

ΑΡΤΕΜΙΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

ΕΠΑΝΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΥ  
ΛΙΘΟΥ

Η περίπτωση του αρχαίου θεάτρου της Δωδώνης

Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

ΜΠΣ: ΙΣΤΟΡΙΑ-ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΣ/ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΘΕΣΕΩΝ


ΤΜΗΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2014



Αρ. 615:..... 601/2015.

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
  
026000348381



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100



## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	4
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	7
1.1 Υλικά δομής στην αρχαιότητα.....	7
1.2 Ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση.....	13
1.2.1 Το Ιερό της Δωδώνης.....	13
1.2.2 Το θέατρο της Δωδώνης.....	16
1.2.2.1 Γεωλογικά στοιχεία .....	19
1.2.2.2 Περιβαλλοντικές συνθήκες.....	20
1.2.2.3 Υλικά δομής .....	21
1.2.2.4 Η φθορά των λίθων.....	23
1.2.2.5 Ιστορικό των επεμβάσεων .....	26
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	32
2.1 Εισαγωγή .....	32
2.2 Σύνθεση των εφαρμοσθέντων υλικών συντήρησης.....	34
2.3 Σύνθεση των πειραματικών κονιαμάτων συντήρησης. ....	37
2.4 Εργαστηριακός έλεγχος φυσικοχημικών ιδιοτήτων κονιαμάτων .....	42
2.4.1 Αντοχή στην κάμψη .....	42
2.4.2 Αντοχή στη θλίψη .....	44
2.4.3 Υδατοαπορροφητικότητα.....	49
2.4.4 Ανοιχτό πορώδες.....	60
3. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΤΙΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΗΔΗ ΕΦΑΡΜΟΣΘΕΝΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	63
4. ΕΠΑΝΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	67
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	69



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η αποκάλυψη και η διάσωση της υλικής πολιτισμικής μας κληρονομιάς, της οποίας σημαντικό μέρος αναλογεί στα αρχαία Ιερά, αποτελεί πανανθρώπινο αίτημα. Μεγάλη επομένως είναι η ευθύνη των εμπλεκόμενων ειδικών επιστημόνων, μεταξύ των οποίων την κύρια θέση κατέχουν οι αρχαιολόγοι, που φέρνουν στο φως και τεκμηριώνουν επιστημονικά τα μνημεία, ακολουθώντας τις υποδείξεις άλλων σημαντικών ειδικών, όπως των αρχιτεκτόνων, πολιτικών μηχανικών, αρχαιομετρών κ.λπ., καθώς και οι συντηρητές οι οποίοι συμβάλλουν στη διάσωση και αποκατάστασή τους. Επομένως οι όροι ανάθεσης ενός τόσο σημαντικού έργου πρέπει να είναι ιδιαίτερα αυστηροί, καθώς οποιαδήποτε λανθασμένη διαχείριση των αρχαιοτήτων θα έχει ως αποτέλεσμα τη μη αναστρέψιμη καταστροφή τους.

Ήδη από την αρχαιότητα τα συμβόλαια ανάθεσης οικοδομικών εργασιών σε Ιερά, όπως μαρτυρεί η αρχαία ελληνική επιγραφική, ήταν ιδιαίτερα αυστηρά. Χαρακτηριστικοί είναι οι όροι του συμβολαίου για το ναό του Διός στη Λειβαδιά της Βοιωτίας (Inscriptiones Graecae VII, 3073, gr. 29-40): *Ο εργολάβος δεν επιτρέπεται να καταστρέψει οποιοδήποτε οικοδομικό υλικό βρίσκεται στο Ιερό. Εάν προξενήσει κάποια ζημιά να την επιδιορθώσει με δικές του δαπάνες σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα από τους ναοποιούς. Και εάν ένας εργολάβος, υπεύθυνος για την τοποθέτηση, καταστρέψει έναν ακέραιο λίθο κατά τη διάρκεια της κατεργασίας του, να τον αντικαταστήσει με άλλον αντίστοιχο, χωρίς να δημιουργήσει κάποιο εμπόδιο στην εργασία. Ο κατεστραμμένος λίθος θα πρέπει να απομακρυνθεί από το Ιερό εντός πέντε ημερών, διαφορετικά θα θεωρηθεί ιερός. Εάν όμως δεν αντικαταστήσει ή δεν επισκευάσει τον κατεστραμμένο λίθο, οι ναοποιοί θα προβούν σε νέα ανάθεση και ο εργολάβος και οι εγγυητές θα πρέπει να πληρώσουν την προκαθορισμένη τιμή, προσαυξημένη κατά το ήμισυ. «Ως εκ τούτου χρειάζεται ταπεινοσύνη και αίσθηση ορίων από όλες τις πλευρές, επίγνωση των πεπερασμένων δυνάμεων σε σχέση με τον κολοσσό της ύλης και αξίας του αρχαιολογικού χώρου, όταν μάλιστα πρόκειται για τον μείζονος σημασίας χώρο της αρχαίας Δωδώνης» (Σμύρης 2014).*



Για τη διάσωση, αποκατάσταση και ανάδειξη του πολύπαθου αρχαίου θεάτρου στο Ιερό της Δωδώνης, ενός από τα μεγαλύτερα θέατρα του ελληνιστικού κόσμου, έχουν καταβληθεί κατά καιρούς πολλές προσπάθειες, άλλοτε επιτυχείς και άλλοτε αμφισβητήσιμες. Η παρούσα ερευνητική εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών με τίτλο: Ιστορία-Θεωρία της Τέχνης/Επιμέλεια Εκθέσεων του Τμήματος Πλαστικών Τεχνών και Επιστημών της Τέχνης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, φιλοδοξεί να συμβάλλει έστω και κατ' ελάχιστον στις παραπάνω προσπάθειες.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκ. Καθηγητή κ. Γ. Σμύρη, επιβλέποντα της εργασίας μου, για όσες διευκολύνσεις μου παρείχε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα, καθώς και για την προθυμία του να αναλάβει την εποπτεία της Διπλωματικής μου Εργασίας και να μου εμπιστευθεί το σχετικό θέμα. Η παράλληλη ιδιότητά του ως Προέδρου της Επιστημονικής Επιτροπής Δωδώνης, που έχει την ευθύνη για τα έργα αποκατάστασης του αρχαίου θεάτρου, μου έδωσε τη δυνατότητα, εκτός των άλλων, να έχω πρόσβαση σε υλικά συντήρησης του αρχαίου θεάτρου, που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί, ώστε να είναι εφικτή η μελέτη τους και η επαναξιολόγησή τους. Παράλληλα, η γενικότερη καθοδήγησή του και οι χρήσιμες υποδείξεις και διορθώσεις του συνέβαλλαν στη βελτίωση της εργασίας μου.

Ευχαριστώ επίσης τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Ν. Κατσικούδη για όλη την βοήθειά του κατά τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος και όχι μόνον. Η αμέριστη ηθική, επιστημονική και πρακτική υποστήριξή του είχε ως αποτέλεσμα να καταστεί δυνατή η ολοκλήρωση του Προγράμματος.

Προς τον Καθηγητή κ. Θ. Ματίκα, που μου έδωσε τη δυνατότητα πρόσβασης και εργασίας στα Εργαστήρια του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης των Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, καθώς επίσης και προς τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Τ. Μπαλάσκα του ίδιου Τμήματος για τη βοήθειά του στις δοκιμές κάμψης και θλίψης των δοκιμίων εκφράζω ευχαριστίες. Για την πρόσβαση και τη δυνατότητα εργασίας στο Εργαστήριο Προηγμένων Κεραμικών του Τομέα Επιστήμης των Υλικών του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος ευχαριστώ τον Ερευνητή Α' Δρ. Γ. Βεκίνη, υπεύθυνο του ανωτέρω Εργαστηρίου.



Θερμά ευχαριστώ επίσης τον πολιτικό μηχανικό κ. Π. Κατσούδα, τον εργατοτεχνίτη κ. Τ. Σακκά και τις συντηρήτριες κ. Α. Σταυροπούλου και κ. Χ. Παδιώτη, που εργάζονται στο έργο «Αποκατάσταση και ανάδειξη του αρχαίου θεάτρου και των άλλων μνημείων του Ιερού της Δωδώνης» για τη βοήθειά τους στη σύνθεση και συντήρηση των δοκιμίων.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύνθεση και ο εργαστηριακός έλεγχος νέων κονιαμάτων συμπλήρωσης λίθου ώστε να δοθεί η δυνατότητα επαναξιολόγησης των κονιαμάτων που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί πιλοτικά ως υλικά συμπλήρωσης κατά τις σχετικώς πρόσφατες μεγάλες αναστηλωτικές προσπάθειες στο αρχαίο θέατρο της Δωδώνης. Οι προσπάθειες αυτές από το 2000 έως το 2007 είχαν ενταχθεί στο πλαίσιο έργων που εκτελούνταν μέσω του «Ταμείου Διαχείρισης Πιστώσεων για την εκτέλεση Αρχαιολογικών Έργων» και αποσκοπούσαν στην «Αποκατάσταση του αρχαίου θεάτρου και των άλλων μνημείων του Ιερού της Δωδώνης». Από το 2007 έως σήμερα εκτελούνται στο πλαίσιο του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ), πάντοτε υπό την παρακολούθηση και τον έλεγχο της Επιστημονικής Επιτροπής Δωδώνης. Προϋπόθεση για τα έργα αυτά αποτελούσε η ολοκλήρωση μελετών για την τεκμηρίωση, συντήρηση και αναστήλωση του θεάτρου, οι οποίες καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό τις πτυχές του προβλήματος και προσφέρουν πολύ χρήσιμα στοιχεία για την επίλυσή του<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Η μελέτη των αιτίων φθοράς του ασβεστολίθου που έχει χρησιμοποιηθεί σαν υλικό δομής στον αρχαιολογικό χώρο της Δωδώνης, ΥΠ.ΠΟ (1986). Εκπονήθηκε από τη χημικό μηχανικό Β. Ηλιάδου του ΥΠ.ΠΟ.

Η προμελέτη αποκατάστασης και συντήρησης αρχαίου θεάτρου Ιερού Δωδώνης (1989). Εκπονήθηκε από τους Κ. Ζάχο, Α. Ντούζουγλη, Γ. Πλιάκου, Ν. Ζωγράφου, Μ. Κουμπαρέλου, Γ. Σμύρη, Ν. Πουλογιάννη και Κ. Σιόντη.

Η μελέτη συντήρησης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου Ιερού Δωδώνης (2001). Εκπονήθηκε από τη Δ.Σ.Α. του ΥΠ.ΠΟ. από ομάδα συντηρητών (Ι. Στυψιανού, Θ. Παπαθανασίου, Σ. Ράπτη, Κ. Τσιακρή).

Η μελέτη συντήρησης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου Ιερού Δωδώνης (2001). Εκπονήθηκε από τη Δ.Σ.Α. του ΥΠ.ΠΟ. από ομάδα συντηρητών (Ι. Στυψιανού, Θ. Παπαθανασίου, Σ. Ράπτη, Κ. Τσιακρή).

Ιερό Δωδώνης. Η συντήρηση του αρχαίου θεάτρου. Επιλογή των κονιαμάτων και μεθοδολογία αποκατάστασης του δομικού υλικού (2003). Εκπονήθηκε από τους Α. Γαλανού και Γ. Δογάνη.

Πετρογραφική εξέταση 3 δειγμάτων από τη Δωδώνη. Γνωμάτευση Ν° 6091, 4/3/03 (2003). Εκπονήθηκε στο Ι.Γ.Μ.Ε. από τον Ι. Κατσίκη.

Παρακολούθηση των χωροχρονικών μεταβολών των μικροκλιματικών παραμέτρων στο αρχαίο θέατρο της Δωδώνης (2003). Εκπονήθηκε από επιστημονική ομάδα του Γεωλογικού Τμήματος του Ε.Κ.ΠΑ. με υπεύθυνο τον καθ. Η. Μαριολάκο.

Μελέτη αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης και άρσης ετοιμορροποιών του σκηνικού οικοδομήματος (2003). Εκπονήθηκε από το επιστημονικό προσωπικό του Γραφείου Στήριξης του έργου της Επιτροπής Προστασίας και Ανάδειξης του Αρχαίου Θεάτρου και των άλλων μνημείων του Ιερού της Δωδώνης (Α. Λύτρα, Ε. Μπέζα και Γ. Λώλο).

Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου Δωδώνης. Α' Φάση: Προκαταρκτική μελέτη-πλαίσιο. Γενική παθολογία του θεάτρου της Δωδώνης. Κατάσταση διατηρήσεως και βασικοί στόχοι της επέμβασης για την συντήρηση των λίθων του θεάτρου (2005). Εκπονήθηκε από τον αναπλ. καθ. Π. Θεουλάκη.





Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας εργασίας κρίνεται καταρχάς απαραίτητη η συνοπτική αναφορά σε αναγκαία στοιχεία, που αφορούν το αρχαίο θέατρο, ώστε να δημιουργηθεί το θεωρητικό υπόβαθρο και να δοθεί η δυνατότητα της συγκριτικής αντιβολής τους με τα δεδομένα που θα προκύψουν από την πειραματική έρευνα η οποία αποτελεί και τον κύριο σκοπό της εργασίας. Η συνοπτική παράθεση των στοιχείων αυτών στο πρώτο μέρος της μελέτης, το Θεωρητικό, είναι επιβεβλημένη για να εξυπηρετηθεί η αυτοτέλεια της εργασίας και η εννοιολογική συνέχεια του κειμένου, παρόλο που τα θέματα αυτά έχουν ήδη αντιμετωπισθεί διεξοδικά σε προηγούμενες μελέτες και εργασίες<sup>2</sup>.

