βαθμού γυψοποίηση, παρά το γεγονός ότι βρίσκεται στο εσωτερικό του σηκού.

- Βασικός παράγοντας φθοράς της νότιας όψης φαίνεται να είναι η αλατονέφωση και άλλες περιβαλλοντικές φορτίσεις. Ειδικότερα, σε δείγμα που εξετάστηκε από την νότια όψη εντοπίστηκε σημαντική παρουσία κρυστάλλων χλωριούχου νατρίου.

- Για το ζήτημα της προέλευσης των πορτοκαλί/καστανών επιδερμίδων, διατυπώνεται μια υπόθεση που επιχειρεί να εξηγήσει την παρουσία πυριτίου και την υψηλή συγκέντρωση μολύβδου σε δείγματα καστανόχρωμης επιδερμίδας από το νότιο περιστύλιο. Αποδίδεται σε εφαρμογή πυριτικών στερεωτικών διαλυμάτων κατά τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αι. και μετέπειτα εφαρμογή επιστρώσεων που περιείχε ανθρακικό μόλυβδο (κερουσίτης). Οι λόγοι μπορεί να ήταν είτε η απόδοση χροιάς στους κίονες, είτε η μείωση του οπτικού αποτελέσματος που μπορεί να προκάλεσε η κατεργασία με το πυριτικό υλικό.











#### 4.4. ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΦΘΟΡΩΝ

- ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ: ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΦΘΟΡΩΝ



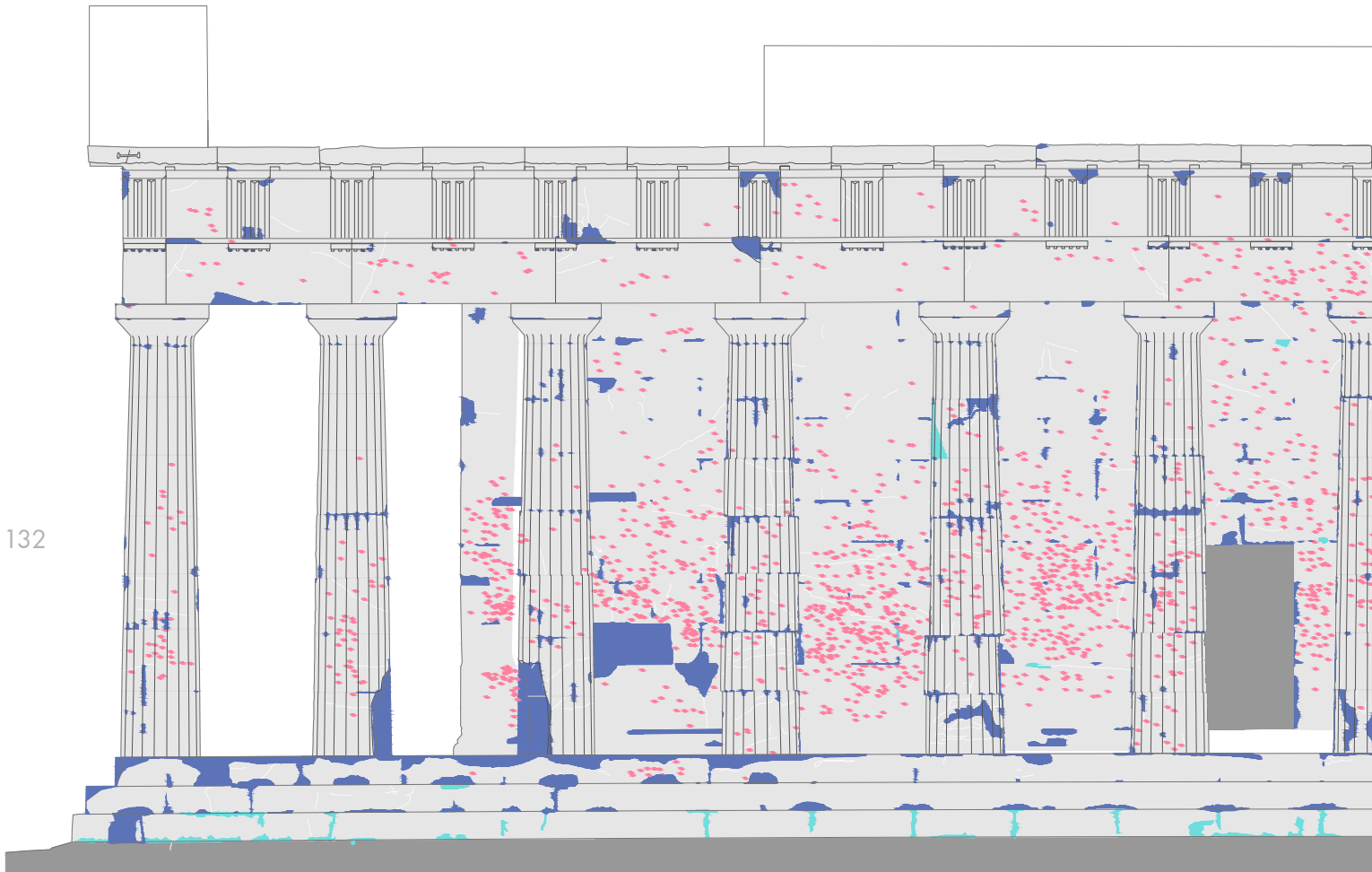
-  - Απώλεια Υλικού
-  - Ίχνη βλημάτων
-  - Προσθήκες/ Επεμβάσεις
-  - Ρωγμές
-  - Μαύρη βιοδιάβρωση
-  - Ανώτερη Χλωρίδα



- Πορτοκαλί Επιδερμίδα
- Πορτοκαλί Επιδερμίδα σηκού
- Πορτοκαλί Επιδερμίδα κιονοκράνων
- Πορτοκαλί Επιδερμίδα σηκού με Μαύρες Επικαθήσεις
- Καστανή Επιδερμίδα
- Μαύρη Κρούστα
- Μαύρη Κρούστα με κάποιο βαθμό έκπλυσης

## ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 1

- ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

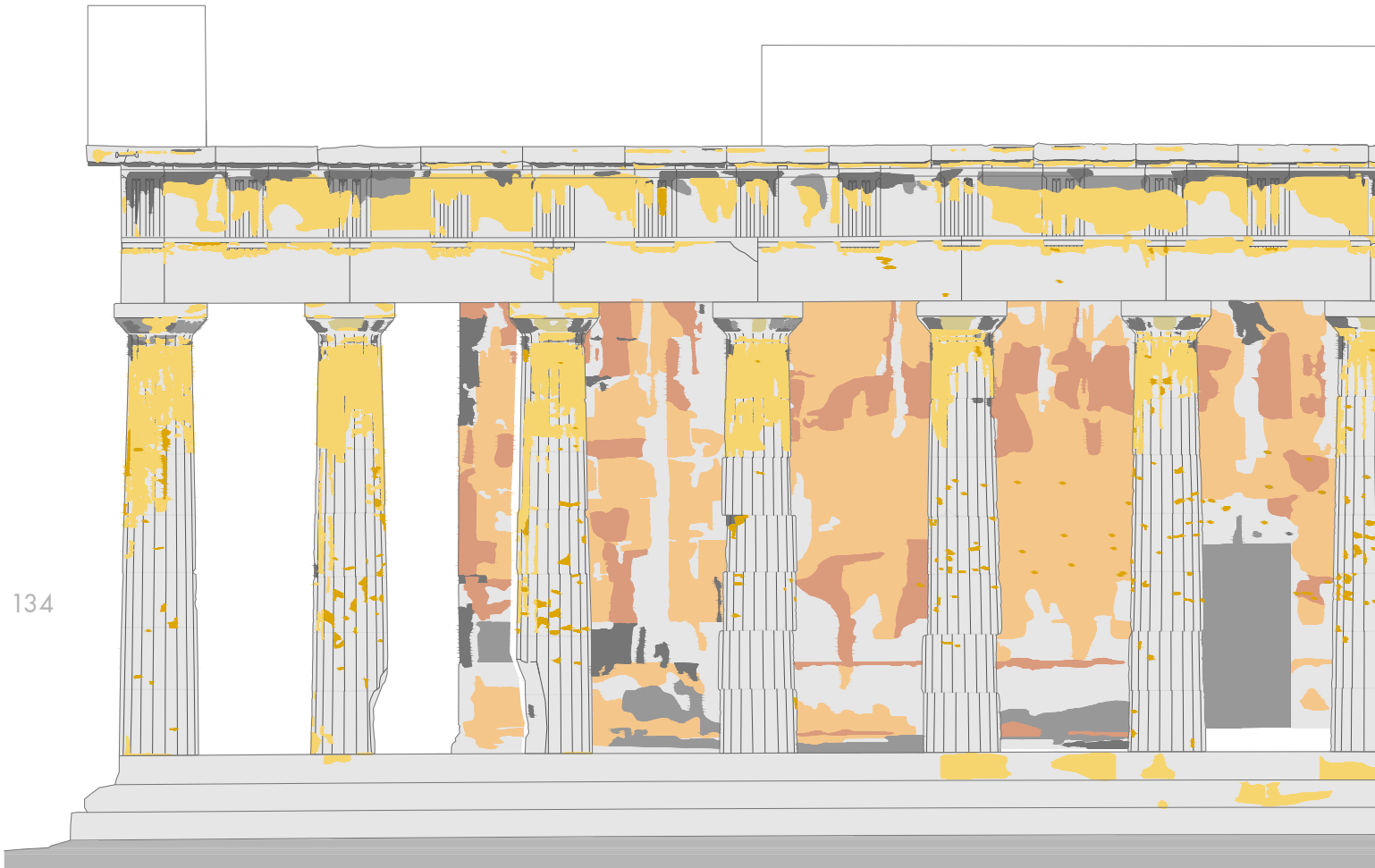











- Απώλεια Υλικού
- Ίχνη βλημάτων
- Προσθήκες/ Επεμβάσεις
- Ρωγμές

## ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 2

- ΚΡΟΥΣΤΕΣ, ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΕΣ, ΠΑΤΙΝΕΣ





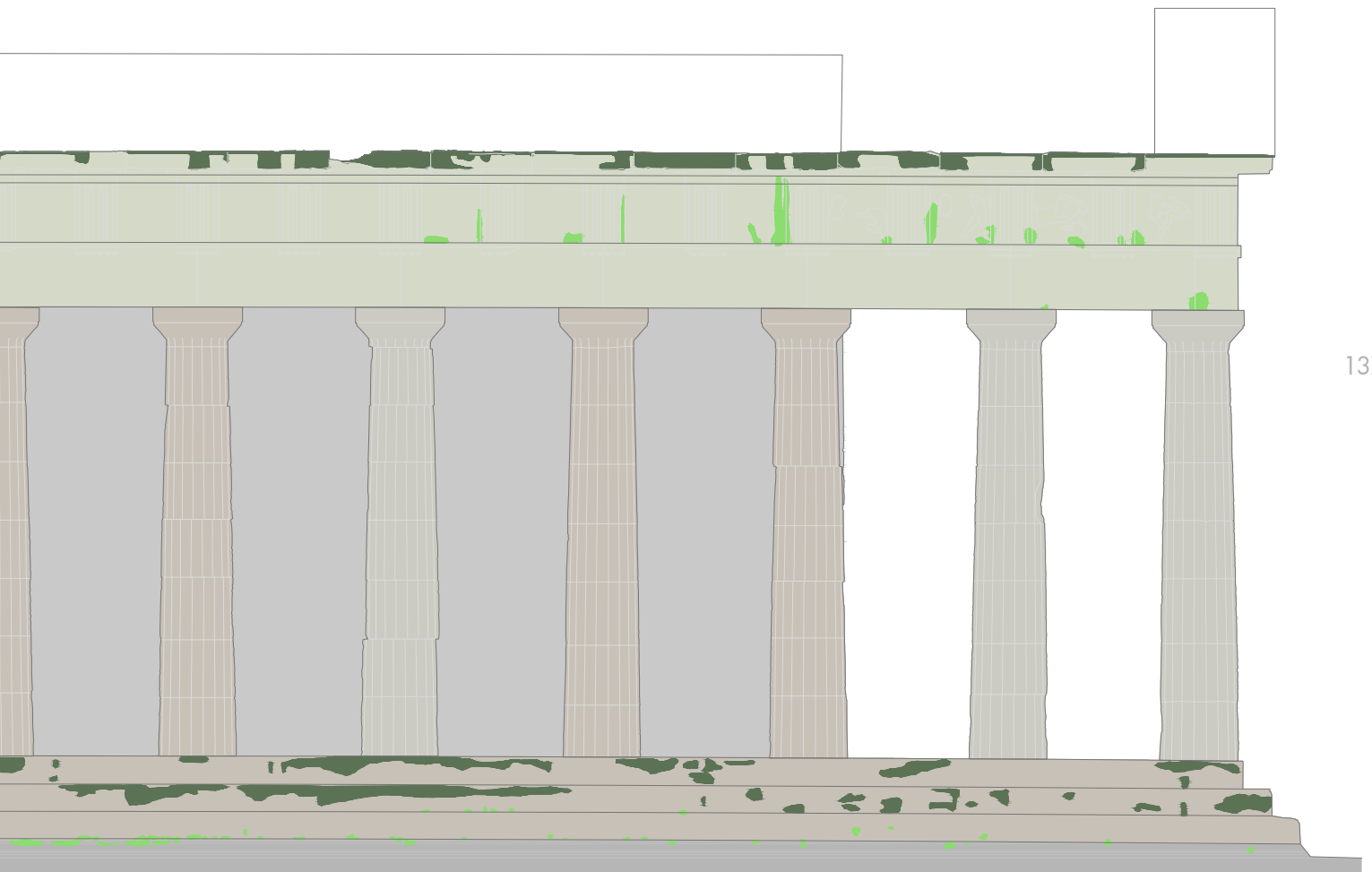
-  - Πορτοκαλί Επιδερμίδα
-  - Πορτοκαλί Επιδερμίδα σηκού
-  - Πορτοκαλί Επιδερμίδα κιονοκράνων
-  - Πορτοκαλί Επιδερμίδα σηκού με Μαύρες Επικαθήσεις
-  - Καστανή Επιδερμίδα
-  - Μαύρη Κρούστα
-  - Μαύρη Κρούστα με κάποιο βαθμό έκπλυσης



## ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 3

- ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ

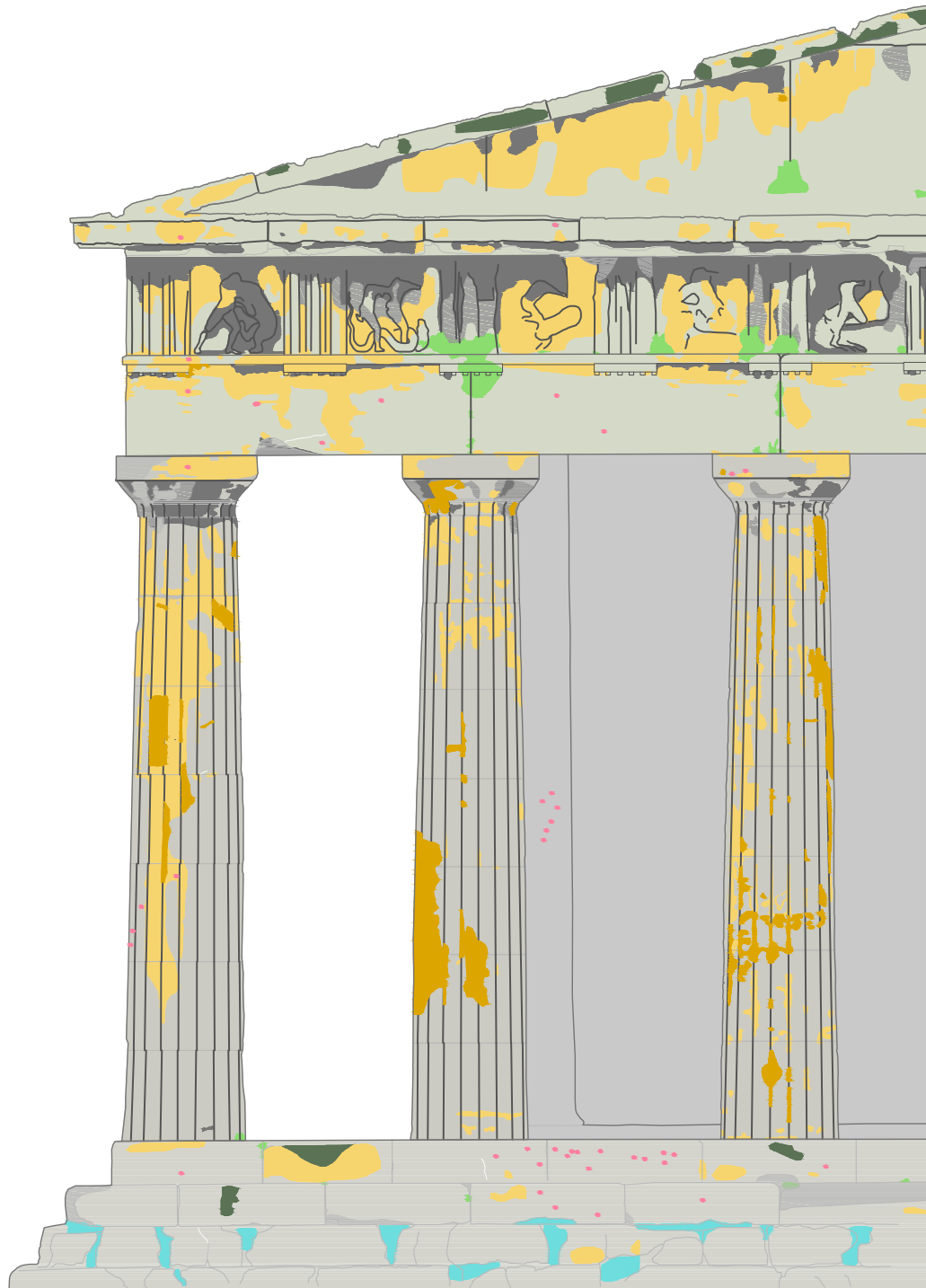






-  - Μαύρη Βιοδιάβρωση
-  - Ανώτερη Χλωρίδα

## ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΦΘΟΡΩΝ

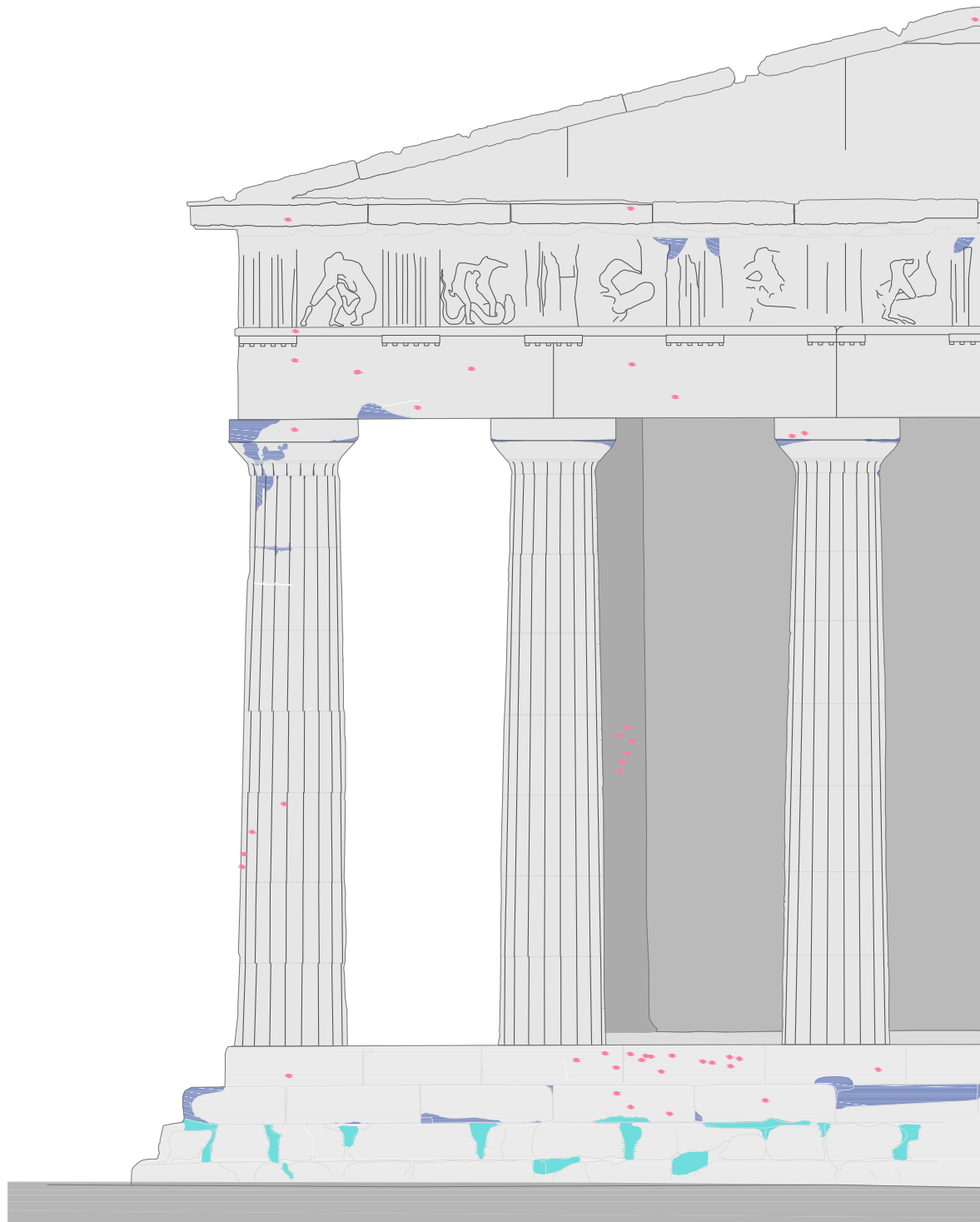




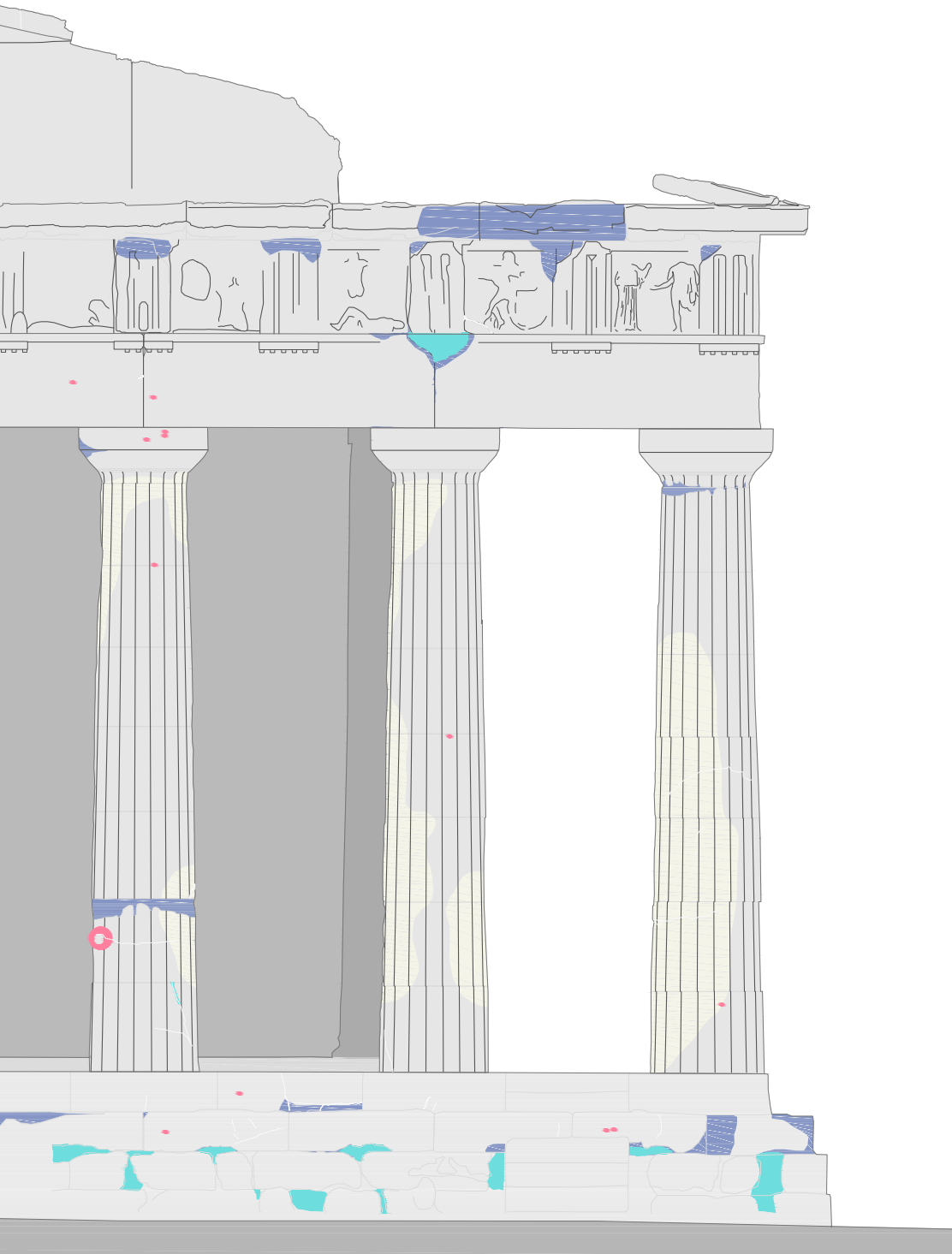
## ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 1

- ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

140







- Απώλεια Υλικού
- Ίχνη Βλημάτων
- Προσθήκες/Επεμβάσεις
- Απώλεια Αναγλύφου (ραβδώσεις)
- Ρωγμές



## ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 2

- ΚΡΟΥΣΤΕΣ, ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΕΣ, ΠΑΤΙΝΕΣ

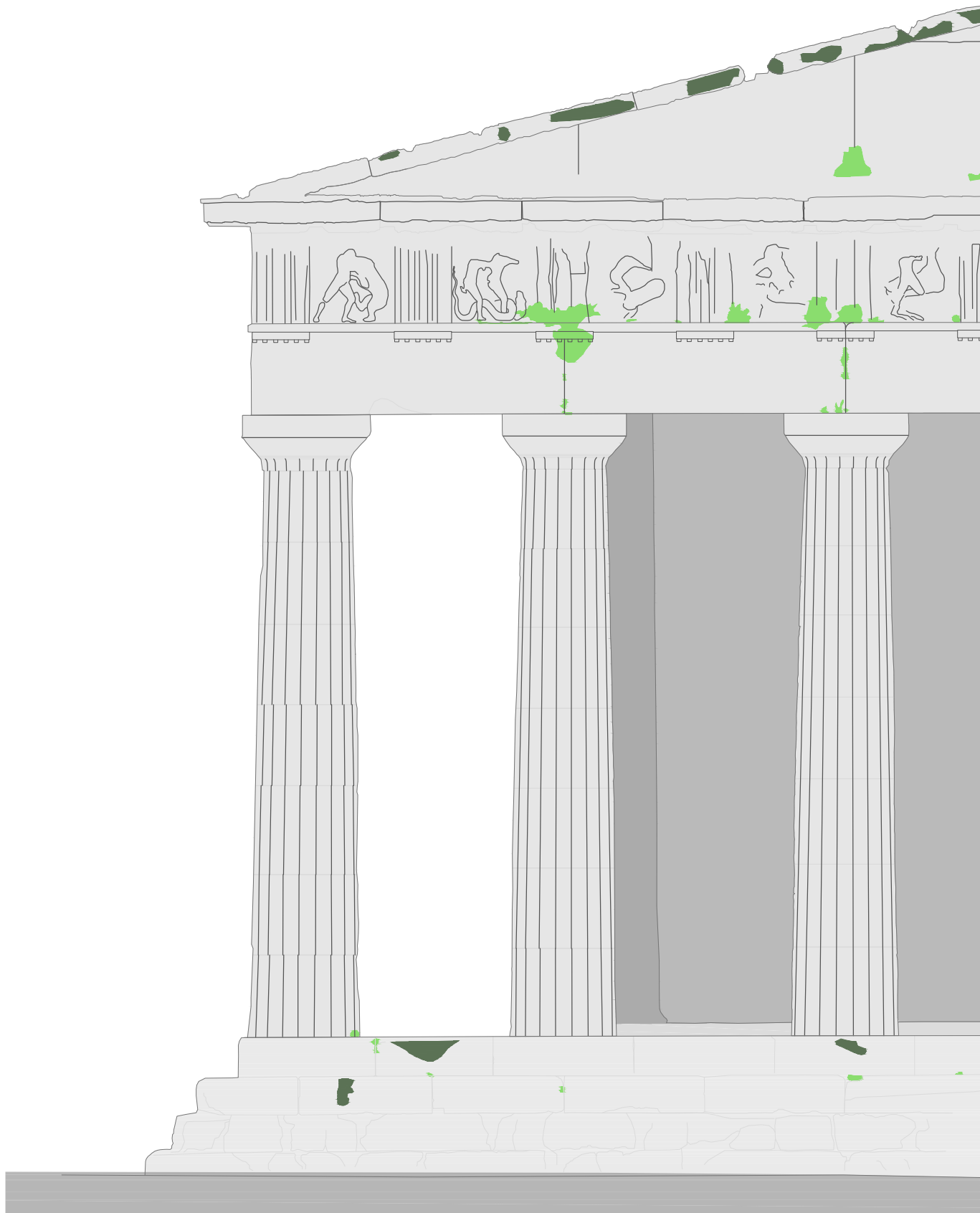


-  - Πορτοκαλί Επιδερμίδα
-  - Καστανή Επιδερμίδα
-  - Μαύρη Κρούστα
-  - Μαύρη Κρούστα με κάποιο βαθμό έκλυσης



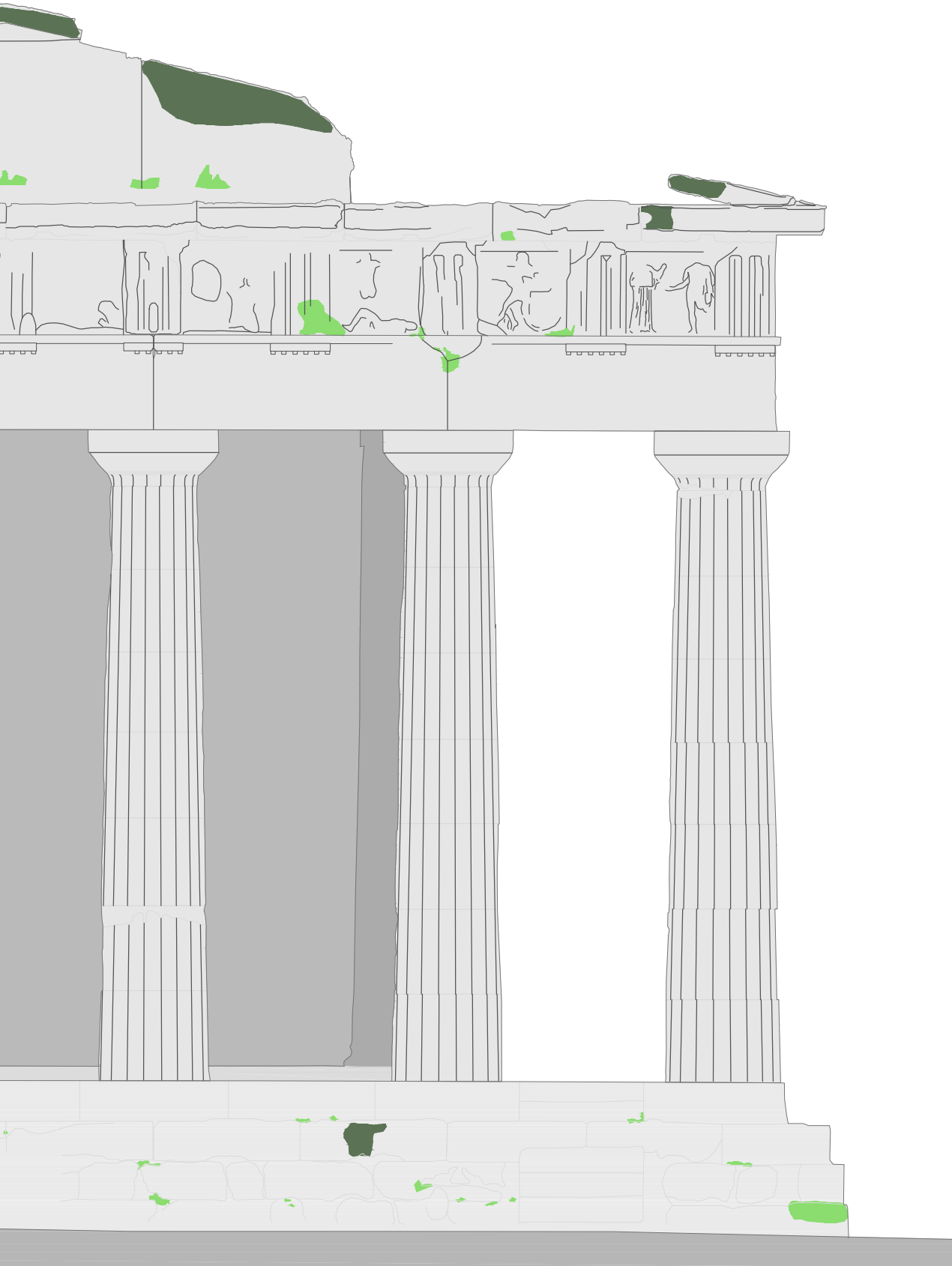
## ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ 3

ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ



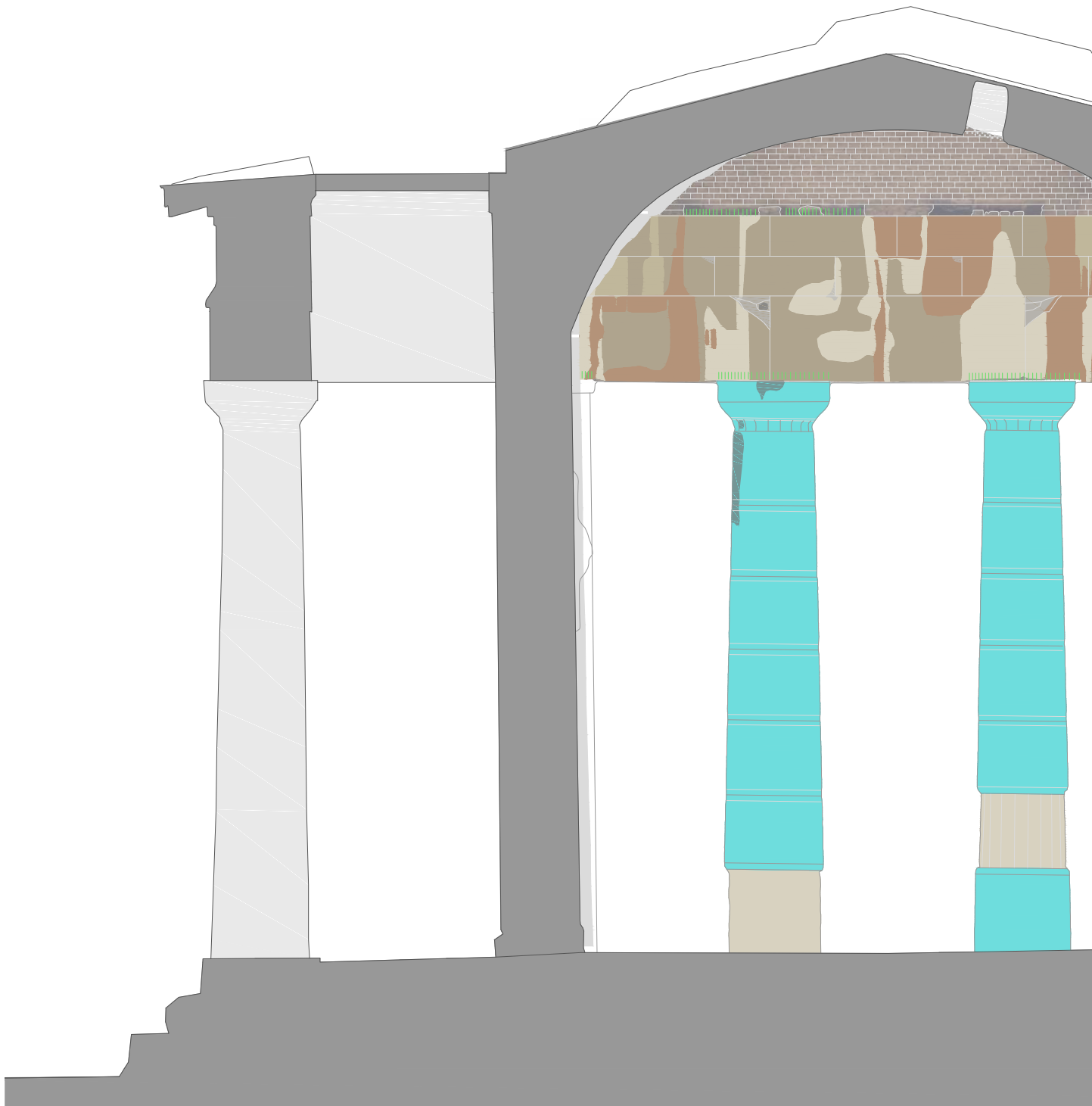


- Μαύρη Βιοδιάβρωση
- Ανώτερη Χλωρίδα













## ΤΟΜΗ Β-Β: ΠΡΟΝΑΟΣ

146



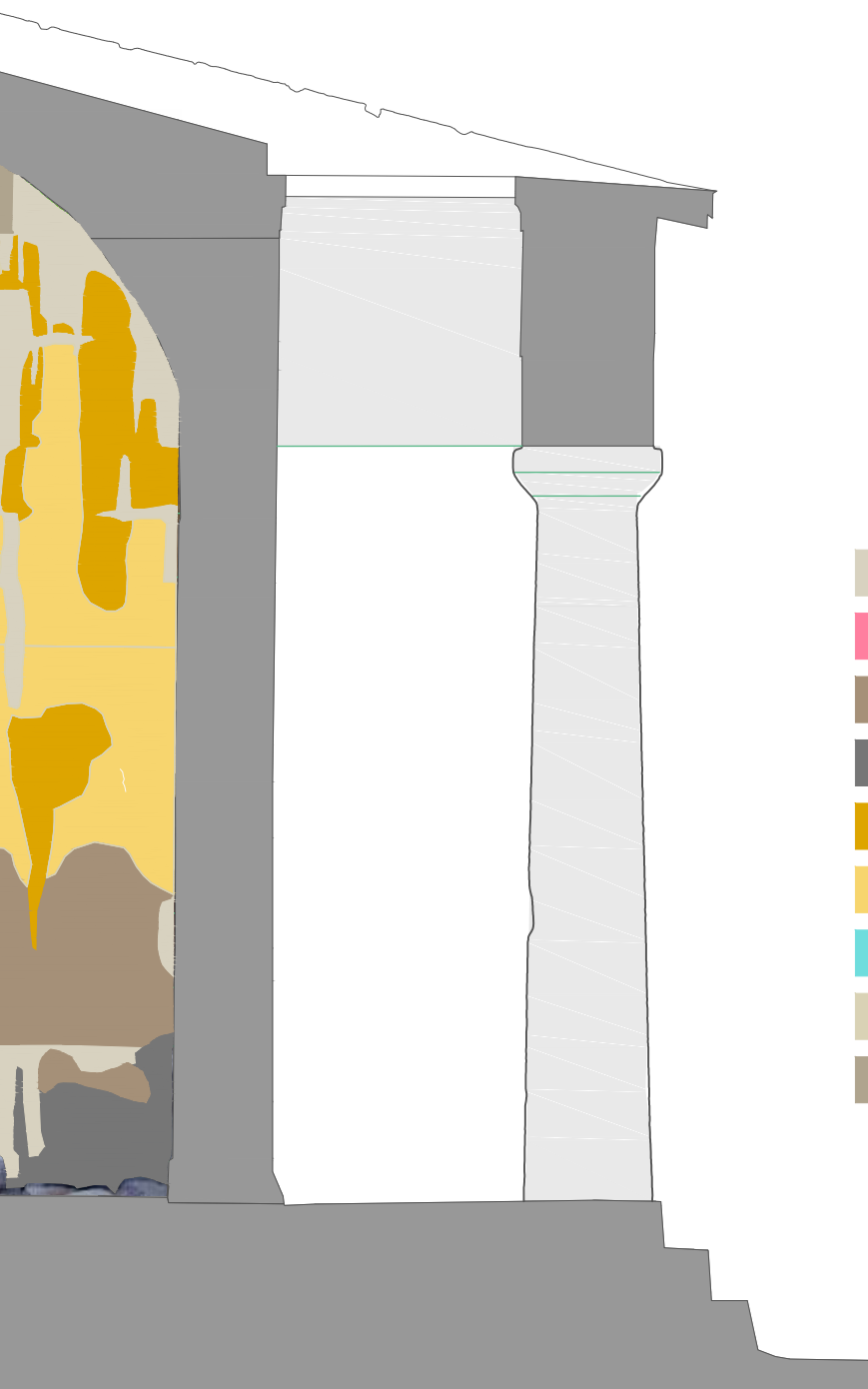


-  - Έντονα Αποπλυμένες περιοχές
-  - Αποπλυμένες επιφάνειες
-  - Ελαφρά αποπλυμένες επιφάνειες
-  - Απόπλυση σε ακολουθία
-  - Ίχνη πρόσκρουσης βλημάτων
-  - Μαύρη κρούστα
-  - Μαύρη κρούστα με βαθμό απόπλυσης
-  - Πορτοκαλί Επιδερμίδα με μαύρες επικαθίσεις
-  - Πορτοκαλί Επιδερμίδα
-  - Προσθήκες/ Επεμβάσεις

## ΤΟΜΗ Γ-Γ: ΟΠΙΣΘΟΔΟΜΟΣ

148





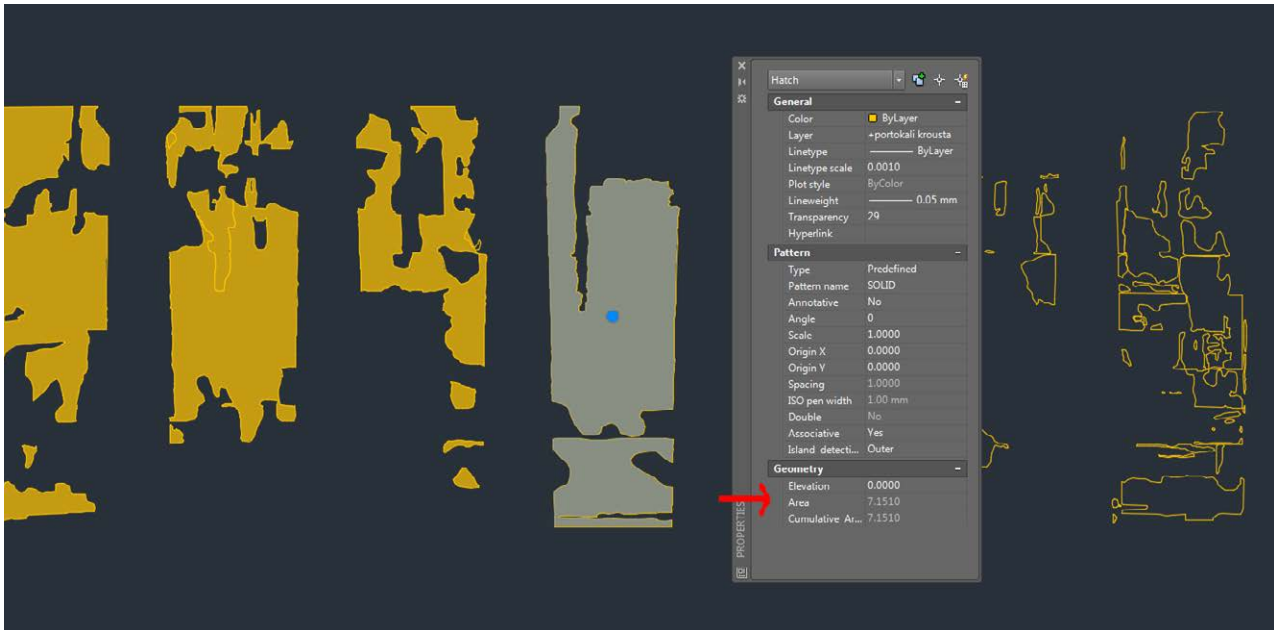
- Έντονο Αποπλυμένες περιοχές
- Ίχνη πρόσκρουσης βλημάτων
- Απολαξευμένη επιφάνεια με μαύρες επικαθίσεις
- Μαύρη Κρούστα
- Πορτοκαλί Επιδερμίδα με μαύρες επικαθίσεις
- Πορτοκαλί Επιδερμίδα
- Προσθήκες / Επεμβάσεις
- Οπτόπλινθοι αποπλυμένοι
- Οπτόπλινθοι με μαύρη κρούστα





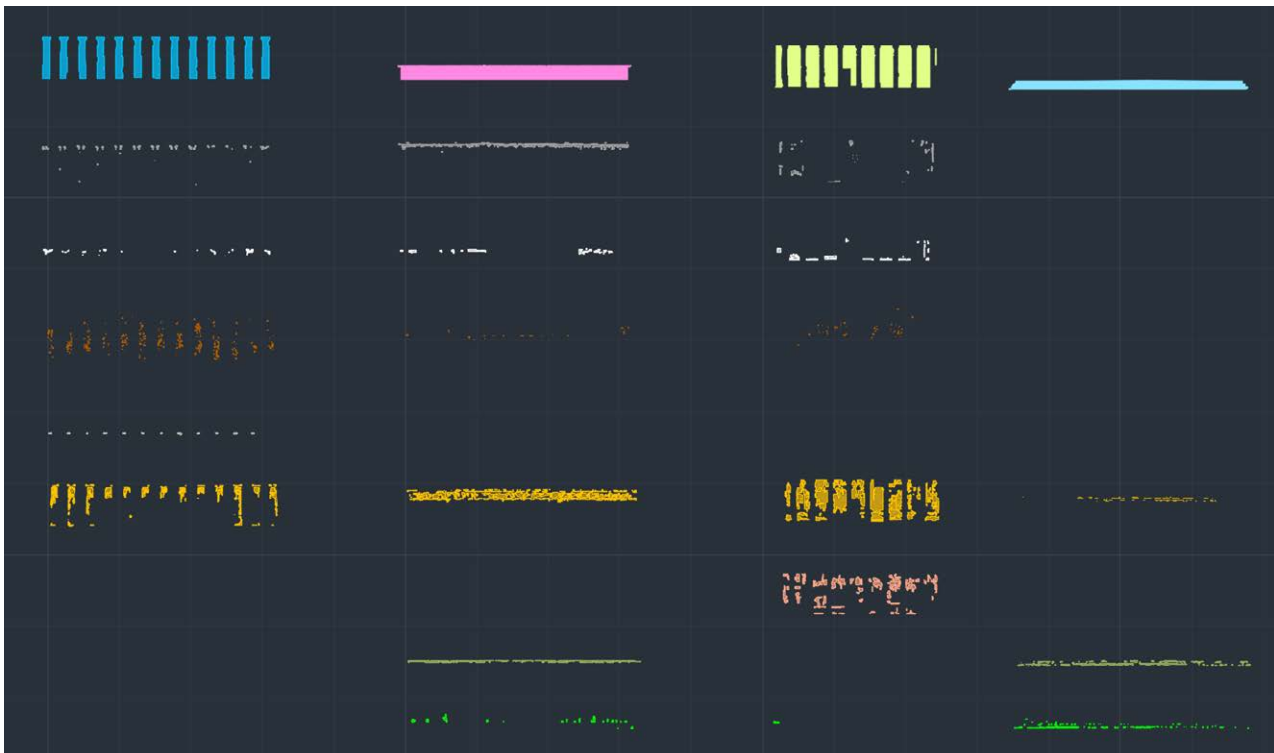
## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ / ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

### ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ / ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



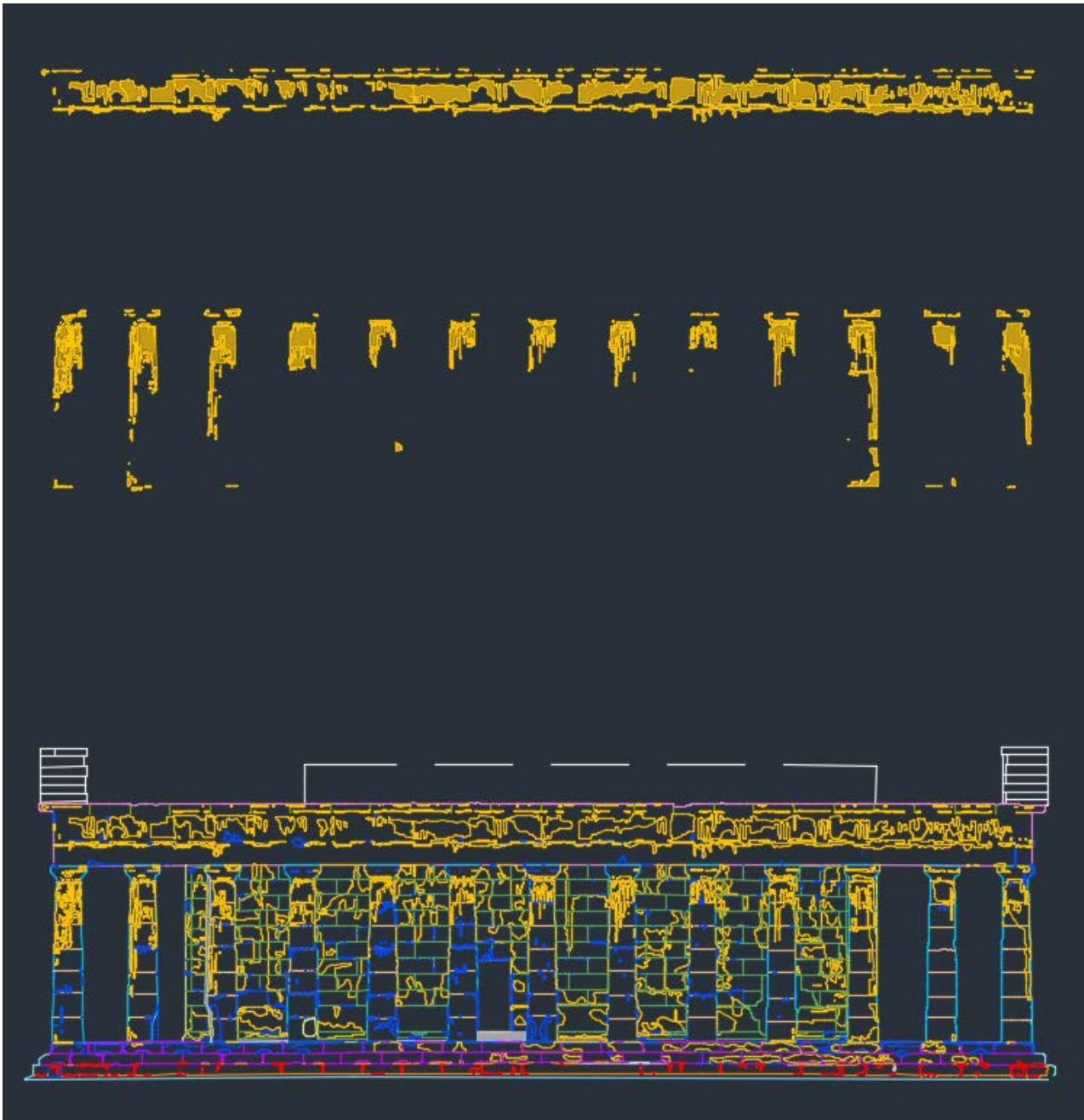
152

μέτρηση εμβαδού πορτοκαλί επιδερμίδας σε τμήμα του σηκού μέσω της επιφάνειας hatch



τα εμβαδά που μετρήθηκαν στη νότια όψη ανά τύπο φθοράς (χρώμα) και τμήμα του μνημείου (στήλες: κίονες, θριγκός, σηκός, κρητίδα)





Έγινε αναλυτική εμβαδομέτρηση χαρακτηριστικών τύπων φθοράς στις δύο όψεις του μνημείου με σκοπό να συγκριθούν μεταξύ τους, αλλά και για να ποσοτικοποιηθεί η σχετική εμφάνιση των φθορών στην κλίμακα του μνημείου. Η εμβαδομέτρηση έγινε στο σχεδιαστικό περιβάλλον του AutoCAD δημιουργώντας ενιαίες σκιασμένες επιφάνειες (Hatch) και μετρώντας την τιμή Area του αντικειμένου. Οι επιφάνειες αυτές δημιουργήθηκαν ανά ξεχωριστό μέρος του ναού και τύπο φθοράς. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν.

## - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΜΒΑΔΩΝ ΑΝΑ ΟΨΗ

## - ΦΘΟΡΕΣ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ

	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	ΤΜΗΜΑ ΝΑΟΥ						
			ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ		ΚΑΣΤΑΝΗ ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ		ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ	
	62.8	ΘΡΙΓΚΟΣ	13.47	21.45%	0.08	0.13%	4.72	7.52%
	66.9	ΚΙΟΝΕΣ	10.38	15.52%	0.91	1.36%	0.96	1.43%
	77.96	ΣΗΚΟΣ	37.88	48.59%	0.06	0.08%	1.55	1.99%
	38.27	ΚΡΗΠΙΔΑ	4.08	10.66%	-		-	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>245.93</b>	<b>-----</b>	<b>65.81</b>	<b>26.76%</b>	<b>1.05</b>	<b>0.43%</b>	<b>7.23</b>	<b>2.94%</b>

	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	ΤΜΗΜΑ ΝΑΟΥ						
		ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ ΑΠΟΠΛΥΜΕΝΗ		ΜΑΥΡΗ ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ		ΑΝΩΤΕΡΗ ΧΛΩΡΙΔΑ		ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ ΜΕ ΜΑΥΡΕΣ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ
	1.47	2.34%	2.86	4.55%	0.88	1.40%	-	
	0.49	0.73%	-		-		-	
	2.45	3.14%	-		0.08	0.10%	10.97	14.07%
	-		4.36	11.39%	0.83	2.17%	-	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4.41</b>	<b>1.79%</b>	<b>7.22</b>	<b>2.94%</b>	<b>1.79</b>	<b>0.73%</b>	<b>10.97</b>	<b>4.46%</b>

154

## - ΦΘΟΡΕΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΟΨΗΣ

	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	ΤΜΗΜΑ ΝΑΟΥ						
			ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ		ΚΑΣΤΑΝΗ ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ		ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ	
	14.87	ΑΕΤΩΜΑ	1.87	12.58%	-		0.58	3.90%
	22.53	ΘΡΙΓΚΟΣ	5.23	23.21%	-		3.97	17.62%
	30.94	ΚΙΟΝΕΣ	4.83	15.61%	1.2	3.88%	0.56	1.81%
	19.11	ΚΡΗΠΙΔΑ	0.91	4.76%	-		0.15	0.78%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>87.45</b>	<b>-----</b>	<b>12.84</b>	<b>14.68%</b>	<b>1.2</b>	<b>1.37%</b>	<b>5.26</b>	<b>6.0%</b>

	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	ΤΜΗΜΑ ΝΑΟΥ						
		ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ ΑΠΟΠΛΥΜΕΝΗ		ΜΑΥΡΗ ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗ		ΑΝΩΤΕΡΗ ΧΛΩΡΙΔΑ		ΑΠΩΛΕΙΑ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ
	-	-	1	6.72%	0.13	0.87%	-	
	1.1	4.88%	-		0.43	1.91%	-	
	0.45	1.45%	-		-		4.33	14%
	-		0.18	0.94%	0.14	0.73%	-	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1.55</b>	<b>1.77%</b>	<b>1.18</b>	<b>1.35%</b>	<b>0.7</b>	<b>0.80%</b>	<b>4.33</b>	<b>4.95%</b>

Παρατηρούμε ότι η πορτοκαλί επιδερμίδα εμφανίζεται περισσότερο στη νότια όψη, καλύπτοντάς τη σε ποσοστό 27%. Οι τοίχοι του σηκού καλύπτονται σε ποσοστό άνω το 60% από πορτοκαλί επιδερμίδες σε συνδυασμό με μαύρες επικαθίσεις, με έντονα εκπλυμένες τις επιφάνειες μίας και προστατεύονται μόνο εν μέρει από τις υπερκείμενες μαρμάρινες δοκούς του πτερού.

Για την καστανή επιδερμίδα, πιθανώς υπόλειμμα επιφανειακής κατεργασίας, παρατηρούμε ότι διατηρείται πολύ καλύτερα στην ανατολική όψη του ναού, ιδιαίτερα στους κίονες. Η διάκρισή της από μαυρισμένες ή κοκκινισμένες περιοχές των πορτοκαλί επιδερμίδων είναι δύσκολη και απαιτεί σχολαστική επί τόπου καταγραφή. Συχνά επιβιώνει σε μεμονωμένες σχεδόν οριζόντιες λωρίδες πλάτους μίας ράβδωσης και μάλιστα περιοχές καστανών κρουστών βρίσκονται ως επί το πλείστον -εντονότερα στην

νότια όψη- μέχρι το ύψος των 2,5 μέτρων στους κίονες. Στην ανατολική όψη εμφανίζονται σε διπλάσιο ποσοστό απ'ότι στη νότια. (3.9% έναντι 1.4%)

Σημειώνεται ότι έχει γίνει διάκριση των περιοχών μαύρων κρουστών σε πιο «συμπαγείς» και σε αυτές με κάποιο βαθμό απόπλυσης, κυρίως για να αποδίδεται (αρνητικά) η έκθεση της κρούστας σε ροή νερού. Σε αυτές τις περιοχές συχνά παρατηρούμε να συνυπάρχουν «ξεθωριασμένες» συνεκτικές επιδερμίδες με παρουσία μαύρων κρουστών-όπως στις άνω περιοχές των κίωνων που προστατεύονται εν μέρει από τα κιονόκρανα. Στην ανατολική όψη, οι μαύρες κρούστες εντοπίζονται συγκεντρωμένες στον θριγκό σε διπλάσια έκταση απ'ότι στη νότια. Οι μαύρες κρούστες των κίωνων έχουν παρόμοια έκταση και στις δύο όψεις. Η κατανομή τους σχετίζεται με το βαθμό προστασίας της επιφάνειας, γιαυτό και εμφανίζονται μόνο στα προστατευμένα μέρη των κιονοκράνων. Στις ορατές στη μελέτη εξωτερικές όψεις, εμφανίζεται σημαντικά μικρότερη έκταση μαύρων κρουστών απ'ότι στις προστατευμένες αθέατες επιφάνειες.

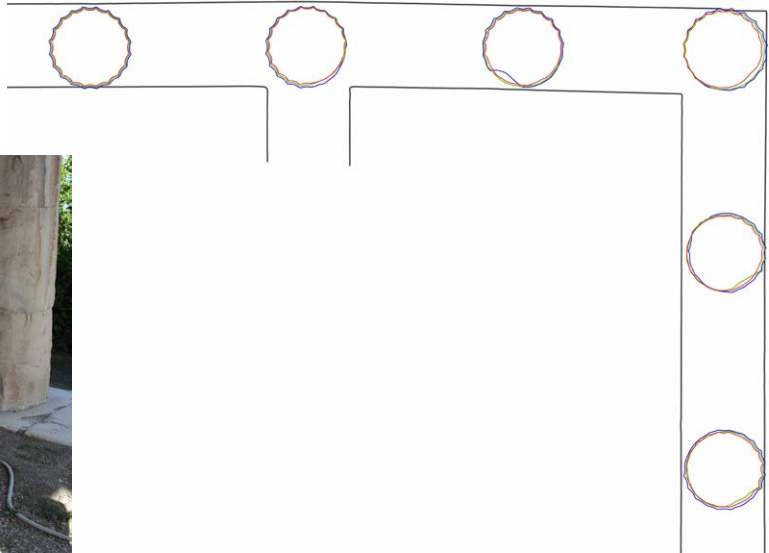
Συνολικά, η πιο εκτεταμένη μορφή φθοράς είναι η ζαχαροποίηση, ιδιαίτερα στις πλήρως εκτεθειμένες επιφάνειες του μνημείου, καθώς η διάλυσή τους από οξέα διαλύματα οδηγεί στην αποσάθρωση των κόκκων του μαρμάρου.

#### ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΟΙ ΦΘΟΡΕΣ ΣΤΟΥΣ ΚΙΟΝΕΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΟΨΗΣ

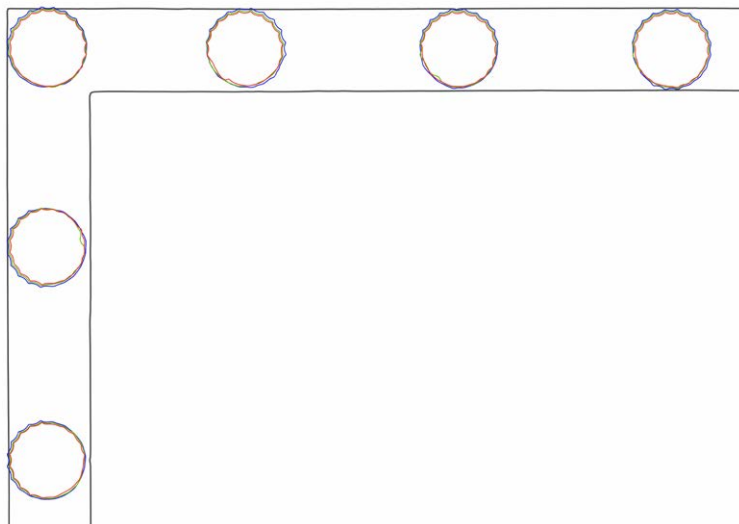
Τύποι Φθοράς	Α/Α ΚΙΟΝΑ (απο Νότο)	1	%επιφ. κίονα	2	%επιφ. κίονα	3	%επιφ. κίονα	4	%επιφ. κίονα	5	%επιφ. κίονα	6	%επιφ. κίονα
ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ		1.59	30.1%	0.36	7.0%	0.67	13.0%	0.21	4.2%	0.84	16.6%	1.16	22.1%
ΚΑΣΤΑΝΗ ΕΠΙΔΕΡΜΙΔΑ		0.17	3.2%	0.42	8.2%	0.35	6.8%	0.14	2.8%	0.11	2.2%	-	
ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ		0.2	3.8%	0.03	0.6%	0.05	1.0%	0.08	1.6%	0.05	1.0%	0.15	2.9%
ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ ΑΠΟΠΛΥΜΕΝΗ		0.05	0.9%	0.14	2.7%	0.04	0.8%	0.05	1.0%	0.17	3.4%	-	
ΑΠΩΛΕΙΑ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ		-		-		-		0.65	12.9%	1.41	27.9%	2.27	43.3%
	Συνολική επιφάνεια φθορών (m <sup>2</sup> )	2.01	38.0%	0.95	18.5%	1.11	21.5%	1.13	22.4%	2.58	51.0%	3.58	68.3%
	Συνολική επιφάνεια κίονα	5.29		5.14		5.16		5.05		5.06		5.24	

Στην ανατολική όψη διακρίνονται περιοχές της κιονοστοιχίας με έντονη απώλεια αναγλύφου που ξεκινάει από την αθέατη εσωτερική πλευρά τους και εμφανίζεται μέχρι τα πλάγια κάποιων κίωνων (όπως φαίνονται απο ανατολικά). Αιτία τους φαίνεται να είναι η θερμική θραύση, καθώς στη βορειοανατολική γωνία τους σηκού υπάρχουν ίχνη πυρκαγιάς και εκτεταμένη απολείανση των ραβδώσεων, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχέδια που δείχνουν τα περιγράμματα των τριων κατώτερων σπονδύλων της κιονοστοιχίας (μπλε, πράσινο,κόκκινο: σπόνδυλοι 1,2,3)

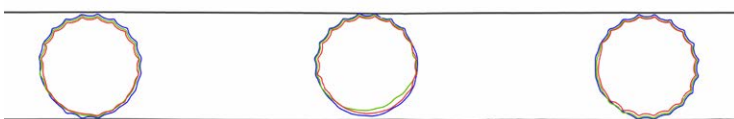
δεξιά: η βορειοανατολική γωνία / στη φωτογραφία, το αντίστοιχο τμήμα, με τη βόρεια παραστάδα της ανατολικής εισόδου



156



Ανάλογα σημεία εμφανίζονται και στη βορειοδυτική πλευρά του περιστυλίου (εικ. αριστερά) Κάτω, ένα ακόμα σημείο με εκτεταμένες θερμικές θραύσεις, γύρω από τον 5° απο δυτικά κίονα της βόρειας κιονοστοιχίας.

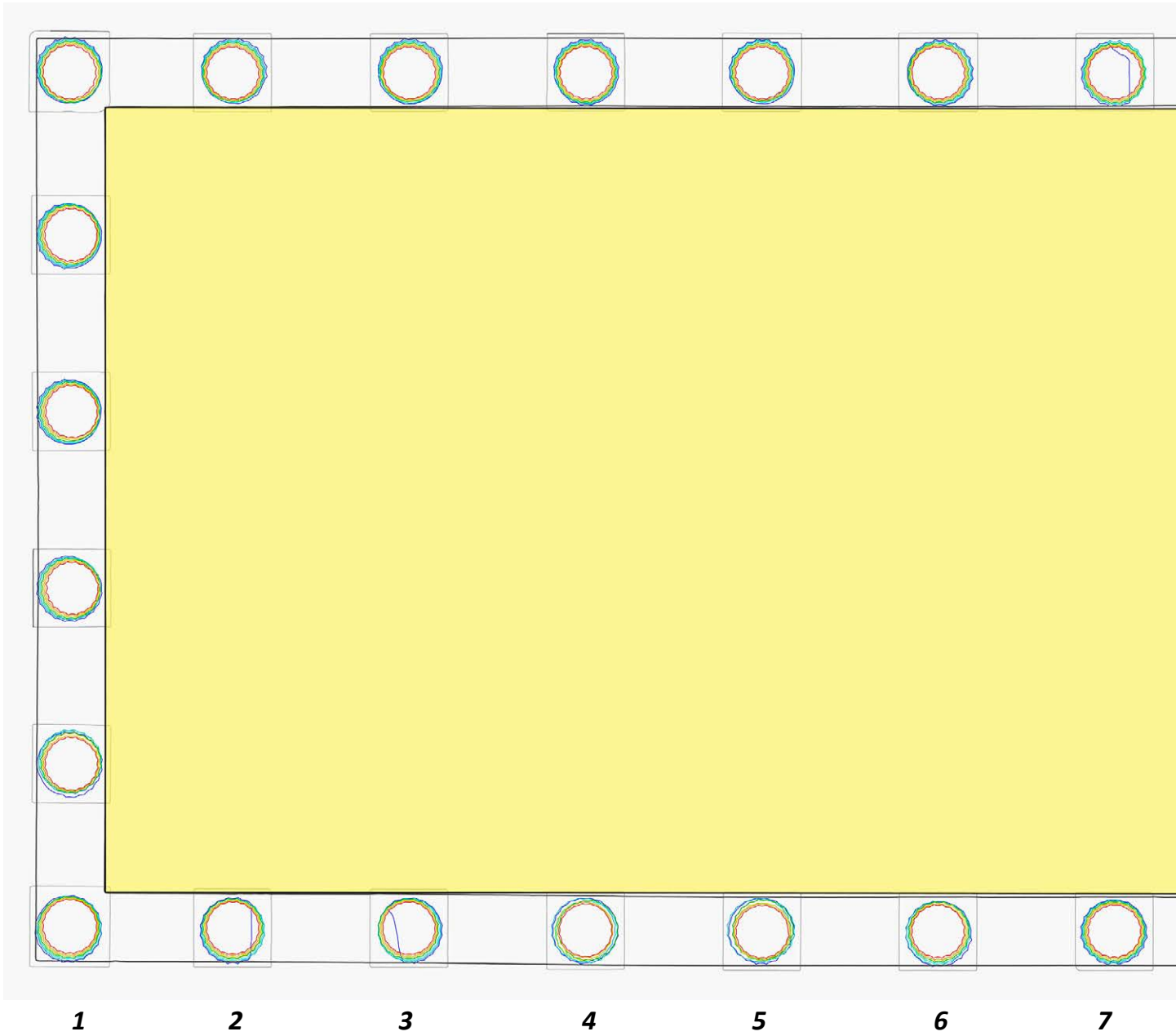


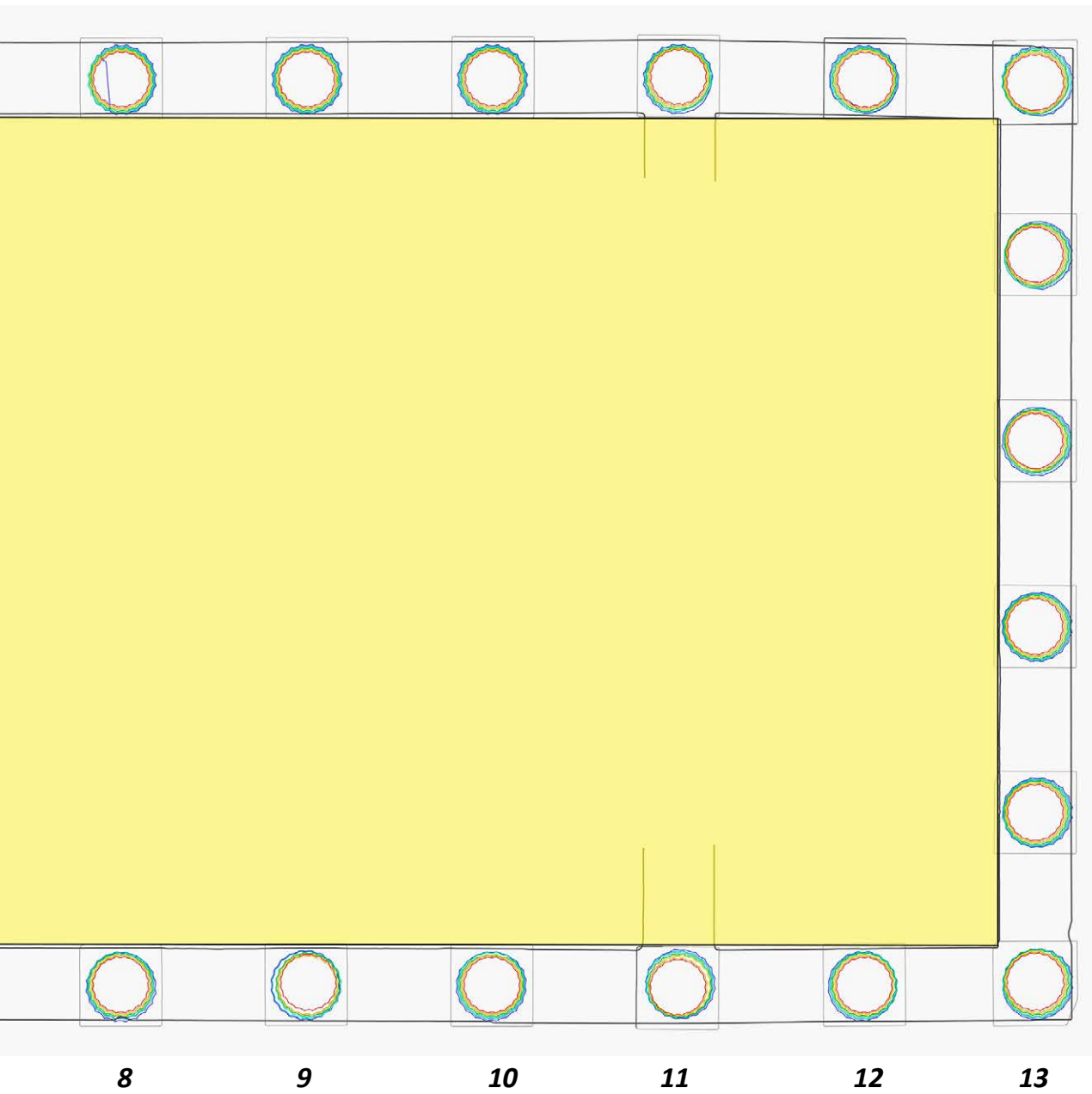
## ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Στο σύνολο του ναού εμφανίζονται παραμορφώσεις της κατασκευής που φαίνεται να οφείλονται σε συνδυασμό σεισμικών φαινομένων και παραμόρφωσεων της κυλινδρικής καμάρας. Σε σχέση με ένα υποθετικό αρχικό ορθογώνιο διαστάσεων 29.88 επί 11.52 μ που εγγράφεται στο εσωτερικό του επιστυλίου (κίτρινο στο παρακάτω σχήμα), διακρίνεται μια διαπλάτυνση περ. 15εκ. στο ανατολικό τμήμα του σηκού, η οποία συνοδεύεται και από την εξώθηση των άνω σπονδύλων των αντίστοιχων κίωνων, αλλά και μικρότερη στο δυτικό (στον 5° από δ. κίονα και τον 3° από ανατολικά), στις θέσεις ουσιαστικά όπου βρίσκονται τα άκρα του σηκού. Στη στέγαση της ανατολικής εισόδου είναι ξεκάθαρη η διάνοιξη των αρμών του ιονικού επιστυλίου της εισόδου στα σημεία που συναντά κάθετα τις παραστάδες [βλ. φωτογραφίες]. Στην κυλινδρική καμάρα βλέπουμε βαθιές ρωγμές που τρέχουν κατά το μήκος της και στο δυτικό άκρο διακλαδίζονται προς τις άκρες. Συνδυαζόμενα τα στοιχεία ίσως δείχνουν παραμένουσες παραμορφώσεις από περιστροφική κίνηση της κυλινδρικής καμάρας κατά σεισμικές φορτίσεις.