Στο Θεωρητικό μέρος γίνεται αναφορά στα αρχαία υλικά δομής, με μεγαλύτερη έμφαση στο λίθο. Ακολουθεί συνοπτική ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση του Ιερού της Δωδώνης και του θεάτρου. Κρίνεται επίσης αναγκαίο να παρατεθούν συνοπτικά στοιχεία για τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και για τις περιβαλλοντικές συνθήκες, που επικρατούν στην περιοχή, και οι οποίες επηρεάζουν τη συμπεριφορά των δομικών υλικών. Ακολουθούν συνοπτική καταγραφή και αξιολόγηση των υλικών δομής, που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του αρχαίου θεάτρου, και η περιγραφή της φθοράς των λίθων που οφείλεται στην ποιότητα του χρησιμοποιηθέντος δομικού υλικού και στις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής. Οι επεμβάσεις αποκατάστασης και διάσωσης του μνημείου περιγράφονται συνοπτικά στο επόμενο υποκεφάλαιο που ολοκληρώνεται με την αναφορά στις μεγάλες αναστηλωτικές προσπάθειες στο μνημείο από το 2000 και εξής.

Στο Πειραματικό μέρος της εργασίας παρουσιάζονται οι συνθέσεις και ο εργαστηριακός έλεγχος της ποιότητας νέων κονιαμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο αρχαίο θέατρο της Δωδώνης για τη συμπλήρωση και αποκατάσταση του αρχαίου λίθου των εδωλίων. Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η άμεση σύγκρισή τους με τα κονιάματα από παλαιότερες μελέτες, που έχουν ήδη

---

*Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου Δωδώνης. Α' Φάση: Προκαταρκτική μελέτη-πλαίσιο. Γενική κατάσταση & παθολογία. Προτάσεις επέμβασης (2005). Α2' Φάση. Αρχιτεκτονική αποτύπωση (2006). Τεχνική έκθεση που εκπονήθηκε από τον αρχιτέκτονα μηχανικό Ε.Μ.Π. Γ.Π. Αντωνίου (Επιβλέποντες: Α. Καμπουράκης, Θ. Βλαχούλης, Π. Κατσούδας).*

*Μελέτη στερέωσης των τοίχων της ρωμαϊκής αρένας (2006). Εκπονήθηκε από τον Δ. Μονοκρούσο.*

<sup>2</sup> Γραβάνη κ.ά. 2014, Σμύρης 2014, Κατσούδας 2014, Σκαλιστή και Γεωργούλας 2014.



χρησιμοποιηθεί, και πιο συγκεκριμένα με τις συνθέσεις κονιαμάτων συμπλήρωσης από τη μελέτη Γαλανού και Δογάνη 2003 (*Ιερό Δωδώνης. Η συντήρηση του αρχαίου θεάτρου. Επίλογή των κονιαμάτων και μεθοδολογία αποκατάστασης του δομικού υλικού*). Για το λόγο αυτό στο Πειραματικό μέρος, μετά από μια σύντομη εισαγωγή, παρουσιάζεται η σύνθεση των εφαρμοσθέντων κονιαμάτων συντήρησης κατά το πλοτικό πρόγραμμα με βάση την παραπάνω μελέτη (Γαλανού και Δογάνη 2003) και στο υποκεφάλαιο, που ακολουθεί, η μεθοδολογία και οι τεχνικές σύνθεσης των πειραματικών κονιαμάτων. Η παράθεση αυτή είναι απαραίτητη, ώστε να δοθεί η δυνατότητα σύγκρισης και επαναξιολόγησης των εφαρμοσθέντων κονιαμάτων με βάση τα πειραματικά δεδομένα που θα προκύψουν από την έρευνα η οποία περιγράφεται στη συνέχεια της εργασίας.

Στα υποκεφάλαια, που ακολουθούν, παρουσιάζεται η μελέτη των πειραματικών κονιαμάτων συμπλήρωσης, δηλ. ο εργαστηριακός έλεγχος των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους και η ποροσιμετρία τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις αντοχές των δοκιμίων στην κάμψη και τη θλίψη, καθώς και στην υδατοαπορροφητικότητά τους, το ανοιχτό πορώδες τους και το φαινόμενο ειδικό βάρος, ιδιαίτερος σημαντικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων καθώς σχετίζονται με τον κίνδυνο καταστροφής τους από διαβρωτικούς παράγοντες, όπως η υγρασία και ο παγετός.

Ακολουθεί η συγκριτική αντιβολή των δεδομένων, που προέκυψαν από τον εργαστηριακό έλεγχο των πειραματικών κονιαμάτων. Η σύγκριση των χαρακτηριστικών αυτών οδηγεί σε κατάταξη των πειραματικών δοκιμίων και υποδεικνύει τη θέση αξιολόγησής του σε σχέση με τα ήδη εφαρμοσθέντα κονιάματα. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα, στα οποία κατά την επαναξιολόγηση των εφαρμοσθέντων κονιαμάτων παρατηρείται πως οι συνθέσεις τους υστερούν σε σχέση με τη σύνθεση των πειραματικών κονιαμάτων ως προς τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που διερευνήθηκαν πειραματικά (αντοχές στην κάμψη και τη θλίψη, υδατοαπορροφητικότητα και ανοιχτό πορώδες). Τέλος παρατίθενται οι συντομογραφίες επιλεγμένης βιβλιογραφίας.



## 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1 Υλικά δομής στην αρχαιότητα

Η οικοδομική δραστηριότητα του ανθρώπου στηρίχθηκε καταρχήν σε φυσικά υλικά τα οποία ήταν διαθέσιμα στο περιβάλλον του, όπως ο λίθος, ο πηλός και το ξύλο. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν τεχνητά δομικά υλικά (Hellmann 2003).

#### *Φυσικά δομικά υλικά*

Τα φυσικά υλικά, τα οποία αποτελούν τα κύρια δομικά υλικά των μνημείων, χρησιμοποιούνται χωρίς να αλλοιωθεί η χημική και κρυσταλλική σύστασή τους ή η δομή των μορίων της αντίστοιχης πρώτης ύλης από όπου προήλθαν. Τέτοια υλικά είναι οι πέτρες-πετρώματα που προήλθαν από μηχανική επεξεργασία, δηλαδή από σχηματοποίηση της αντίστοιχης μητρικής πρώτης ύλης. Στην ίδια κατηγορία υπάγονται ο πηλός και το ξύλο. Έως το τελευταίο τρίτο του 7<sup>ου</sup> αι. π.Χ. τα βασικά υλικά της αρχιτεκτονικής, ανεξάρτητα από μερικές πρόσθετες επεξεργασίες, διατηρούν σε γενικές γραμμές την αρχική χημική σύσταση και δομή τους. Οι λεπτομέρειες των ξύλινων κατασκευών της πρώιμης εποχής δεν είναι γνωστές. Ωστόσο υπάρχουν πολλές πληροφορίες που βεβαιώνουν για τη χρήση τους, καθώς και για τις μορφολογικές λεπτομέρειές τους, πολλές από τις οποίες διασώζονται σε μεταγενέστερες λίθινες κατασκευές. Γενικότερα, τα ξύλα είχαν μεγάλη εφαρμογή στην οικοδομική, τόσο σε μικρά και ασήμαντα αρχιτεκτονικά έργα όσο και σε στέγες ναών και δημοσίων εν γένει κτηρίων (Μπούρας 1999).

Παράλληλα στην αρχαία ελληνική αρχιτεκτονική χρησιμοποιούσαν ευρύτατα τον πηλό είτε ωμό (άψητο) με τη μορφή πλίνθων σε συνδυασμό με ξυλοδεσιές είτε οπτό (ψημένο) που χρησιμοποιούσαν κατά τη διάρκεια όλης της αρχαιότητας σε κεραμίδια στέγης, πηλοσωλήνες, υδρορροές, στοιχεία επενδύσεως των ξύλινων μερών κ.λπ. (Μπούρας 1999).

Ο φυσικός λίθος χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα στην ελληνική αρχιτεκτονική των ιστορικών χρόνων. Χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν όλα τα είδη των διαθέσιμων πετρωμάτων που ήταν κατάλληλα, όπως για τις απλές κατασκευές αργοί λίθοι (αλάξευτοι), ενώ για τα μεγαλύτερα οικοδομήματα λίθοι των οποίων η επεξεργασία



ήταν εφικτή και ως εκ τούτου τα είδη τους ήταν περισσότερο περιορισμένα (Müller-Wiener 1995).

Κατά τη γεωμετρική και την πρόιμη αρχαϊκή περίοδο στην Ελλάδα, όπου τα βασικά υλικά είναι τα ξύλα και ο πηλός, συναντώνται τοίχοι εξ ολοκλήρου λίθινοι από μικρούς αλάξευτους ή ατελώς λαξευμένους λίθους, σε μερικά πολύ πρώιμα κτήρια στην Κρήτη (Πριλιά, Πύθιο Γόρτυνος), καθώς και στο Ναό του Ηραίου Ι στη Σάμο των αρχών του 7<sup>ου</sup> αι. π.Χ. Η δραστική αλλαγή του χαρακτήρα των ελληνικών κτηρίων, τα οποία αποκτούν πλέον μνημειακότητα, γίνεται λίγο πριν το 600 π.Χ. με τη μεθοδική χρήση του λίθου με λάξευση. Κατά τον 6<sup>ο</sup> αι. π.Χ. η εγκατάλειψη του ξύλου και του ωμού πηλού, τουλάχιστον για τα σπουδαιότερα μνημεία, γενικεύεται με τη μέγιστη χρήση του ευλάξευτου πωρόλιθου. Στα μνημειώδη κτήρια της κλασικής και της ελληνιστικής περιόδου επικρατεί η χρήση λίθου, κυρίως του μαρμάρου, ενώ κατά τη ρωμαϊκή εποχή χρησιμοποιούσαν μεγάλη ποικιλία υλικών δομής, μεταξύ των οποίων φυσικούς λίθους και μάρμαρα, όχι μόνον λευκά αλλά και έγχρωμα, όπως γρανίτες, αλάβαστρους, πορφυρίτες διαφόρων αποχρώσεων, διορίτες κ.ά. Για την εκτεταμένη χρήση και την εκτίμηση των υλικών αυτών στο ρωμαϊκό κόσμο πολλές πληροφορίες αντλούνται και από τις γραπτές πηγές της εποχής (Βιτρούβιος, Στράβων, Πανσανίας) (Hellmann 2003).

Τη μεγαλύτερη σημασία στην αρχιτεκτονική είχαν τα ιζηματογενή πετρώματα, δηλαδή τα διάφορα είδη ασβεστόλιθων (πωρόλιθος, τόφος, απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος, ψαμμιτικός ασβεστόλιθος, χονδρόκοκοι και συμπαγείς ασβεστόλιθοι), αμμόλιθων και μεταμορφωμένων πετρωμάτων με βάση τον ασβεστόλιθο, όπως είναι διάφορα είδη μαρμάρου, καθώς και κροκαλοπαγών και λατυποπαγών λίθων, που εμφανίζονται στις παρυφές των κοιτασμάτων μαρμάρου. Στα θεμέλια των κτηρίων και στις απλές τοιχοποιίες χρησιμοποιούσαν διάφορα μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως ο γνεύσιος και ο μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, καθώς και τα σκληρά πλουτώνεια και ηφαιστειογενή πετρώματα (γρανίτης, πορφυρίτης, βασάλτης). Μερικές φορές χρησιμοποιούσαν το γρανίτη και στους κίονες. Για τοπική χρήση ήταν επίσης περιορισμένα τα πιο μαλακά ηφαιστειογενή πετρώματα (ανδρείτης και παρόμοια πετρώματα), καθώς και τα ιζηματογενή πετρώματα που αποτελούν εξέλιξη των πρώτων (τόφοι διαφόρων τύπων) (Müller-Wiener 1995).



### **Πωρόλιθος (πώρος)**

Με τον όρο πωρόλιθο εννοούνται πετρώματα με διαφορετική ποιότητα κατά περιοχές, συνήθως μαλακά με ερυθρό-κίτρινο χρώμα, τα οποία μπορούν να δουλευτούν με το σκαρπέλο, καθώς και τόφοι και απολιθωματοφόροι ασβεστόλιθοι κυρίως γκρίζου χρώματος, η σκληρότητα των οποίων αυξάνεται με την παραμονή τους στον αέρα. Μεγάλη ποικιλία από τα πετρώματα αυτά έχει χρησιμοποιηθεί σε ολόκληρη την Ελλάδα, στα νησιά του Αιγαίου, στη Σικελία και στη Δυτική Μ. Ασία. Ανάλογα με την ποιότητά τους χρησιμοποιήθηκαν είτε μόνο για τα θεμέλια είτε για όλες τις μορφές λιθοδομής ή ακόμη και για πιο απαιτητικά διαμορφωμένα αρχιτεκτονικά μέλη με επίχρισμα (stucco) (Müller-Wiener 1995).

Κατά την αρχαϊκή περίοδο έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά είδη πωρολίθων, μεταξύ των οποίων ο *κογχυλιάτης* λίθος και ο καστανέρυθρος πωρόλιθος (Σικελίας και Ν. Ιταλίας). Ο πωρόλιθος που χρησιμοποιήθηκε στο ναό της Αφείας είναι ο λεγόμενος υποκίτρινος *Αιγινίτης*, ενώ από τον λεγόμενο *Σικυώνιο* λίθο γίνονται οι θησαυροί των Σικυωνίων στους Δελφούς και την Ολυμπία. Κατά την κλασική περίοδο στο ναό του Διός στην Ολυμπία συναντάται ο *κογχυλιάτης* λίθος.

Εξωτερικά τα πώρινα αρχιτεκτονικά μέλη έπαιρναν ένα λεπτότατο επίχρισμα (stucco) με υπόλευκο χρώμα. Το πάχος του ήταν συνήθως πολύ μικρό. Σκοπός αυτού του επιχρίσματος ήταν να εξομαλύνει τις φυσικές μικρές κοιλότητες που ίσως είχε το πέτρωμα, να το προστατεύσει από την υγρασία, να εξαφανίσει τους αρμούς και να διευκολύνει την τοποθέτηση χρωμάτων (Μπούρας 1999).

### **Λατυποπαγές πέτρωμα (αρουραίος)**

Εκτός από τα λεγόμενα λατυποπαγή μάρμαρα, που λόγω χρώματος ήταν πολύ αγαπητά για την εσωτερική διακόσμηση, διάφορα ήδη λατυποπαγών πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν σε αρχιτεκτονικά μέλη κατώτερης σημασίας. Ο *αρουραίος* λίθος, όταν ήταν εγκιβωτισμένος, παρουσίαζε μεγάλη αντοχή σε θλίψη, όπως π.χ. στις θεμελιώσεις των κτηρίων της Αθηναϊκής Αγοράς (Μπούρας 1999).



### **Σκληρός γκρίζος ασβεστόλιθος (λίθος πέτρινος)**

Ο γκρίζος ασβεστόλιθος, με διαφορετικές ονομασίες, είχε ευρεία χρήση στην οικοδόμηση οχυρών, στα θεμέλια κτηρίων και πολλές φορές στα κτήρια με απλά μνημειακά χαρακτηριστικά. Τα διάφορα είδη του ασβεστόλιθου διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους και είναι ρευστά τα όρια της μετάβασης από το συμπαγή ασβεστόλιθο στο μάρμαρο (Müller-Wiener 1995). Κατά την αρχαϊκή περίοδο χρησιμοποιούσαν ασβεστόλιθους, όπως ο *ακτίτης* λίθος του Πειραιά και ο *ακρυλεικός* λίθος ο οποίος εξορυσσόταν στις δυτικές πλαγιές του Υμηττού. Στη Βραυρώνα ο ναός και τα υπόλοιπα μνημεία κατασκευάζονταν από τοπικό λίθο, είδος ανθεκτικού ψαμμίτη (Μπούρας 1999).

### **Μάρμαρο**

Το μάρμαρο, το πιο αγαπητό υλικό το οποίο απολάμβανε μεγαλύτερης εκτίμησης όταν ήταν εισαγόμενο, είχε ποικίλες ονομασίες με βάση την προέλευση και το χρώμα του. Άρχισε να εφαρμόζεται πολύ περιορισμένα από τον 6<sup>ο</sup> αι. π.Χ., ενώ η χρήση του γενικεύεται κατά τον 5<sup>ο</sup> αι. π.Χ. με πολύ μεγαλύτερη εφαρμογή στη γλυπτική. Στην αρχιτεκτονική του 6<sup>ου</sup> αι. π.Χ. συναντάται μάρμαρο Πάρου, Νάξου και Θάσου, κυρίως σε συνδυασμό με πωρόλιθο σε σημεία που ήταν περισσότερο εκτεθειμένα στην υγρασία ή επρόκειτο να δεχθούν γλυπτική ή ζωγραφική διακόσμηση. Εκμετάλλευση μαρμάρου γινόταν ήδη από την αρχαϊκή εποχή στη Μ. Ασία, όπως στην Έφεσο και στη Μίλητο.

Κατά την κλασική περίοδο αρχίζουν να εκμεταλλεύονται το μάρμαρο της Πεντέλης στην Αττική από το οποίο θα κατασκευαστούν όλα τα αριστουργήματα της Αθήνας την εποχή αυτή. Πρόκειται για λευκό, λεπτόκοκκο και σχετικά διαφανές μάρμαρο το οποίο λόγω των ελαχίστων προσμείξεων σιδήρου, που περιέχει, αποκτά στην ατμόσφαιρα τη γνωστή ερυθρωπή απόχρωση. Μία παραλλαγή του πεντελικού μαρμάρου είναι αυτό που συναντάται στο ναό του Σουνίου (λατομείο Αγριλέζας) από το οποίο απουσιάζουν προσμείξεις σιδήρου με αποτέλεσμα να παραμείνει τελείως λευκό. Το μάρμαρο της Πάρου, γνωστό και ως *λυχνίτης* (λόγω της εξορύξεώς του μέσα από πολύ βαθιές στοές που φωτίζονταν με λύχνους) εξακολούθησε να χρησιμοποιείται κυρίως για αγάλματα. Στα Προπύλαια και στο Ερέχθειο της Ακρόπολης των Αθηνών χρησιμοποιήθηκε ένας φαιοκυανός ισχυρός ασβεστόλιθος, ο



λεγόμενος μέλας λίθος. Στα μνημεία της Επιδαύρου χρησιμοποιείται μάρμαρο σκοτεινού τόνου που προέρχεται από λατομεία της Τρίπολης ή του Άργους.

Κατά την ελληνιστική εποχή αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των λατομείων. Ας σημειωθεί ότι ήδη από την κλασική εποχή, και ιδιαίτερα κατά την ελληνιστική περίοδο, στο ίδιο οικοδόμημα χρησιμοποιούσαν διαφορετικά είδη και χρώματα μαρμάρου, όπως π.χ. στο Ερέχθειο των Αθηνών. Έγχρωμα μάρμαρα αρχίζουν να εφαρμόζονται κυρίως κατά τη ρωμαϊκή περίοδο (Müller-Wiener 1995, Μπούρας 1999).

### *Υπόλοιπα σκληρά πετρώματα*

Ο γνεύσιος ήταν τοπικής σημασίας και τον χρησιμοποιούσαν στη Θάσο, τη Δήλο και τη Μίλητο για θεμέλια και απλή λιθοδομή.

Ο γρανίτης ήταν σε χρήση μόνο στη Δήλο, στη Νάξο και σε μερικές περιοχές της Μυσίας και της Μακεδονίας.

Ο βασάλτης, ο πορφυρίτης και άλλα έγχρωμα σκληρά πετρώματα, που ήταν πολύ αγαπητά στην πρώιμη Αίγυπτο, χρησιμοποιήθηκαν περιορισμένα σε εσωτερικούς χώρους κατά την ελληνιστική περίοδο.

Ο ανδεσίτης είχε τοπικά περιορισμένη χρήση στη βορειοδυτική Μ. Ασία και την Κύπρο.

Ο γυψόλιθος απαντά σποραδικά επίσης στη βορειοδυτική Μ. Ασία και την Κύπρο.

Ο ψαμμιτικός ασβεστόλιθος συναντάται στην Πελοπόννησο και κυρίως στην Ολυμπία.

Ο αμμόλιθος χρησιμοποιήθηκε στη Σαμοθράκη και την Καλυδώνα (Μπούρας 1999).

### *Τεχνητά δομικά υλικά*

Τα τεχνητά δομικά υλικά προέρχονται από αντίστοιχες πρώτες ύλες οι οποίες έχουν υποστεί από τον άνθρωπο σημαντικές αλλοιώσεις της χημικής και κρυσταλλικής σύστασής τους και αλλοιώσεις της δομής των μορίων τους. Τέτοια



υλικά είναι τα μέταλλα και τα κράματα τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία των μεταλλευμάτων, ο ασβέστης που προέρχεται από πέτρωμα και η γύψος. Επίσης στην κατηγορία των τεχνητών υλικών συμπεριλαμβάνονται και υλικά τα οποία έχουν προέλθει από τον συνδυασμό πολλών πρώτων υλών. Τέτοια είναι τα κονιάματα, τα γυαλιά και τα κεραμικά.

### **Μέταλλα και κράματα**

Τα μέταλλα προέρχονται από μεταλλεύματα που συναντώνται στη φύση κυρίως υπό τη μορφή οξειδίων, υδροξειδίων, θειούχων κ.λπ. ενώσεών τους. Με τη μεταλλουργία πραγματοποιείται αναγωγή των μεταλλευμάτων αυτών με προσφορά ενέργειας:



(+ΔQ: Απορρόφηση θερμότητας)

Τα κράματα προέρχονται με την προσθήκη στο τήγμα των μετάλλων διάφορων άλλων κατάλληλων μετάλλων για να τους προσδώσουν τις επιθυμητές μηχανικές και χημικές ιδιότητες (Σκουλικίδης 2000).

### **Κονιάματα**

Η χρήση των κονιαμάτων σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά δομής ήταν σχετικά μικρή. Χρησιμοποιούνταν σε ευπαθή λίθινα μέρη με τη μορφή ενός λεπτότατου επιχρίσματος (stucco, είδος μαρμαροκονιάματος). Προστατεύονται έτσι τα μέλη των κτηρίων από παρόλιθο ή κοχυλιάτη λίθο. Επίχρισμα χρησιμοποιούνταν και στους μαρμάρινους τοίχους, όταν οι επιφάνειές τους προορίζονταν για ζωγραφική, καθώς και στους τοίχους και τα δάπεδα για να προστατευθούν.

Οι αρχαίοι Έλληνες γνώριζαν τον ασβέστη, με τον οποίο κατασκεύαζαν τα επιχρίσματα. Δεν τον χρησιμοποιούσαν όμως στα συνδετικά κονιάματα, όπως έκαναν αργότερα σε ευρύτερη κλίμακα οι Ρωμαίοι. Γνώριζαν επίσης τη γύψο και τα γυψοκονιάματα (Μπούρας 1999).





## 1.2 Ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση

### 1.2.1 Το Ιερό της Δωδώνης<sup>3</sup>

Από άποψη τοπογραφίας το κύριο χαρακτηριστικό του Ιερού της Δωδώνης είναι η θέση του στη ομώνυμη κοιλάδα η οποία ορίζεται δυτικά από τον Τόμαρο (σημερινή Ολύτσικα-υψόμε. 1816 μ.) και ανατολικά από τη βουνοσειρά του Αγίου Νικολάου-Μανολιάσας (υψόμε. 800-1000 μ.). Η φυσική διάβαση, που συνεχίζονταν κατά μήκος της κοιλάδας του Λούρου, αποτελούσε την κύρια οδό επικοινωνίας του Ιερού με τον Αμβρακικό και τη νότια Ελλάδα. Εξίσου σημαντική υπήρξε η διάβαση στα βόρεια του Ιερού, καθώς οδηγούσε δυτικά προς την πεδιάδα του Καλαμά και το Ιόνιο, ενώ η ευκολοδιάβατη οροσειρά του Αγίου Νικολάου συνέδεε τη Δωδώνη με το λεκανοπέδιο των Ιωαννίνων (Κατσικούδης 2005, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).

Το πανηπειρωτικό Ιερό της Δωδώνης, με την πανελλήνια ακτινοβολία του κατά τους ελληνιστικούς χρόνους, παρέχει πλήρη την εικόνα ενός αρχαίου Ιερού που ήταν συγχρόνως και πολιτικό κέντρο. Μολονότι η δημοσίευση των ανασκαμμένων οικοδομημάτων εκκρεμεί, εντούτοις από τις πληρέστερες ανασκαφικές εκθέσεις και τη σχεδιαστική αποτύπωση των αποκαλυφθέντων κτηριακών καταλοίπων, καθώς και από την επιστημονική μελέτη ορισμένων κατηγοριών από τα κινητά ευρήματα, είναι δυνατή η ανασύνθεση της τοπογραφίας του Ιερού, της λειτουργίας και της εξέλιξής του (βλ. εικ. 1, 2)<sup>4</sup> (Γραβάνη 2007, Γραβάνη κ.ά. 2014, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).

Στο Ιερό της Δωδώνης κατά τη μακρά προοικοδομική περίοδο, που γνώρισε, η λατρεία τελούνταν στην ύπαιθρο καθώς δεν υπήρχαν μνημειακά οικοδομήματα στο χώρο. Το υπαίθριο Ιερό, που αναπτύχθηκε σταδιακά γύρω από την ιερή φηγή, απέκτησε αρχιτεκτονική μορφή κατά τους ιστορικούς χρόνους. Με εξαίρεση την παλαιοχριστιανική βασιλική (B) του 5<sup>ου</sup>-6<sup>ου</sup> αι., που βρίσκεται στο ανατολικό του τμήμα, η οικοδομική δραστηριότητα τοποθετείται χρονολογικά κυρίως στον 4<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> αι. π.Χ. και εντάσσεται στα μεγάλα οικοδομικά προγράμματα της Συμμαχίας των Ηπειρωτών (342-233/2 π.Χ.), του βασιλιά Πύρρου (297-272 π.Χ.) και του Κοινού

<sup>3</sup> Για το Ιερό της Δωδώνης βλ. Δάκαρης 1995, και αναλυτική βιβλιογραφία στα: Βλαχοπούλου-Οικονόμου 2003, Κατσικούδης 2006, Γραβάνη 2007, Πλιάκου και Σμύρης 2012, Σουέρεφ 2014.