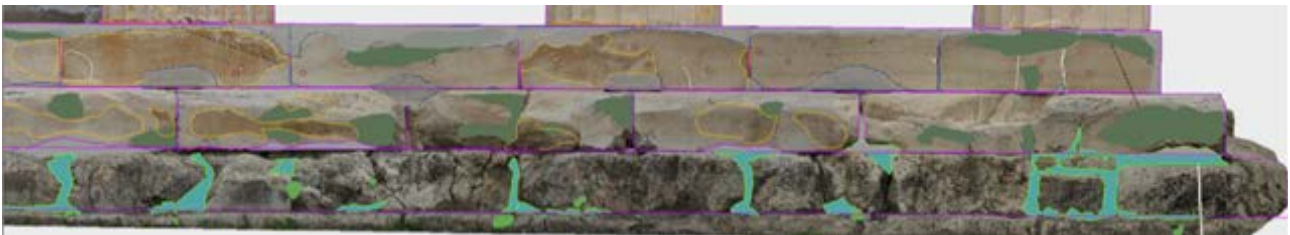
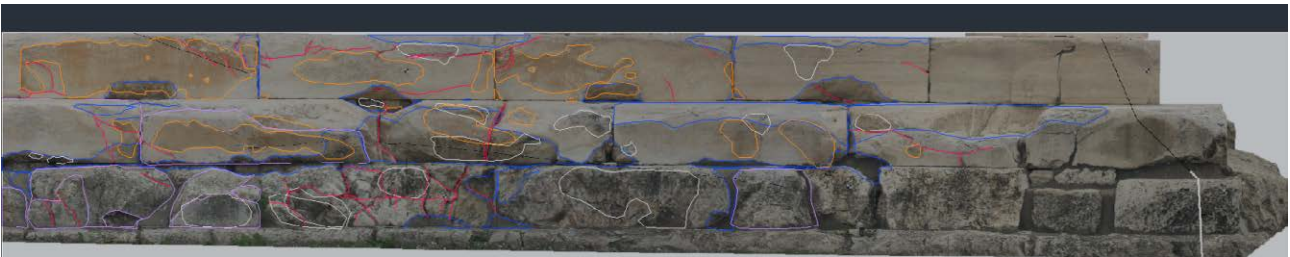
158





## ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟ-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η στεροσκοπική μέθοδος που εφαρμόστηκε στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας ΑΤΜ ΕΜΠ, είχε πολύ καλά αποτελέσματα στην απόδοση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των λίθων της κρηπίδας, ιδιαίτερα σε αιχμηρά-γωνιώδη σημεία. Σε πολλά σημεία που η γωνία της βαθμίδας είναι αποστρογγυλεμένη -δύσκολα στην απόδοση- βοηθάει να διακρίνουμε το υγιές τμήμα της και να του αποδόσουμε περίγραμμα. Ένας περιορισμός που παρατηρήθηκε σε σχέση με την απόδοση των επιφανειακών φθορών είναι ότι η έλλειψη αντίληψης χρώματος στην προβολή σε ερυθρό/κυανό κάνει δύσκολη τη διάκριση τους (πχ, δε διακρίνεται η πορτοκαλί επιδερμίδα από τη μαύρη βιοδιάβρωση). Η θέαση του αναγλύφου με χρήση πολωτικών γυαλιών θα έδινε στο χειριστή επιπλέον χρωματική πληροφορία.



πάνω: η σχεδιαστική απόδοση μέσα στο QGIS / κάτω: συγκριτικά, η απόδοση μέσω της μίας ορθοφωτογραφίας

160

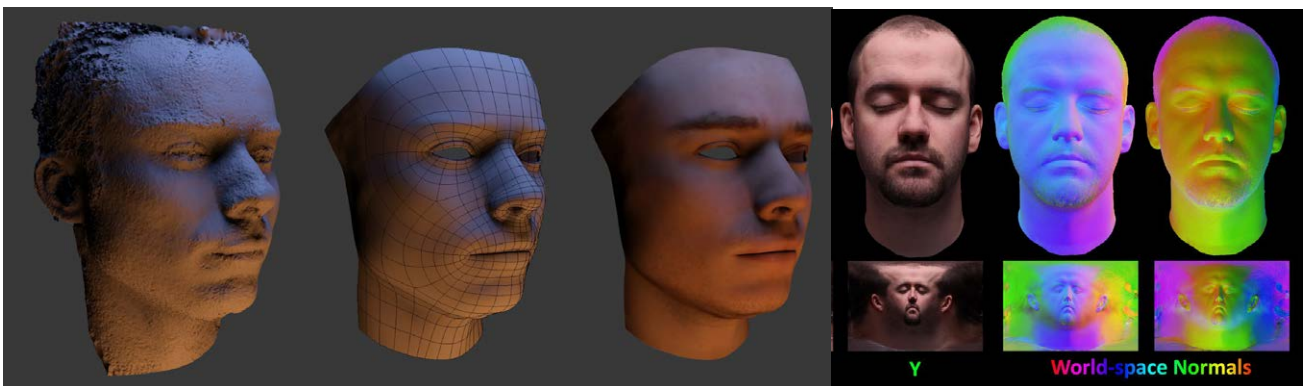
## ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η χαρτογράφηση των φθορών στις όψεις του μνημείου μας δείχνει επιφάνειες με συνήθως παρόμοιο βαθμό έκθεσης στο περιβάλλον, όμως λόγω της προβολικής φύσης της ορθοφωτογραφίας δεν έχουμε εικόνα της φθοράς στο σύνολο των επιφανειών ή του δομικού μέλους. Ακόμη, η καταγραφή των φθορών στο κυλινδρικό σχήμα των κιόνων περιλαμβάνει παραμορφώσεις προς τις άκρες (λόγω της καμπυλότητας) με το μετρούμενο εμβαδό να είναι μικρότερο από το πραγματικό. Μια πλήρης καταγραφή των εμφανιζόμενων στο μνημείο φθορών, θα απαιτούσε και αναλυτικότερη καταγραφή των δομικών μελών από όλες τους τις πλευρές (πχ κυλινδρικό ανάπτυγμα κιόνων). Οι πολυεικονικές μέθοδοι προσφέρουν τη δυνατότητα για γρήγορη και ακριβή καταγραφή του μνημείου από πολλές οπτικές γωνίες, ιδανικά υπό ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού των επιφανειών (ενδεχομένως νυχτερινές λήψεις) για να εξαλειφθεί η σκίαση του φυσικού φωτισμού. Στη συνέχεια, το τρισδιάστατο μοντέλο που θα παραχθεί, θα φέρει στην επιφάνειά του τη χρωματική πληροφορία των επιφανειών με τρόπο ομοιογενή -ιδανικό υλικό για να εφαρμοστούν μέθοδοι επεξεργασίας εικόνας (DIP) και όρασης υπολογιστών, ώστε να εξαχθούν στατιστικές πληροφορίες. Αυτό προϋποθέτει ότι η εικόνα προς επεξεργασία αποδίδει κάθε περιοχή της επιφάνειας με ισότιμο τρόπο: χωρίς τοπικές διακυμάνσεις στην πυκνότητα πληροφορίας (stretching, shrinking, τρύπες) και έντονη παραμόρφωση. Εν ολίγοις, θέλουμε μια «ξετυλιγμένη» εκδοχή της επιφανειακής εικόνας του μνημείου, με λίγες απαραίτητες «ραφές». Κάτι τέτοιο δεν προκύπτει άμεσα από την εφαρμογή των πολυεικονικών μεθόδων, καθώς το πολυγωνικό μοντέλο που παράγεται έχει τυχαία τοπολογία και δεν μπορεί να εκτυλιχθεί.

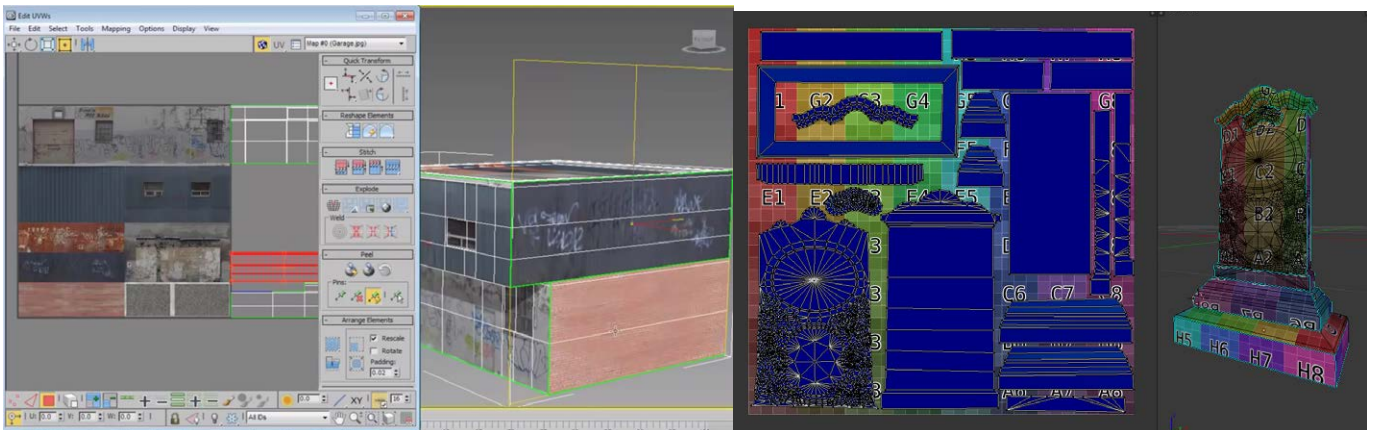


Το κενό όμως μπορεί να γεφυρώσει μια σειρά τεχνικών που χρησιμοποιείται πολύ στην παραγωγή τρισδιάστατων ειδικών εφέ, σε περιπτώσεις διαχείρισης προϊόντων που έχουν προκύψει από σάρωση. Αυτή η πτυχή των τεχνικών αποτελεί τα τελευταία χρόνια πεδίο έρευνας και συνεχών εξελίξεων, καθώς εξαπλώνεται η χρήση πολυεικονικών τεχνικών και διευρύνεται η ανάγκη για διευκόλυνση των χειρισμών που περιγράφονται παρακάτω.

Συνοπτικά, οι τεχνικές αυτές αφορούν στον επαναπροσδιορισμό της τοπολογίας των τριγώνων (retopology), ώστε να αποτελείται πλέον από «παράλληλους» και «ισημερινούς» που διατρέχουν την επιφάνεια, αντί για χασοτικά κατανεμημένα τρίγωνα. Το αποτέλεσμα είναι ένα μοντέλο που μπορεί να ξετυλιχθεί σε επόμενο στάδιο με χρήση ποικίλων εργαλείων και λογισμικών, ώστε να παραχθεί ένα ανάπτυγμα της επιφάνειας με αντιπροσωπευτικές σχέσεις εμβαδών (UV Unwrapping). Εκεί, λοιπόν μπορεί να εφαρμοστεί στατιστική επεξεργασία εικόνας με ορισμένα κριτήρια, για την εξαγωγή χαρακτηριστικών της φθοράς. Μάλιστα, μπορεί να δημιουργηθεί -μέσω του 3d μοντέλου- μια εκδοχή του ανάπτυγματος αυτού που θα φέρει πληροφορίες για τον προσανατολισμό του κάθε σημείου της επιφάνειας, κωδικοποιημένες με ψευδοχρώματα (world-space normal map), σημαντικές για την εξαγωγή συμπερασμάτων αν χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά με τα χρωματικά δεδομένα της επιφάνειας.