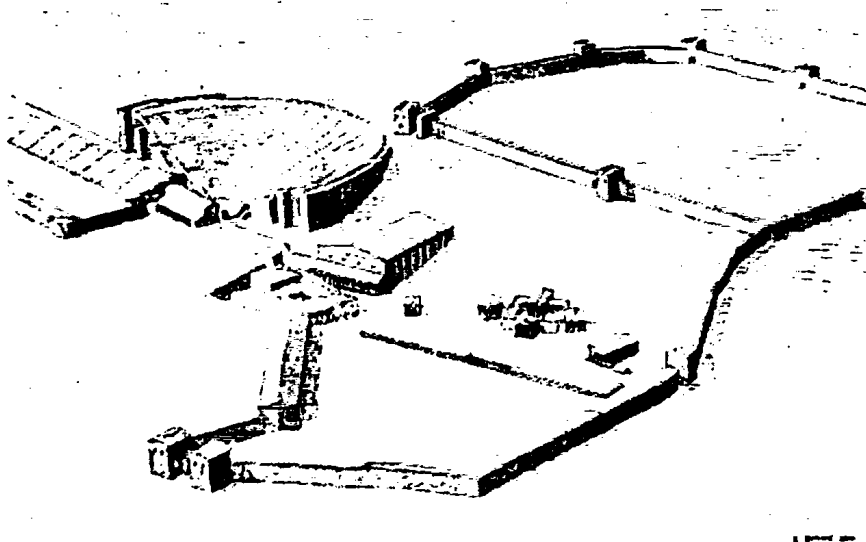
<sup>4</sup> Οι εικόνες που παρατίθενται στο κείμενο προέρχονται: εικ. 1 και 2 από Κατσικούδης 2012, εικ. 3 από Αρχείο Παν/κών ανασκαφών, εικ. 4, 5, 7, 8, 9 και 10 από Πλιάκου και Σμύρης 2012, εικ. 6 από Κατσαδήμα 2012.



των Ηπειρωτών (233/2-168 π.Χ.). Κατά την περίοδο αυτή η Δωδώνη, εκτός από πανελλήνιο θρησκευτικό Ιερό, αναπτύχθηκε και ως το θρησκευτικό, πολιτικό και πολιτιστικό κέντρο των Ηπειρωτικών φύλων.



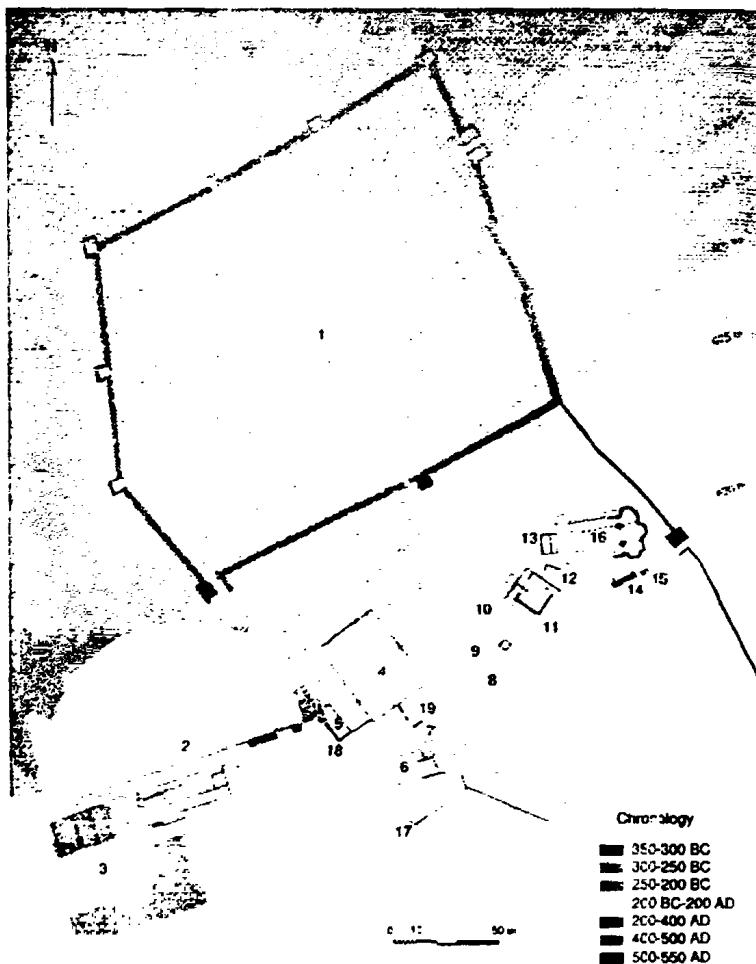
*Εικ.1:* Αεροφωτογραφία του Ιερού της Δωδώνης.



*Εικ.2:* Σχεδιαστική αναπαράσταση του Ιερού της Δωδώνης στα τέλη του 3<sup>ου</sup> αι. π.Χ.

Με βάση τα έως τώρα ανασκαφικά δεδομένα η οικοδομική εξέλιξη του Ιερού διαγράφεται ως εξής (βλ. εικ. 3): στο πρώτο μισό του 4<sup>ου</sup> αι. π.Χ. υπήρχαν λίγα ταπεινά οικοδομήματα, όπως ο μικρός ναός του Διός (E1) και η λεγόμενη κατοικία

των ιερέων (Μ). Ο μνημειακός χαρακτήρας του Ιερού αρχίζει να διαμορφώνεται κατά το 2<sup>ο</sup> μισό του 4<sup>ου</sup> αι. π.Χ. Ο ναός του Διός αποκτά νέα μορφή και κατασκευάζεται ο αρχαιότερος ναός της Διώνης (Γ). Στα τέλη του 4<sup>ου</sup> με αρχές του 3<sup>ου</sup> αι. π.Χ. ανακατασκευάζεται ο ναός του Διός (Ε1) και ιδρύονται οι ναοί της Θέμιδος (Ζ), της Αφροδίτης (Λ) και του Ηρακλέους (Α). Ανοικοδομούνται επίσης τα κτήρια πολιτικού και πολιτιστικού χαρακτήρα, όπως το Βουλευτήριο (Ε2), το Πρυτανείο (Ο) και το θέατρο. Στα τέλη του 3<sup>ου</sup> αι. π.Χ. κατασκευάζεται ενδεχομένως το στάδιο (ΣΤ), επεκτείνεται το Πρυτανείο (Ο-Ο1-Ο2) και ιδρύεται ο νεότερος ναός της Διώνης (Θ). Μετά την καταστροφή του Ιερού από τους Αιτωλούς το 219 π.Χ. το Ιερό ανοικοδομείται και εξωραϊζεται με στοές, πρότυλα και αναθήματα. Την καταστροφή του Ιερού από τους Ρωμαίους το 167 π.Χ. ακολουθούν πρόχειρες επισκευές των οικοδομημάτων και η προσθήκη νέων κατασκευών (Η2) που δεν αλλοιώνουν σε γενικές γραμμές τη βασική αρχιτεκτονική σύνθεση του Ιερού (Γραβάνη 2007, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).



Εικ.3: Τοπογραφικό σχεδιάγραμμα του Ιερού της Δωδώνης.



Η αρχιτεκτονική ολοκληρώση του Ιερού τοποθετείται στα τέλη του 3<sup>ου</sup> αι. π.Χ. με την ευρεία ανοικοδόμησή του μετά την καταστροφή από τους Αιτωλούς (219 π.Χ.). Με την προσθήκη των στωικών οικοδομημάτων στο νότιο τμήμα και με τα ποικίλα αναθήματα, που τα πλαισίωσαν, διευρύνθηκε ο οικοδομημένος χώρος και βελτιώθηκε η συνολική εντύπωση της αρχιτεκτονικής σύνθεσής του με τη μνημειακή αναμόρφωση της Ιεράς Οικίας. Η ανοικοδόμηση των ναών προσέφερε μνημειακότητα και αμφιθεατρική διάταξη στο σύνολο. Ο ναός του Διός με την «*υψίκομο δρυ*» αποτελούσαν το κέντρο της σύνθεσης. Το βαθμιδωτό ανάλημμα, επάνω στο οποίο ήταν χτισμένοι οι ναοί και οι στοές κατά μήκος των εσωτερικών πλευρών του περιβόλου, πρόβαλλαν ακόμη περισσότερο τους λατρευτικούς χώρους. Η εικόνα αυτή ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακή στον επισκέπτη που έφτανε από την κύρια νότια πύλη. Στα δυτικά των ναών το πρυτανείο και το βουλευτήριο με στοές στις προσόψεις τους, κτήρια πολιτικού χαρακτήρα, όριζαν την ιερά οδό και την είσοδο από τη δυτική πύλη. Δυτικότερα το θέατρο με τα μνημειακά αναλήμματα και τους πύργους με άνοιγμα προς τα νοτιοανατολικά και με τη σκηνή και τη στοά στην πρόσοψή του ολοκληρώναν το σύνολο. Πίσω και πιο ψηλά από τους ναούς το τείχος της ακρόπολης δημιουργούσε το «βάθος» στο οποίο προβάλλονταν τα λατρευτικά οικοδομήματα (Βλαχοπούλου-Οικονόμου 2003, Κατσικούδης 2006, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).

### 1.2.2 Το θέατρο της Δωδώνης

Το θέατρο της Δωδώνης είναι ένα από τα μεγαλύτερα θέατρα της αρχαίας Ελλάδας με χωρητικότητα 17.000 θεατών (βλ. εικ. 4). Καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα του ομώνυμου Ιερού στη νότια πλευρά ενός μικρού υψώματος και βρίσκεται σε άμεση γειτνίαση με την ακρόπολη προς βορρά, με το στάδιο προς νοτιοδυτικά και το βουλευτήριο ανατολικά. Έχει νότιο προσανατολισμό, προς τον άξονα της κοιλάδας, και στα ερείπιά του διακρίνονται τέσσερις οικοδομικές φάσεις (βλ. εικ. 5).

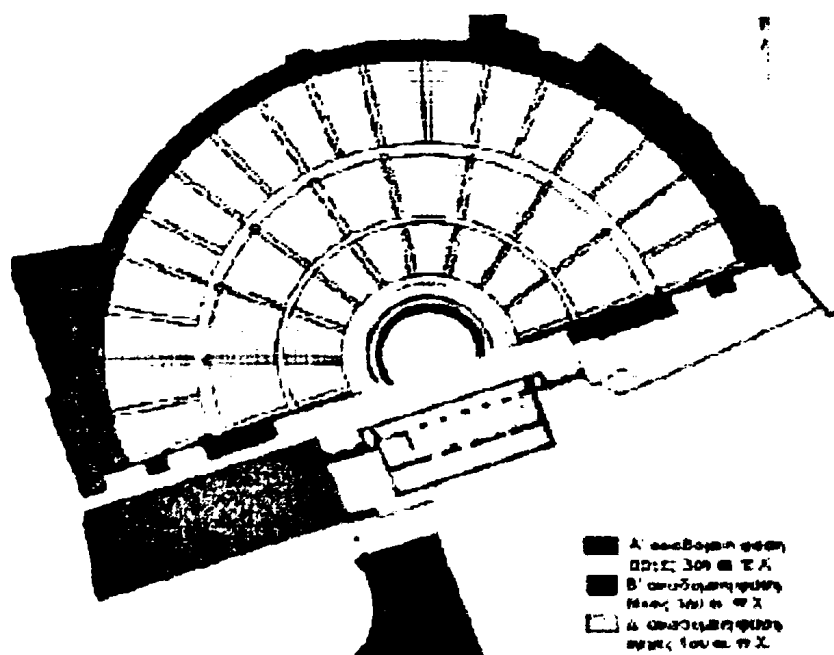
Η πρώτη οικοδομική φάση τοποθετείται στις αρχές του 3<sup>ου</sup> αι. π.Χ., την περίοδο της βασιλείας του Πύρρου, και συνδέεται με την τέλεση των Ναίων που πιθανότατα γινόταν κάθε τέσσερα χρόνια. Στη φάση αυτή ανήκουν το κοίλο του θεάτρου με τους ισοδομικούς αναλημματικούς τοίχους, που ενισχύθηκαν με ισχυρές πυργοειδείς αντηρίδες στα νότια (τρεις σε κάθε πλευρά) και πλευρικές θλάσεις, η ορχήστρα και η σκηνή με τα τετράγωνα παρασκήνια και τη δωρική στοά στην πρόσοψη. Τα



αναλήμματα έχουν αναστηλωθεί μερικώς και υπολογίζεται ότι στην αρχαιότητα ήταν κατά 10 μ. τουλάχιστον ψηλότερα (Δάκαρης 1960).



Εικ.4: Αεροφωτογραφία του θεάτρου της Δωδώνης.



Εικ.5: Κάτοψη του θεάτρου της Δωδώνης με διάκριση των οικοδομικών φάσεων.

Τα εδώλια, οι ενδιάμεσοι διάδρομοι και οι κλίμακες εδράζονται στο έδαφος με τη μεσολάβηση υποστρώματος αποτελούμενο από λατύπη και φερτές γαίες, ενώ σε λίγες περιοχές τα εδώλια είναι λαξευμένα κατευθείαν στο βράχο (Αντωνίου 2006).

Το σχήμα του κοίλου ορίζεται από τον κύκλο της ορχήστρας. Έχει 55 σειρές εδωλίων και χωριζόταν με τέσσερις οριζόντιους διαδρόμους (διαζώματα) σε τρία τμήματα με 19 σειρές αρχικά το κατώτερο, 15 το μεσαίο και 21 το ανώτερο. Αρχικά γύρω από την ορχήστρα και κάτω από το κατώτερο διάζωμα υπήρχε η προεδρία με καθίσματα για τα επίσημα και τιμώμενα πρόσωπα. Το ανώτερο τμήμα του κοίλου διαιρείται με κλίμακες σε 18 κερκίδες, ενώ τα υπόλοιπα δύο σε 9 κερκίδες. Εξωτερικά του κοίλου οι δύο πλησιέστεροι προς το άνοιγμά του αναλημματικοί πύργοι ήταν διαμορφωμένοι σε μεγάλες κλίμακες για την εξυπηρέτηση των θεατών, όπως και η κεντρική πύλη στο μέσο του ανώτερου διαζώματος. Μία ακόμη, μικρότερη είσοδος υπήρχε στα βορειοανατολικά του ανώτερου διαζώματος κοντά στη νοτιοδυτική πύλη της ακρόπολης.

Η ορχήστρα με διάμετρο 18,70 μ. έχει σχήμα κύκλου ελλιπούς στα νότια λόγω της σκηνής. Το δάπεδό της ήταν από χώμα και στην περιφέρειά της υπήρχε υπόγειος οχετός για την αποχέτευση των ομβρίων υδάτων έξω από το θέατρο μέσω του σπηλαιώδους υπεδάφους της σκηνής.

Η σκηνή είναι ορθογώνια διαστ. 31,20 × 9,10 μ. με επιμελημένη ισοδομική τοιχοποιία και δύο τετράγωνες πλευρικές αίθουσες (παρασκήνια). Μεταξύ των παρασκηνίων υπήρχαν τέσσερις τετράγωνοι πεσσοί. Μία τοξωτή πυλίδα με δύο πλευρικά παράθυρα οδηγούσε έξω από τη σκηνή προς τα νότια σε μία στοά με 13 οκτάπλευρους πεσσούς δωρικού τύπου. Το ανατολικό άκρο της στοάς δεν έφερε πεσσούς, αλλά ήταν κλεισμένο με τοίχο. Μία ξύλινη κλίμακα, από την οποία διατηρείται η λίθινη βάση, οδηγούσε στον άνω όροφο της σκηνής. Ανατολικά και δυτικά από τη σκηνή υπήρχαν πάροδοι για την είσοδο των θεατών.

Μετά την καταστροφή του Ιερού από τους Αιτωλούς (219 π.Χ.) η σκηνή επισκευάστηκε, προστέθηκαν δύο ορθογώνια προσκτίσματα και στον μεταξύ τους χώρο ένα λίθινο προσκήνιο με 18 λίθινα ιωνικά ημικίονια για την υποστύλωσή του, καθώς ξεπερνούσε σε ύψος τα 3 μ. Μεταξύ των ημικιονίων τοποθετούνταν ξύλινοι πίνακες ανάλογα με τη θεματολογία των παραστάσεων. Δύο μνημειακά πρόπυλα με διπλές εισόδους και ιωνικούς ημικίονες κοσμούσαν τις παρόδους. Για την κατασκευή



των αναλημματικών τοίχων των παρόδων καταργήθηκαν οι κατώτερες βαθμίδες των κλιμάκων των πύργων και συγχρόνως στα δυτικά δημιουργήθηκε ένα ανάλημμα κατάλληλο για τα εδώλια του νεοϊδρυθέντος σταδίου. Η άνοδος στις κλίμακες των πύργων γινόταν εξωτερικά των πρόπυλων.

Το θέατρο, όπως και όλο το Ιερό, καταστράφηκε από τους Ρωμαίους (167 π.Χ.). Με την ανασύσταση του Κοινού των Ηπειρωτών, μετά το 148 π.Χ., και την ανοικοδόμηση του Ιερού, το θέατρο επισκευάστηκε.

Η τελευταία οικοδομική φάση του θεάτρου τοποθετείται στα τέλη του 1<sup>ου</sup> αι. π.Χ. στα χρόνια του Αυγούστου, όταν το θέατρο μετατράπηκε σε αρένα για θηριομαχίες. Οι δύο πρώτες σειρές εδωλίων και η προεδρία καταργήθηκαν. Στη θέση τους κατασκευάστηκε ένας τοίχος ύψους 2,80 μ. για την προστασία των θεατών με υλικό από τα εδώλια και τις πλάκες του κατώτερου διαζώματος. Επίσης καταργήθηκε το προσκήνιο και τα αρχικά παρασκήνια μετατράπηκαν σε μικρά τριγωνικά δωμάτια με μικρά ανοίγματα για τη φύλαξη των ζώων (ίσως ταύρων και αγριόχοιρων). Συγχρόνως καταχώθηκε ο οχετός και στο κέντρο του τοίχου της αρένας κατασκευάστηκε μία τυφλή θύρα ως καταφύγιο των αγωνιζομένων. Το υλικό από τη σκηνή και τα παρασκήνια χρησιμοποιήθηκε για την επίχωση της ορχήστρας, η οποία ανυψώθηκε κατά 0,50 μ. και μετατράπηκε σε ωοειδή ευρύχωρη κονίστρα κατάλληλη για θηριομαχίες. Το θέατρο πρέπει να εγκαταλείφθηκε στον 4<sup>ο</sup> αι. μ.Χ. με την επικράτηση του Χριστιανισμού (Βλαχοπούλου-Οικονόμου 2003, Σουέρεφ 2014, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).

### 1.2.2.1 Γεωλογικά στοιχεία

Στην περιοχή της Δωδώνης τα πετρώματα ανήκουν στην αδριατικοϊονιογεωτεκτονική ζώνη στην οποία επικρατούν οι ασβεστόλιθοι και ο φλύσχης. Το βουνό Ολύτσικα (Τόμαρος), στα ΒΑ κράσπεδα του οποίου είναι κτισμένο το Ιερό, αποτελείται από ασβεστολιθικά πετρώματα του κατώτερου-μέσου λιάσιου. Τα μετεωρικά ύδατα χάνονται σε καταβόθρες στο πέρας της ομώνυμης μικρής κοιλάδας. Στις δυτικές πλαγιές της κοιλάδας έχουν σχηματιστεί κώνοι από αποθέσεις κορημάτων. Στη ΝΔ πλαγιά ενός κώνου σε υψόμετρο 620-640 μ. έχει οικοδομηθεί το θέατρο. Τόσο το θέατρο όσο και τα περισσότερα οικοδομήματα του



Ιερού είναι κτισμένα από ασβεστιτικά (λεπτοστρωματώδη, μικρολατυποπαγή, λατυποπαγή) πετρώματα που ανήκουν σε νεότερο σχηματισμό της ηωκαίνου περιόδου (Γαλανού και Δογάνη 2003).

### 1.2.2.2 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Η αρχή της διάβρωσης κάθε υλικού, που είναι εκτεθειμένο σε ένα ορισμένο περιβάλλον, έγκειται στο ότι το υλικό τείνει να ισορροπήσει με τις διάφορες συνθήκες του περιβάλλοντος και επομένως δημιουργείται η αναγκαιότητα να προσαρμοστεί. Οι συνεχόμενες και αναπόφευκτες μεταβολές του υλικού που οφείλονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες, έχουν ως συνέπεια τη μετατροπή, άλλοτε γρήγορα και άλλοτε αργά, των φυσικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών του και επομένως προκαλούν τη φθορά του (Λαμπρόπουλος 1993).

Το κλίμα στην περιοχή της Δωδώνης χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό με χαρακτηριστικά τόσο του μεσογειακού όσο και του μεσευρωπαϊκού κλίματος με συχνές βροχοπτώσεις κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Η θερμοκρασία κυμαίνεται κατά μέσο όρο ανά ημέρα σε ένα εύρος 20 °C, ωστόσο κατά τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία μεταβάλλεται ομαλά στις 4 εποχές.

Τους χειμερινούς μήνες σημειώνονται συχνά παγετοί και χιονοπτώσεις. Η μεγαλύτερη διακύμανση της σχετικής υγρασίας παρατηρείται το Φεβρουάριο και τους θερινούς μήνες, ενώ η μικρότερη σημειώθηκε τους φθινοπωρινούς μήνες σύμφωνα με τις μετρήσεις τηλεμετρικού σταθμού κατά τη διάρκεια ενός έτους (2002-2003) (Μαρολιάκος 2003).

Οι καταγραφές έδειξαν ότι ο συσχετισμός των παραμέτρων του μικροκλίματος καθίσταται σε αρκετές περιπτώσεις δυσμενής για τη διατήρηση των λίθων του θεάτρου. Ενδιαφέρον είναι το στοιχείο ότι στην ορχήστρα η σχετική υγρασία (RH), σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές, συστηματικά βρίσκεται 5% υψηλότερη σε σχέση με τις τιμές που καταγράφονται τόσο ανατολικά όσο και δυτικά. Ανάμεσα στα δύο άκρα (ανατολικό, δυτικό) παρατηρούνται διαφορές που μπορούν ενδεχομένως να συσχετιστούν με την καλύτερη διατήρηση της δυτικής πλευράς του κοίλου. Αντίστοιχες διακυμάνσεις ακολουθεί και η θερμοκρασία. Γενικά ο ρόλος του νερού είναι καθοριστικός για τη διατήρηση του δομικού υλικού καθώς η συχνότητα





εμφάνισης των κλιματικών φαινομένων που σχετίζονται με αυτό, δηλ. ο παγετός και η βροχόπτωση, είναι αρκετά συχνή (Γαλανού και Δογάνη 2003). Το πρόβλημα είχε άλλωστε επισημανθεί ήδη από την αρχαιότητα κατά την κατασκευή του θεάτρου, όπως υποδεικνύει ο αγωγός υδάτων στην ορχήστρα.

### 1.2.2.3 Υλικά δομής

Κατά τον Δάκαρη στη Δωδώνη έχει χρησιμοποιηθεί ο ντόπιος φλύσχης (ψαμμιτόλιθος) με φαιοπράσινο χρώμα ο οποίος εγκαταλείφθηκε κατά την οικοδομική φάση του τέλους του 3<sup>ου</sup> αι. π.Χ. εξαιτίας της ευαισθησίας του στις καιρικές συνθήκες και έκτοτε προτιμήθηκε ο καλής ποιότητας ντόπιος ασβεστόλιθος (Δάκαρης 1960).

Σχετικά πρόσφατες ειδικές αναλύσεις (Θεουλάκης 2005) έχουν επιβεβαιώσει ότι για την κατασκευή του θεάτρου έχουν χρησιμοποιηθεί δύο είδη ασβεστολίθου. Και τα δύο έχουν ιζηματογενή προέλευση και είναι παρόμοια από πετρολογική άποψη, ωστόσο εμφανίζουν διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Στο σύνολο σχεδόν του μνημείου εντοπίζεται ο μικριτικός υπόλευκος ασβεστόλιθος, ενώ στην περιοχή των παρόδων, της σκηνής αλλά και σε ορισμένα εδώλια συναντάται, σε μικρότερο ποσοστό, ο φαιός ασβεστόλιθος (Στυψιανού κ.ά. 2001). Ο υπόλευκος ασβεστόλιθος παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ασυνέχεια λόγω της παρουσίας οριζόντιων και κατακόρυφων στηλολίθων καθώς και εγκλεισμάτων κερατολίθου με τη μορφή κονδύλων και φακών, και έχει χρησιμοποιηθεί κατά κανόνα με τη στρώση και τους στηλόλιθους σε οριζόντια διάταξη. Οι λίθοι των εδωλίων τοποθετήθηκαν με τρόπο ώστε στην επιφάνειά τους να εμφανίζεται μία λεπτή στρώση κερατολίθου πάχους 1-1,5 εκ. Η επιλογή του συγκεκριμένου τρόπου δόμησης ενδεχομένως έγινε όχι μόνο επειδή προσέφερε τη δυνατότητα για την ευχερέστερη διαμόρφωση των λίθων αλλά και για λόγους προστασίας της ευπαθέστερης ασβεστιτικής μάζας, επειδή ο κερατόλιθος έχει μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη διάβρωση, καθώς και για την επίτευξη χρωματικής ομοιογένειας (Πλιάκου και Σμύρης 2012, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).

Ας σημειωθεί ότι στους δόμους των αρχικών αναλημμάτων χρησιμοποιήθηκε λίθος καλύτερης ποιότητας, ενώ αντίθετα στους αναλημματικούς τοίχους των



παρόδων ο λίθος είναι χαμηλής ποιότητας με πολυσχιδείς ρωγμές και φολιδοποίηση όλης της επιφάνειάς τους που διατρέχεται από στηλόλιθους (Θεουλάκης 2005). Οι λίθοι των εδωλίων, οι μεγάλων διαστάσεων συμπαγείς λίθοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για τις πλάκες των διαδρόμων και οι πλακοειδείς λίθοι, που προέρχονται από τη λάξευση για τη διαμόρφωση του βραχώδους υποστρώματος του κοίλου, ορυκτολογικά ανήκουν στην ίδια κατηγορία (Πλιάκου και Σμύρης 2012).

Ο τρόπος εξόρυξης και δόμησης των λίθων σχετίζεται πλήρως με τη στρώση του πετρώματος. Κυρίαρχο ρόλο φαίνεται ότι είχε η ευκολία λάξευσης και η ταχύτερη εξόρυξη σε ογκολίθους σχετικά μικρού μεγέθους, καθώς και η εκμετάλλευση του λεπτού στρώματος κερατολίθου. Τα λατομεία, από όπου προέρχεται ο ασβεστόλιθος, έχουν εντοπιστεί σε περιοχή βόρεια του Ιερού. Η θέση αυτή σημειώνεται σε γεωλογικό χάρτη της περιοχής και φαίνεται να εμπίπτει στο σχηματισμό των «υπολιθογραφικών και μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων του Παλαιόκαινου-Ηώκαινου με στοιχεία Κρητιδικού της ζώνης Γαβρόβου» (Αντωνίου 2005, 2006).