παράδειγμα retopology σε σάρωση ανθρώπινου προσώπου / δεξιά, σε άλλο παράδειγμα ξεχωρίζει η απόδοση ψευδοχρωμάτων στις πληροφορίες προσανατολισμού και κάτω αριστερά το ανάπτυγμα της γεωμετρίας/ κάτω: δύο παραδείγματα «ξετυλίγματος» επιφανειών





## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Δελέγκου Α., «Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων καθαρισμού σε μαρμάρινες επιφάνειες μνημείων», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Επιβλ: Α. Μοροπούλου, Αθήνα, 2011**
- Ιωαννίδης Χ., «Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων και Χαρτογράφηση Υλικών και Φθοράς», Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β' Κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης», ΕΜΠ, Αθήνα.
- **Ιωαννίδης Χ., Χωρικά Συστήματα Πληροφοριών για την Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων, σημειώσεις ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, 2014**
- **Ιωαννίδης Χ. Σοϊλέ Σ., Μπουρεξής Φ., Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση Μνημείων Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Μια προσέγγιση γεωμετρικής τεκμηρίωσης προσφορότερη των συμβατικών,; Ανακοίνωση στο πανελλήνιο συνέδριο Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς EuroMed, 2015**
- Μαλλούχου Φ.- Tufano, Η Αναστήλωση των Αρχαίων Μνημείων στην Νεώτερη Ελλάδα, Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα, **1998**
- Μοροπούλου Α., «Διαχείριση δεδομένων χαρτογράφησης των υλικών και της φθοράς σε ολοκληρωμένα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών», Διδακτικές Σημειώσεις του Μεταπτυχιακού Προγράμματος ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Κατεύθυνση Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης, ΕΜΠ, Αθήνα, **2012 – 2013.**
- **Μοροπούλου Α., «Ολοκληρωμένη μελέτη Διάγνωσης-χαρτογράφησης της φθοράς Εφαρμογή Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών(GIS) για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό περιβαλλοντικής διαχείρισης και το στρατηγικό σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης: Το παράδειγμα των Ενετικών Οχυρώσεων του Ηρακλείου Κρήτης», Διδακτικές Σημειώσεις του Μεταπτυχιακού Προγράμματος ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Κατεύθυνση Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης, ΕΜΠ,**
- Μοροπούλου Α., Σαγιάς Ι., Δελέγκου Α. Θ., «Χαρτογράφηση και Διαχείριση Δεδομένων της Φθοράς με Χωρικά Συστήματα Απεικόνισης (CAD) και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)», Διδακτικές Σημειώσεις του Μεταπτυχιακού Προγράμματος ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Κατεύθυνση Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης, ΕΜΠ
- **Μοροπούλου Α., Μεθοδολογία Διαγνωστικής Μελέτης, Σημειώσεις ΔΠΜΣ: Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ**
- **Νικητάκος Ιωάννης -Αθηναίος, « Η Συμβολή Μεθόδων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης & Διαχείρισης στη Διαγνωστική Μελέτη της βίλλας Κλωναρίδη », Μεταπτυχιακή Εργασία ΔΠΜΣ: Προστασία Μνημείων, Επιβλέποντες Καθ. Α. Μοροπούλου, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013**
- **Ντούτση Ι., Χαρακτηρισμός και διάγνωση της φθοράς των δομικών υλικών του Ναού του Ηφαίστου στο Θησείο με ενόργανες και αναλυτικές τεχνικές. Διπλωματική Εργασία ΔΜΠΣ, Επιβλ: Α.Μοροπούλου, 2016**
- Πατιάς Π., Φωτογραμμετρία και Τεκμηρίωση Αρχαιολογικών Χώρων και Ευρημάτων
- Πέτσα Ε., Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας, Σημειώσεις, Αθήνα **2000**
- Τσιλιμαντού Ε., «Η Συμβολή Μεθόδων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης και Διαχείρισης στην Ολοκληρωμένη Μελέτη Διάγνωσης και Προστασίας των Ακροπόλεων Σαρανταπήχου και Ερημοκάστρου», Μετα-

πτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Επιβλέποντες Καθ. Α. Μοροπούλου, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Λέκτ. Ι. Σαγιάς, ΕΜΠ, Αθήνα, **2009**.

- Τσιλιμαντού Ε., Νικητάκος Ι.Α., Δελέγκου Α.Θ., Σοϊλε Σ., Ταπεινάκη Σ., Ιωαννίδης Χ., Μοροπούλου Α., «GIS modelling for integrated documentation of the historic building of Villa Klonaridi in Athens», 6th International Congress on “Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin”, ΕΜΠ, Αθήνα, **2013**

- **Delegou E. T., Tsilimantou , E. Oikonomopoulou, J. Sayas, C. Ioannidis, A. Moropoulou. Mapping of Building Materials and Consevation Interventions using GIS:the Case of Sarantapicho Acropolis and Erimokastro Acropolis in Rhodes.** International Journal of Heritage in the Digital Era, vol. 2 no. 4, **2013**

- Delegou E.T.,Tsilimantou E., Oikonomopoulou E., Kioussi A., Sayas J. , Moropoulou A. , “Strategic planning of materials and conservation interventions for the damage rehabilitation of the Sarantapicho Acropolis and the Erimokastro Acropolis in Rhodes”, in Proc. 8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Patras, Greece, **2010**

- Delegou E. T. , Sandri E. , Marakakis J. , Sayas J. , Moropoulou A., “From building pathology to durability via GIS”, 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto Portugal, Vol. IV, pp, **2011**

- Fitzner B., Kownatzki R., Studies on Natural Stone Monuments - Methodology and Examples, Science, Technology and European Cultural Heritage, Elsevier, **1991**

- **Kapsalas P, Maravelaki-Kalaitzaki P, Zervakis M, Delegou ET, Moropoulou A. Optical inspection for quantification of decay on stone surfaces. NDT&E Int 2007;40(1):2–11**

164

- **Kapsalas P, Maravelaki-Kalaitzaki P, Zervakis M, Delegou ET, Moropoulou A. A morphological fusion algorithm for optical detection and quantification of decay patterns on stone surfaces. Construction Building Materials 2008;22(3):228–38.**

- Letellier Robin, CIPA, Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places, Guiding Principles , Getty **2007**

- **Moses Cherith, Robinson David, Barlow John, Methods for Measuring Rock Surface Weathering and Erosion: A critical review, Earth Science Reviews, Elsevier 2014**

- **Robleda Prieto G., Pérez Ramos A, Modeling and Accuracy Assessment for 3d-Virtual Reconstruction in Cultural Heritage using low-cost Photogrammetry: Surveying of the “Santa María Azogue” Church’s Front, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4, 2015**

- **Soile Sofia, Styliani Verykokou, Charalabos Ioannidis: Stereo-orthoimage as a GIS tool for reliable restitution of Cultural Monuments, International Journal of Heritage in the Digital Era, vol. 4, n. 3+4, 2015, σελ. 275-293**

- **Tsilimantou, E., Nikitakos, A., Delegou, A., Moropoulou, A., Soile, S., Tapinaki, S., Ioannidis, C., 2014. Integrated Process of Documentation using Geographic Information System: The case of the historic building of Villa Klonaridi, Athens, Greece. In: MonuBasin 9 - 9th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Ankara, Turkey**

- **Vazquez M. Galan E., Guerrero M.A., Ortiz P., Digital image processing of weathered stone caused by efflorescences: A tool for mapping and evaluation of stone decay, Construction and Building Materials 25, 2011**

- CIPA Heritage Documentation, Best Practices and Applications, Series 1, **2007 & 2009**

- Venice Charter **1964**

## ΕΙΔΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δοντάς, Γ. Αρχαιολογικόν Δελτίον, τεύχος 29, Β1 'Χρονικά' (1973-74)
- Κορρές Μ., Απο το λατομείο στον Παρθενώνα, εκδ. Μέλισσα, 2000
- **Λαμπρόπουλος Β., Βομβογιάννη Χ. Ο ναός του Ηφαίστου στην Αρχαία Αγορά:** μορφές φθορών και προτάσεις προστασίας. Αρχαιολογία & τέχνες. 73.
- Λαμπρόπουλος, Β. Ν., Διάβρωση και συντήρηση της πέτρας, Αθήνα 1993
- Μαλλούχου Φ.- Tufano «Η Αναστήλωση των Αρχαίων Μνημείων στην Νεώτερη Ελλάδα», Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα, 1998.
- **Μοροπούλου Α., Φαινόμενα και μηχανισμοί της φθοράς, Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ:** Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ
- **Μοροπούλου Α., Δελέγκου Α. Φθορά Λίθινων Αρχιτεκτονικών Επιφανειών λόγω Επίδρασης Ατμοσφαιρικών Ρυπαντών. Ο Σχηματισμός Κρουστών. Διδακτικές σημειώσεις ΔΠΜΣ:** Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ
- Μπρουσκάρη, Μ., Β1, 'Χρονικά' (1975)
- **Ξυγγόπουλος, Α., 'Παρθενώνας βυζαντινά τοιχογραφία, επίμετρον:** Θησείου τοιχογραφία', Αρχαιολογική Εφημερίς, 1920
- Ορλάνδος Αναστ. Κ, Μεσαιωνικά μνημεία της πεδιάδος των Αθηνών και των κλιτύων Υμηττού Πεντελικού Πάρνηθος και Αιγάλεω . Αθήνα 1933
- Ορλάνδος, Α.Κ., Αρχείον των βυζαντινών μνημείων της Ελλάδος, τόμος Β (1936)
- Ορλάνδος, Α.Κ., 'Πότε και από ποιούς κατεστράφη το ανατολικόν αέτωμα του Θησείου'. Ανάτυπον της Νέας Εστίας, τεύχος 830, 1962
- **Σκουλικίδης, Θ.Ν. Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων. Ηράκλειο :** Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 2000.
- Σκουλικίδης, Θ., Παπακωνσταντίνου, Ε., Γαλανού, Α., Δογάνη, Γ., Μελέτη αποκαταστάσεως του Παρθενώνας, τόμος 3γ. Υπουργείο Πολιτισμού – Επιτροπή Συντηρήσεως Μνημείων Ακροπόλεως, Αθήνα 1994
- Τραυλός Ι., Πολεοδομική εξέλιξις των Αθηνών, 2η έκδοση, Αθήνα 1993
- **Εκθεση 2000: "Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα",** ΥΠΕΧΩΔΕ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Ι(Ιούνιος 2001)
- Πρακτικά της 3ης διεθνούς συνάντησης των μνημείων της Ακροπόλεως, Αθήνα, 31 Μαρτίου – 2 Απριλίου 1989, Υπουργείο Πολιτισμού – Επιτροπή Συντηρήσεως Μνημείων Ακροπόλεως, Αθήνα 1990

- Dinsmoor, W.B. 'Observations on the Hephaisteion' *Hesperia*, suppl. V (1941)
- Dinsmoor, W.B. Jr. 'The roof of the Hephaisteion' *A.J.A.* 80. **223** (1976)
- Frantz A., *The Hephaisteion Revisited*, *Archaeology*, Vol. 7, No. 4 (1954)
- Hill, B.H. 'The interior colonnade of the Hephaisteion', *Hesperia*, suppl. VIII (1949)
- Krautheimer Richard, *Παλαιοχριστιανική και Βυζαντινή Αρχιτεκτονική*, ΜΙΕΤ **2006**
- **Lazzarini Lorenzo, General Issues on the Deterioration of Stone. Διεπιστημονική ημερίδα: ο Δομικός Λίθος στα Μνημεία**, σελ. **149-160**
- **Maravelaki-Kalaitzaki P., et.al. Excimer laser cleaning of encrustation on Pentelic marble: Procedure and evaluation of the effects**, *Applied Surface Science* **148** (1999) σελ. 92–**104**
- **Maravelaki-Kalaitzaki P., Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin**, *Analytica Chimica Acta* **532** (2005)
- Mattusch Carol C., *Bronze- and Ironworking in the Area of the Athenian Agora*, *Hesperia*, Vol. 46, No. 4 (1977)
- Morgan, C.H., 'The sculptures of the Hephaisteion, I. The metopes, II. The friezes', *Hesperia* 31, **210** (1962)
- Morgan, C.H., 'The sculptures of the Hephaisteion, III. The pediments, acroteria and cult images, IV. The building', *Hesperia* 32, 91 (1963)
- **Stevens, Gorham Phillips "Some Remarks upon the Interior of the Hephaisteion", *Hesperia*, Vol. 19, No.3, The American Excavations in the Athenian Agora: 40th Report (1950)**
- 17. Stevens, G.P., 'The ceiling of the opisthodomus of the Theseum' *A.J.A.* 15, 18 (1911)
- 18. Stevens, G.P., 'Some remarks upon the interior of the Hephaisteion' *Hesperia* 19, **143** (1950)
- 19. Thompson, D.B., 'The garden of Hephaistos' *Hesperia* 6, **397** (1937)
- 20. Thompson, H.A., 'The pedimental sculpture of the Hephaisteion' *Hesperia* 18, **230** (1949)
- **21. Thompson, H.A., 'Excavations in the Athenian Agora: 1953, Conservation' *Hesperia* 23, 65 (1954)**
- 22. Thompson, H.A., 'Activities in the Athenian Agora, 1954, Sculpture and Metalwork' *Hesperia* 24, 66 (1955)
- **23. Thompson, H.A., Wycherley, R.E., 'The Athenian Agora, vol. XIV: The Agora of Athens – The history, shape and uses of an ancient city center. American School of Classical Studies at Athens. Princeton, New Jersey 1972**
- Thompson, Homer A. *The Sculptural Adornment of the Hephaisteion*. *American Journal of Archaeology*, 66 (1962), **339-347**.
- 88. Wyatt W.F., C.N. Edmonson. *The ceiling of the Hephaisteion*. *American Journal of Archaeology*. **1984**, 88.