### ***Ο υπόλευκος ασβεστόλιθος***

Ο συμπαγής και μικροκρυσταλλικός αυτός λίθος ιζηματογενούς προέλευσης αποτελείται από μικροαπολιθώματα συγκολλημένα μεταξύ τους με ελάχιστο κρυπτοκρυσταλλικό ασβεστίτη. Περιέχει αρκετά φλεβίδια μαύρου αδιαφανούς ορυκτού (οξειδία σιδήρου και τιτανίου), δευτερογενή φλεβίδια από ελαφρώς πιο αδρόκοκκο ασβεστίτη και παράλληλες τριχοειδείς ρωγμές οι οποίες εμπεριέχουν λεπτό στρώμα αργλικών ορυκτών, όπως ιλίτη και μοντμοριλλονίτη καθώς επίσης και ελάχιστα φυλλάρια βοιωτίτη. Οι λεπτοί κόκκοι ασβεστίτη, που απαντώνται στις μικρορωγμές, έχουν αναπτυχθεί δευτερογενώς με υλικό το οποίο έχει διαλυθεί από την κύρια μάζα του πετρώματος σχηματίζοντας πολυσχιδές δίκτυο αποκρυσταλλωμένου ανθρακικού ασβεστίου «σπαρίτη». Σε ορισμένες θέσεις (πιθανώς οριζόντες) του πετρώματος ο αριθμός των μικροαπολιθωμάτων ελαττώνεται και αυξάνεται σημαντικά το ποσοστό του ενδιάμεσου κρυπτοκρυσταλλικού ασβεστιτικού υλικού<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Γαλανού και Δογάνη 2003, σε ελεύθερη σύνοψη της γνωμάτευσης: Πετρογραφική εξέταση 3 δειγμάτων από τη Δωδώνη. Γνωμάτευση Ν°. 6091, 4/3/03 (2003). Εκπονήθηκε στο Ι.Γ.Μ.Ε. από τον Ι. Κατσίκη.



### **Ο φαιός ασβεστόλιθος**

Ο λίθος αυτός είναι κλαστικής ιζηματογενούς προέλευσης και από πετρολογική άποψη θεωρείται ότι είναι παρόμοιος με τον υπόλευκο και πιθανότατα να πρόκειται για άλλον ορίζοντα του ίδιου πετρώματος. Περιέχει όμως περισσότερο κρυπτοκρυσταλλικό ασβεστίτη μεταξύ των απολιθωμάτων, ενώ αρκετοί κόκκοι έχουν κλαστική ιζηματογενή προέλευση προσδίδοντας στο πέτρωμα την κοκκώδη υφή. Η φαιά απόχρωσή του οφείλεται στη μεγαλύτερη περιεκτικότητά του σε αδιαφανή σιδηρούχα ορυκτά (ό. π., σημ. 5).

### **Ο ψαμμίτης**

Ο φαιοκάστανος ασβεστιτικός ψαμμίτης περιέχει ασβεστιτικό συνδετικό υλικό (~30% κ.ο.) και ~70% κλαστικούς κόκκους χαλαζία, πλαγιόκλαστων και ασβεστίτη. Κατά τόπους εμφανίζονται διάσπαρτα αδιαφανή οξειδία μεταλλικών ορυκτών. Η εξέταση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης έδειξε ότι υπάρχουν ελάχιστοι πόροι διαμ. 10 μμ. Φθορές μπορεί να προκληθούν από την ύπαρξη μικρών πόρων και μικρορωγμών στους κόκκους των πλαγιόκλαστων, την ύπαρξη του εξαλλοιωμένου σιδηρομαγνησιούχου ορυκτού και τέλος πιθανόν από την ανομοιογένεια του συνδετικού υλικού (ό. π., σημ. 5).

#### **1.2.2.4 Η φθορά των λίθων**

Σημαντικά στοιχεία για τη φθορά του αρχαίου θεάτρου, στην οποία ενδεχομένως συνέβαλλε κάποια βίαιη καταστροφή από σεισμό ή ανθρώπινη δραστηριότητα, ήταν η απώλεια μεγάλου μέρους της έδρασης των λίθων των εδωλίων, η διατάραξη των τεχνητών αποστραγγίσεων, η υποχώρηση του χωμάτινου εν μέρει υποστρώματος, η δράση της χλωρίδας και κυρίως οι ακραίες καιρικές συνθήκες. Η κύλιση των εδωλίων και η κατάρρευση των μεγάλων αναλημματικών τοίχων, που συμπαρέσυραν και τις αντίστοιχες επιχώσεις, ολοκλήρωσαν την καταστροφή. Επίχωση άνω των 3 μ. είχε καλύψει την ορχήστρα και τη σκηνή πριν από τις πρώτες ανασκαφές του Καραπάνου και είχε μετατρέψει την περιοχή σε αγρό.

Οι πρώτοι ανασκαφείς παρατήρησαν, εκτός των άλλων, απώλεια ασβεστιτικής μάζας κάτω από τον κερατόλιθο. Η καταστροφή του κοίλου του θεάτρου ήταν τόσο έντονη ώστε ο Καραπάνος αντιμετώπισε μία συγχευμένη λίθινη μάζα (βλ. εικ. 6) με αποτέλεσμα να μπορέσει να υπολογίσει μόνο 49 σειρές εδωλίων έναντι των 57 και μόνο έναν ενδιάμεσο διάδρομο αντί για δύο (Carapanos 1878). Ο Ευαγγελίδης



σημειώνει ότι «τα εδώλια έχουν κατολισθήσει (εκτός τμήματος μικρού της Δ. πλευράς) εκ της αρχικής των θέσεως και έχει αποσαθρωθεί το υπόβαθρον αυτών εξ ασβεστολίθου κατεσκευασμένον» (Ευαγγελίδης 1955).



Εικ.6: Τα ερείπια της Δωδώνης (Carapanos 1878, πίν. IV).

Κατά τον Δάκαρη η φθορά της βάσης των εδωλίων οφείλεται κυρίως στην ποιότητα του ασβεστολίθου ο οποίος υπόκειται σε αποσάθρωση καθώς προσβάλλεται από την υγρασία του εδάφους και τον πάγο κατά τον χειμώνα. Εξαιτίας αυτού το ανώτερο δυτικό μισό τμήμα του κοίλου, που είναι στραμμένο προς τα ανατολικά και νότια και ως εκ τούτου είναι περισσότερο προφυλαγμένο από την υγρασία, διατηρείται καλύτερα αν και τα εδώλια έχουν και εδώ μετακινηθεί (βλ. εικ. 7).

Επειδή η αποσάθρωση της βάσης των εδωλίων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του αρχικού τους ύψους (0,38 μ.) κατά 0,10-0,15μ., το απολεσθέν ύψος συμπληρώθηκε από τον Δάκαρη κατά την αναστύλωση του 1959 με την προσωρινή τοποθέτηση αργών λίθων κάτω από τα εδώλια (Δάκαρης 1960).





*Εικ. 7:* Άποψη του θεάτρου της Δωδώνης κατά τη διάρκεια των ανασκαφών 1959.

Οι μορφές φθοράς, που παρατηρούνται στα δομικά υλικά του θεάτρου, συνοπτικά είναι: αμβλύνσεις των επιφανειακών λεπτομερειών, διακλάσεις/ρωγμές, αποφλοιώσεις, απολεπίσεις, θραύσεις, κατακερματισμοί, αποκολλήσεις, απώλεια υλικού και επιφανειακή χρωματική αλλοίωση που οφείλεται στην επιφανειακή εγκατάσταση επιλιθικών μικροοργανισμών κ.λπ. Η απομείωση των δομικών υλικών άλλοτε είναι εμφανής και άλλοτε μετράται κατ' εκτίμηση. Υπολογίζεται ότι ήταν της τάξης 5-7 χιλ., εκτός από επιφάνειες, όπου λόγω της θέσης τους, η διαβρωτική δράση της βροχής ήταν εντονότερη, και αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για τις σύγχρονες χαράξεις της ακριβούς γεωμετρίας του θεάτρου (Γαλανού και Δογάνη 2003).

Η αποσάθρωση στον υπόλευκο ασβεστόλιθο αποδίδεται στην ανομοιογένειά του καθώς τα διαφορετικά συστατικά συμπεριφέρονται και με διαφορετικό τρόπο με την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών και ιδιαίτερα του νερού. Τάσεις και διάρρηξη στο λίθινο ιστό προκαλούνται από την ικανότητα να απορροφούν νερό και να διογκώνονται τα αργιλικά ορυκτά τα οποία βρίσκονται τόσο στις στρώσεις του λίθου όσο και διάσπαρτα στη μάζα του και σε άλλες μικρορωγμές. Τα κατεξοχήν ορυκτά με διογκούμενο πλέγμα είναι αυτά της ομάδας του μοντμοριλλονίτη, ενώ και ο ιλίτης μπορεί υπό ορισμένες συνθήκες να αποκτήσει περιορισμένες διογκωτικές ικανότητες. Παράλληλα, από την ύπαρξη κόκκων ασβεστίτη στα διάκενα συνάγεται ότι ακόμα και σε υγιή τεμάχια έχει αρχίσει η διαδικασία διάβρωσης πιθανότατα πριν από την εξόρυξή τους. Ο κερατόλιθος επίσης, ενώ είναι σκληρός και δεν προσβάλλεται από το νερό της βροχής, έχει την τάση λόγω της διαφορετικής



συμπεριφοράς του στις θερμοκρασιακές διαφορές, είτε να αποκολλάται, όταν πρόκειται για επιφανειακές στρώσεις, είτε να ασκεί τάσεις στη μάζα του λίθου όταν βρίσκεται σε εγκλείσματα (βλ. παραπάνω σημ. 5).

Η διάκριση των μηχανισμών φθοράς ανάλογα με το χαρακτήρα τους παριστάνεται στον πίν. 1 (Μαριολάκος 2003, πίν. 4):

*Πίνακας 1: Διάκριση μηχανισμών φθοράς ανάλογα με το χαρακτήρα τους.*

Φυσικομηχανικό	Δράση του παγετού
	Ρόφηση νερού
	Διόγκωση των αργιλοπυριτικών φλεβών
	Έκπλυση εξαλλοιωμένου αργλικού υλικού
	Κυκλικές θερμοκρασιακές μεταβολές
Χημικό	Διάλυση του $\text{CaCO}_3$ από το νερό της βροχής
	Χημική εξαλλοίωση των αργίλων
	Ανακρυστάλλωση $\text{CaCO}_3$
Βιολογικό	Ανάπτυξη μικροοργανισμών (επιλιθικών, χασμολιθικών, ενδολιθικών)
	Χηλικοποίηση $\text{Ca}^{2+}$
	Συγκράτηση νερού, άσκηση μηχανικών τάσεων

#### 1.2.2.5 Ιστορικό των επεμβάσεων

Οι συνεχείς προσχώσεις του Τόμαρου κάλυψαν τα ερείπια του Ιερού της Δωδώνης. Ωστόσο από τον 18<sup>ο</sup> αι. ευρωπαίοι μελετητές και περιηγητές άρχισαν να αναζητούν τη θέση του Ιερού της Δωδώνης, όπως οι Hughes, Holland, Rouqueville, Leak, Wordsworth και έλληνες λόγιοι όπως ο Αραβαντινός και ο Λαμπρίδης. Ο Lincoln πρώτος το 1832 και έπειτα ο Wordsworth εντόπισαν τη σωστή θέση του Ιερού. Το 1875 ο Καραπάνος με άδεια των τοπικών αρχών και της τουρκικής πύλης άρχισε έρευνες στην περιοχή, που επιβεβαίωσαν τη θέση του Ιερού της Δωδώνης. Κατά τις ανασκαφές του Καραπάνου αποκαλύφθηκαν πλούσια αναθήματα, επιγραφές, ψηφίσματα και ποικίλα ευρήματα που δημοσιεύθηκαν το 1878 στο Παρίσι σε δύο τόμους: «Dodone et ses ruines». Το 1899 οι προσχώσεις συνέχιζαν να καλύπτουν το Ιερό και ο Schiff παρατήρησε ότι το περίγραμμα των κτηρίων δεν ήταν ορατό και το θέατρο καλυπτόταν από αγρούς. Το 1913 γίνεται μικρή ανασκαφική



έρευνα από τον Σωτηριάδη, ενώ το 1921 ο Ευαγγελίδης αναλαμβάνει την έρευνα στο Ιερό, την οποία συνεχίζει στα 1929-32 και κυρίως μετά το 1950 έως το θάνατό του το 1959. Τα τελευταία χρόνια συνεργάζεται μαζί του ο Δάκαρης, ο οποίος θεωρείται έκτοτε και ο βασικός ερευνητής και μελετητής του Ιερού της Δωδώνης. Ο Δάκαρης, μετά το θάνατο του Ευαγγελίδη, συνεχίζει, με μικρά μόνο διαλείμματα, γενικότερα την έρευνα στη Δωδώνη έως το θάνατό του το 1996, με δαπάνες της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας και του Παν/μίου Ιωαννίνων. Κατά την επόμενη δεκαετία η ανασκαφική έρευνα διεξάγεται από τις συνεργάτριές του Χρ. Σούλη, Α. Βλαχοπούλου και Κ. Γραβάνη και αποσκοπεί στην ολοκλήρωση της ανασκαφής του Πρυτανείου και την αποκάλυψη της Δ. Στοάς του Ιερού (Γραβάνη 2007, Γραβάνη κ.ά. 2014, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία). Από το 2000 κ. εξ. συνεχίζονται σημαντικές εργασίες αποκατάστασης του Ιερού της Δωδώνης από την Επιστημονική Επιτροπή Δωδώνης και τη ΙΒ΄ Ε.Π.Κ.Α.(Σμύρης 2014, Σκαλιστή και Γεωργούλας 2014).

Οι πρώτοι ανασκαφείς Καραπάνος, Ευαγγελίδης και Δάκαρης αντιμετώπισαν μία εικόνα βίαιης καταστροφής του θεάτρου από ανθρώπινο χέρι (βλ. εικ. 8).



Εικ.8: Άποψη του θεάτρου της Δωδώνης πριν την αναστήλωση του 1959.

Ήδη το καλοκαίρι του 1959 ο Δάκαρης ανέσκαψε το κοίλο και την ορχήστρα του θεάτρου μέχρι τη στάθμη του φυσικού βράχου, αποκάλυψε ολόκληρη τη σκηνή και τις παρόδους και απελευθέρωσε από τις επιχώσεις τα περιμετρικά αναλήμματα με τους επιβλητικούς πύργους. Το φθινόπωρο του ίδιου έτους ολοκληρώθηκε η πλήρης αποχωμάτωση και απομακρύνθηκαν από τον αρχαιολογικό χώρο τα χώματα των ανασκαφών. Την επόμενη χρονιά σε μια μεγάλη προσπάθεια αναστήλωσης του θεάτρου συντελέστηκε, όπως σημειώνει ο ανασκαφέας, «κατόπιν εντολής της υπηρεσίας Αρχαιοτήτων και Αναστηλώσεως του Υπουργείου Προεδρίας, η προσωρινή τοποθέτηση των εδωλίων εις τα δύο κατώτερα διαζώματα και των αναβαθμών 10 κλιμάκων» (Δάκαρης 1960). Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας είναι η διαμόρφωση της σύγχρονης εικόνας του θεάτρου το οποίο έκτοτε και έως το 1999 φιλοξένησε σύγχρονες θεατρικές παραστάσεις.

Κατά την αναστήλωση του θεάτρου από τον Δάκαρη το 1959-60 (Δάκαρης 1960), εκτός από την τακτοποίηση των εδωλίων με την προσωρινή τοποθέτηση επάνω σε αργούς λίθους των λίθων που είχαν απολέσει το αρχικό ύψος τους, αποκαταστάθηκαν οι ελάχιστοι ορθοστάτες του στηθαίου στο πρώτο διάζωμα και αργότερα τοποθετήθηκαν τα δύο ή τρία επιθήματα. Για την τοποθέτηση των εδωλίων ήταν αναγκαία μερική οριζοντιοποίηση του κεκλιμένου χωμάτινου υποστρώματος. Τα κενά του στηθαίου συμπληρώθηκαν με νέους ορθοστάτες οι οποίοι τοποθετήθηκαν χωρίς κοίλανση της όψης τους για να διαφοροποιηθούν τα αρχαία μέλη από τις συμπληρώσεις (Χαρίσης 2010). Σχετική χρωματική ομοιογένεια των αρχαίων και των νέων μελών, για τα οποία χρησιμοποιήθηκε ντόπιος ασβεστόλιθος, παρόμοιας περίπου σύστασης με τον παλιό, έχει επέλθει εξαιτίας της γήρανσης του υλικού με την πάροδο αρκετών ετών. Συγκολλήθηκαν επίσης από τον γλύπτη Τριάντη τα υπάρχοντα τεμάχια των ιωνικών ημικιονίων των προπύλων των δύο παρόδων και των ημικιονίων του λίθινου προσκηνίου και συμπληρώθηκε με τρεις νέους θολίτες η κορυφή της τοξωτής πύλης της σκηνής.

Η ακριβής περιγραφή των επεμβάσεων είναι σχεδόν αδύνατη εξαιτίας της συνεχιζόμενης φθοράς του υλικού που οδήγησε σε περαιτέρω απομειώσεις λόγω της παρόδου πολλών ετών (Κατσικούδης 2006). Ωστόσο, παρά τις επιμέρους ατέλειες, κρίνεται εντυπωσιακή η επανατοποθέτηση χιλιάδων αρχαίων λίθων σε ελάχιστο χρονικό διάστημα εξαιτίας της πίεσης για να διοργανωθούν πολιτιστικές εκδηλώσεις





στο αρχαίο θέατρο της Δωδώνης και η επιμονή να διαφυλαχτεί το αρχαίο υλικό (Πλιάκου και Σμύρης 2012).

Στο θέατρο, μετά την εντυπωσιακή αναστηλωτική προσπάθεια του 1959, ακολούθησαν εργασίες αποκατάστασης που περιελάμβαναν στερεωτικές εργασίες στους αναλημματικούς τοίχους με αναστηλώσεις του εγκατάσπαρτου υλικού, καθαιρέσεις και ανακατασκευές των τοιχοποιιών καθώς και συμπληρώσεις με νέο λίθο, ενώ τα εδώλια αναδιατάχθηκαν.

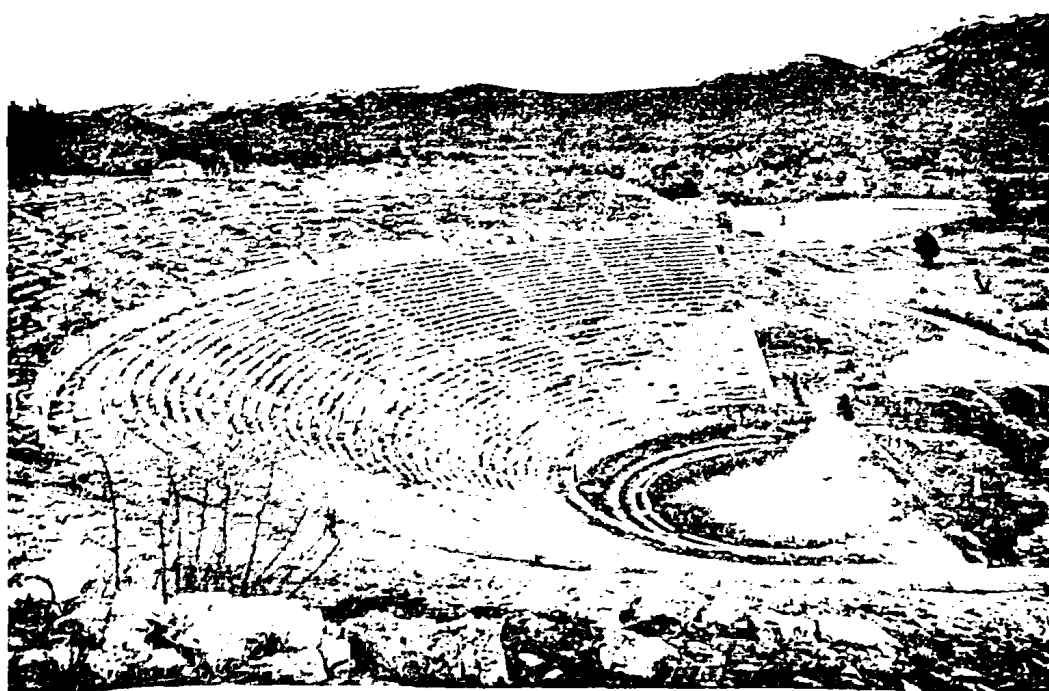
Έως το 1965 συνεχίστηκαν από τον Δάκαρη (Δάκαρης 1961/62· Δάκαρης 1963· Δάκαρης 1964· Δάκαρης 1965) στον ανατολικό αναλημματικό τοίχο αναστηλωτικές επεμβάσεις με τη μελέτη και επίβλεψη του Χαρίση (Χαρίσης 2010). Σε αυτό το στάδιο εργασιών φαίνεται ότι εντάσσεται και η μικρής κλίμακας αποκατάσταση μέρους των ακραίων τμημάτων των νότιων αναλημματικών τοίχων του κοίλου που αντιστοιχούν στις παρόδους (Πλιάκου και Σμύρης 2012). Οι επεμβάσεις στο νότιο δυτικό πύργο και σε τμήματα του δυτικού αναλήμματος και της δυτικής παρόδου από το 1966 ολοκληρώθηκαν το 1973 (Δάκαρης 1966, 1973). Χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχος λευκός ασβεστόλιθος άγνωστης προέλευσης, αλλά με όμοια πετρογραφική σύνθεση και αρκετά ομοιογενής χωρίς εγκλείσεις κερατολίθου. Ωστόσο, παρά τη σταδιακή χρωματική ομογενοποίηση η επέμβαση είναι ορατή. Παράλληλα, στα δύο εξωτερικά κλιμακοστάσια, που διευκόλυναν την κίνηση των θεατών κατά τη σύγχρονη λειτουργία του θεάτρου, προστέθηκαν βαθμίδες από πλακοειδείς ημίεργους λίθους (Πλιάκου και Σμύρης 2012).

Την ίδια περίοδο έγιναν επεμβάσεις στο επιθέατρο (Βοκοτοπούλου 1973), ενώ κατά τα έτη 1974-75 έγιναν μικροστερεώσεις στα κατώτερα μέλη του κοίλου, διευθετήσεις των ορθοστατών του δευτέρου διαζώματος, εργασίες στήριξης αναλήμματος του ανατολικού εξωτερικού κλιμακοστασίου και αναστήλωση του ανατολικού αναλήμματος της «ανατολικής επιχώσεως» με επανατοποθέτηση των αρχαίων πεσμένων λίθων (Βοκοτοπούλου 1975).

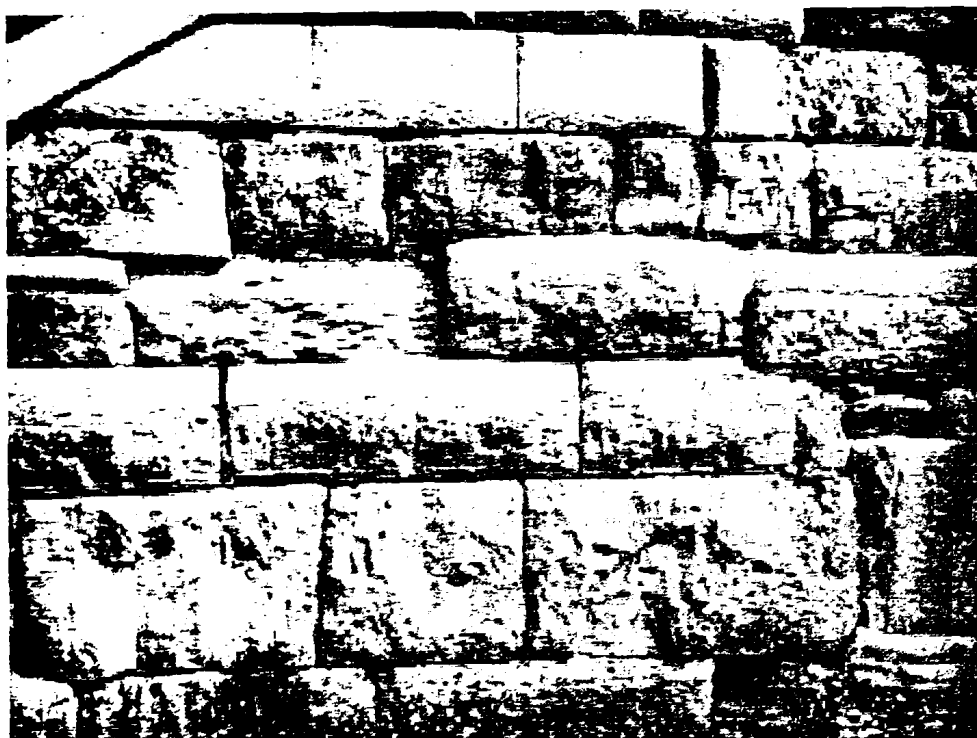
Από το 2000 έως το 2007, με απόφαση του ΥΠ.ΠΟ., η «Αποκατάσταση του αρχαίου θεάτρου και των άλλων μνημείων του ιερού της Δωδώνης» συμπεριλαμβάνεται στον κατάλογο των έργων που εκτελούνται μέσω του Ταμείου Διαχείρισης Πιστώσεων για την Εκτέλεση Αρχαιολογικών Έργων με χρηματοδότηση από κοινοτικές επιχορηγήσεις και εθνική συμμετοχή (Νακάσης 2006). Η συνέχιση



των εργασιών αποκατάστασης ολόκληρης της κατώτερης ζώνης του κοίλου έχει ενταχθεί στο Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς (ΕΣΠΑ). Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών (Κατσούδας 2014) και η συνεχώς διευρυνόμενη διεπιστημονική προσέγγιση προσέφερε νέες δυνατότητες στην έρευνα και διάσωση του μνημείου. Το πιλοτικό πρόγραμμα συνεχίζεται με την ολοκλήρωση των εργασιών αποκατάστασης της δεύτερης και τρίτης ανατολικής κερκίδας και είναι σε εξέλιξη η επέμβαση στην τέταρτη κερκίδα του κάτω διαζώματος (βλ. εικ. 9, 10). Με χρονικό ορίζοντα το 2015 προγραμματίζεται η ολοκλήρωση των εργασιών στο μεγαλύτερο τμήμα του πρώτου διαζώματος του αρχαίου θεάτρου. Η μελέτη της αποκατάστασης των υπόλοιπων κερκίδων της πρώτης ζώνης του κοίλου εκπονείται τμηματικά από το Γραφείο Στήριξης του Έργου με την επίβλεψη της Επιστημονικής Επιτροπής Δωδώνης (Πλιάκου και Σμύρης 2012, Σκαλιστή και Γεωργούλας 2014).



*Εικ.9:* Άποψη του θεάτρου της Δωδώνης όπου διακρίνεται η πιλοτική αποκατάσταση των δύο ακραίων ανατολικών κερκίδων.



*Εικ.10:* Λεπτομέρεια πιλοτικής εφαρμογής αποκατάστασης ακραίου ανατολικού αναλημματικού τοίχου του θεάτρου της Δωδώνης.

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Το μέγεθος της φθοράς και η προχωρημένη κατάσταση αποσάθρωσης εξ αιτίας διάφορων παραγόντων, στην οποία βρίσκεται μεγάλος αριθμός λίθινων αρχιτεκτονικών μελών του αρχαίου θεάτρου της Δωδώνης, θέτει τον προβληματισμό της επαναχρησιμοποίησης ή όχι του σωζόμενου υλικού. Εάν επιλεγεί η πρώτη περίπτωση σημαντικό θέμα επιστημονικής συζήτησης αποτελεί η ποιότητα και η αποτελεσματικότητα των υλικών συντήρησης που θα χρησιμοποιηθούν για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση του αρχαίου λίθου.

Η σωστή αντιμετώπιση του παραπάνω προβληματισμού δεν είναι μονοσήμαντη. Απαιτεί αποτίμηση της κατάστασης διατήρησης του λίθου (ακεραιότητα, αντοχή και ικανότητα αντίστασης στους διαβρωτικούς παράγοντες), καθώς επίσης και τον προσδιορισμό των ελάχιστων ορίων αντοχής που θα αποκτήσει ο λίθος μετά τις εργασίες συντήρησης. Ας σημειωθεί ότι η συντήρηση και η ένταξη ενός αυθεντικού λίθου στο αρχαίο θέατρο αντιμετωπίζει και άλλα θέματα, όπως π.χ. της διατήρησης όσο το δυνατόν περισσότερου αυθεντικού υλικού στο μνημείο, ή της συμμόρφωσης των επεμβάσεων συντήρησης με τους κανόνες δεοντολογίας. Επομένως η εφαρμογή συγκεκριμένων επεμβάσεων και τεχνικών λύσεων δεν είναι απεριόριστη.

Για τη σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος θα πρέπει να ληφθούν ταυτόχρονα υπόψη και τα μειονεκτήματα της επανατοποθέτησης του αρχαίου λίθου. Αυτά σχετίζονται π.χ. με την απαιτούμενη δαπάνη χρόνου και εργασίας, με τον κίνδυνο σοβαρής φθοράς ή και οριστικής απώλειας που μπορεί να προκληθεί από την εκ νέου έκθεση του αυθεντικού λίθου, ή με μια εντατική και αναπόφευκτα μη αντιστρεπτή επέμβαση συντήρησης.

Η επέμβαση στο δομικό υλικό για λόγους συντήρησης και διατήρησης αποβλέπει στους εξής επί μέρους στόχους:

1. Αποκατάσταση της ακεραιότητας και της συνοχής των λίθων. Αυτό γίνεται με την εξασφάλιση της απαιτούμενης αντοχής και μορφής προκειμένου να καταστεί δυνατή η διατήρησή τους στο κτήριο. Έτσι π.χ. η πλήρωση των



πάσης φύσεως ρωγμών δημιουργεί σαφώς ευνοϊκότερες προϋποθέσεις για την αντιμετώπιση των φυσικών αιτιών φθοράς (υγρασία, παγετός κ. λπ).

2. Επιφανειακή κατεργασία, με σκοπό την ενίσχυση της αντίστασης των λίθων έναντι της εισδύσεως νερού στο εσωτερικό τους (Θεουλάκης 2005).

Οι επεμβάσεις στερέωσης, που αποσκοπούν στην ορθή αποκατάσταση των αρχαίων μνημείων, προϋποθέτουν τη χρήση κονιαμάτων για: α) την πλήρωση των εσωτερικών κενών β) τη συγκόλληση γ) τη σφράγιση ρωγμών και αρμών συγκόλλησης και δ) τη συμπλήρωση. Τα υλικά αυτά πρέπει να είναι συμβατά με το υλικό του αντικείμενου, δηλ. οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες να είναι ίδιες ή τουλάχιστον παρόμοιες. Επίσης να είναι αντιστρεπτά, δηλ. να είναι δυνατή η απομάκρυνσή τους σε περίπτωση οποιασδήποτε πιθανής μελλοντικής εξέτασης, ανάλυσης ή επέμβασης. Με βάση τα παραπάνω εξαιρετικά σημαντικό θέμα για την επιτυχία των εργασιών συντήρησης αποτελεί η ποιότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών συντήρησης και κυρίως των κονιαμάτων.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία δημιουργήθηκαν νέα πειραματικά κονιάματα συντήρησης με απώτερο στόχο τη σύγκρισή τους με τα ήδη χρησιμοποιηθέντα κονιάματα για τη συντήρηση και αποκατάσταση του αρχαίου λίθου των εδωλίων του θεάτρου της Δωδώνης (μελέτη Γαλανού και Δογάνη 2003).

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού απαιτήθηκαν συγκεκριμένες πειραματικές πρακτικές. Για να επιτευχθεί η συμβατότητα των μετρήσεων και να είναι ακριβή τα αποτελέσματα των μετρήσεων και άμεσα συγκρίσιμα παρασκευάστηκαν δοκίμια με βάση τη σύνθεση των ήδη εφαρμοσθέντων και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά με εντελώς διαφορετικές αναλογίες.

Ακολούθησε ο εργαστηριακός έλεγχος της ποιότητας των πειραματικών κονιαμάτων με τη χρήση διάφορων δοκιμών, όπως κάμψης, θλίψης, υδατοαπορροφητικότητας, καθώς και υπολογισμού των ανοιχτών πόρων, του πορώδους και του φαινόμενου ειδικού βάρους.



## 2.2 Σύνθεση των εφαρμοσθέντων υλικών συντήρησης

Οι επεμβάσεις στερέωσης, που αποσκοπούν στην ορθή αποκατάσταση των αρχαίων μνημείων, προϋποθέτουν τη χρήση κονιαμάτων για: α) την πλήρωση των εσωτερικών κενών β) τη συγκόλληση γ) τη σφράγιση ρωγμών και αρμών συγκόλλησης και δ) τη συμπλήρωση.

Βασική προϋπόθεση για τη χρήση νέων υλικών είναι η σταθερότητά τους και η συμβατότητά τους με τα προϋπάρχοντα δομικά υλικά ώστε η συμπεριφορά τους να είναι παρεμφερής. Οι συνθέσεις ανόργανων κονιαμάτων, που εφαρμόζονται γενικότερα, έχουν απεριόριστη ποικιλία και βασίζονται στην ανάμειξη με διάφορες αναλογίες ενός συνδετικού υλικού και αδρανών. Ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται, ανάλογα με τις ειδικές κάθε φορά περιπτώσεις, είτε το λευκό τσιμέντο τύπου Portland είτε η υδραυλική άσβεστος.

Στον παρακάτω πίνακα (πίν. 2) παρουσιάζονται χαρακτηριστικές συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης ανά κατηγορία με βάση τα όρια αποδοχής των ιδιοτήτων ιστορικών κονιαμάτων<sup>6</sup>.

Στο θέατρο της Δωδώνης έχουν εφαρμοστεί δοκιμαστικά κονιάματα με βάση την υδραυλική άσβεστο που υπερτερεί σε σχέση με το λευκό τσιμέντο το οποίο προσδίδει υψηλές μηχανικές αντοχές στο κονίαμα, αλλά ενοχοποιείται ότι περιέχει διαλυτά άλατα που μπορούν να προκαλέσουν φθορά. Η υδραυλική άσβεστος περιέχει μικρότερη ποσότητα διαλυτών αλάτων, προσδίδει πλαστικότητα και στην περίπτωση των ενεμάτων βελτιώνει την ενεσιμότητα. Ωστόσο η χρήση της είναι προβληματική για τα συμπαγή υλικά καθώς παρουσιάζει πολύ χαμηλότερες μηχανικές αντοχές και εξαιτίας της υψηλής ποσότητας νερού, που απαιτείται, τα κονιάματα γίνονται πιο πορώδη και περατά σε ατμούς σε σχέση με τα αντίστοιχα σε τσιμέντο.

Η γενική αρχή που έχει επικρατήσει για τα αδρανή υλικά είναι ότι η επιλογή γίνεται με την λειοτρίβιση παρόμοιου υλικού με το αυθεντικό. Εκτός των άλλων προτάθηκε και η χρήση της χαλαζιακής άμμου επειδή παρέχει στα κονιάματα μεγαλύτερη αντοχή στον παγετό. Για τη βελτίωση επίσης της συμπεριφοράς των κονιαμάτων στον παγετό προτάθηκε η χρήση ειδικών πρόσθετων, όπως ρευστοποιητή και αερακτικού. Ο συνδυασμός αυτός χρησιμοποιήθηκε στο ένεμα, ενώ για τα υπόλοιπα κονιάματα χρησιμοποιήθηκε μόνο ο ρευστοποιητής.

<sup>6</sup> Αν. Μοροπούλου, 1.2.5.5. Κονιάματα και επιχρίσματα στην συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων Δ.Π.Μ.Σ. του ΕΜΠ «Προστασία Μνημείων» (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις).



Πίνακας 2: Χαρακτηριστικές συνθέσεις κονιαμάτων

Ασβεστιτικά κονιάματα	Υδράσβεστος (30%)	Άμμος 70%	-	-
	Υδράσβεστος 30%	Άμμος 31,5%	Κεραμίδι (38,5%)	-
	Υδράσβεστος (37%)	Λεπτή άμμος (63%)	-	-
Υδραυλικά κονιάματα	Υδραυλική άσβεστος (25)	Άμμος (75%)	-	-
	Υδραυλική άσβεστος (25%)	Άμμος (32%)	Κεραμίδι (43%)	-
	Υδραυλική άσβεστος (25%)	Λεπτή άμμος (75%)	-	-
	Υδραυλική άσβεστος (29%)	Κεραμίδι (70%)	Αερακτικό (1%)	-
Κονιάματα με ποζολανικά πρόσθετα	Υδράσβεστος (20%)	Κεραμάλευρο (10%)	Άμμος (70%)	-
	Υδράσβεστος (20%)	Κεραμάλευρο (10%)	Άμμος (31,5%)	Κεραμίδι (38,5%)
	Υδράσβεστος (20%)	Μηλαϊκή γη (10%)	Άμμος (70%)	
	Υδράσβεστος (20%)	Μηλαϊκή γη (10%)	Άμμος (31,5%)	Κεραμίδι (38,5%)
Κονιάματα σύγκρισης με ασβέστη-τσιμέντο	Υδράσβεστος (25%)	Τσιμέντο – ποζολάνη ΙΙ35 (5%)	Άμμος (70%)	-
	Υδράσβεστος (25%)	Τσιμέντο (5%)	Άμμος (31%)	Κεραμίδι (38%)
	Τσιμέντο (25%)	Άμμος (75%)		
	Υδράσβεστος (15%)	Τσιμέντο (15%)	Άμμος (70%)	

Οι συνθέσεις ενέματος, κονιάματος συγκόλλησης, σφράγισης και συμπλήρωσης, που εφαρμόστηκαν πιλοτικά στο θέατρο, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (πίν. 3-6) (Γαλανού και Δογάνη 2003).

Πίνακας 3: Συνθέσεις ενέματος.

α/α	Αδρανές	Συνδετικό	Αναλογία Σ:Α	Νερό Ν/Σ	Πρόσμικτο/Χρωστική
ΔΩν1	Μηλαϊκή γη	Chaux Blanche	3:1	1,0	CC71* CC91**
ΔΩν2	Μηλαϊκή γη	Λευκό τσιμέντο	3:1	0,80	CC71* CC91**



**Πίνακας 4:** Συνθέσεις κονιάματος συγκόλλησης.

α/α	Συνδετικό	Αδρανές	Αναλογία Σ:Α	Νερό Ν/Σ	Πρόσμικτο/Χρωστική
ΔΩτοπ	Chaux Blanche	Ασβεστολιθικό αδρανές	3:1	0,55	-
ΔΩσυ8	Λευκό τσιμέντο	¾ Silgrit M34 (90- 250 μ) ¼ Silicon M4 (1- 160μ)	1,25:1  5:4	0,60	CC91*
ΔΩσυ9	Chaux Blanche	¾ Silgrit M34 (90- 250 μ) ¼ Silicon M4 (1- 160μ)	1,25:1  5:4	0,60	CC91*
ΔΩσυ10	Λευκό τσιμέντο	Novocarb 120	1:1	0,625	CC91*

**Πίνακας 5:** Συνθέσεις κονιάματος σφράγισης.

α/α	Αδρανές	Συνδετικό	Αναλογία Σ:Α	Νερό Ν/Σ	Πρόσμικτο/Χρωστική
ΔΩσφρ5	2μ χαλαζιακή M31 (180-500μ) 1μ χαλαζιακή παιπάλη M4	Τσιμέντο	1:3	0,65	CC91 1%-Σ Σιέννα ωμή 2%-Σ Μαύρο 0,25%-Σ
ΔΩσφρ6	2μ χαλαζιακή M31 (180-500μ) 1μ χαλαζιακή παιπάλη M4	Τσιμέντο	1:3	0,65	CC91 1%-Σ Ωχρα Γαλλίας 2%-Σ Μαύρο 0,25%-Σ
ΔΩσφρ7	2μ χαλαζιακή M31 (180-500μ) 1μ χαλαζιακή παιπάλη M4	Τσιμέντο	1:3	0,65	CC91 1%-Σ Ωχρα Γαλλίας 2%-Σ Όμπρα ψημένη 0,25%-Σ Μαύρο 0,25%-Σ





Πίνακας 6: Συνθέσεις κονιαμάτων συμπλήρωσης.

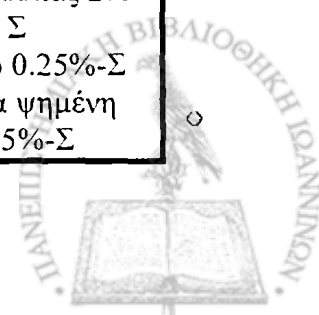
α/α	Αδρανές	Συνδετικό	Αναλογία Σ:Α	Νερό N/Σ	Πρόσμικτο/Χρωστική
ΔΩσφ1	1 και ¼ χαλαζιακή 1.5-2,5 ¾ μ Silgrit 0.8-1.8 1μ χαλαζιακή M31 180-500μ 1μ χαλαζιακή παιπάλη M4	Τσιμέντο	1:4	0,625 125ml	CC91 1%-Σ Σιέννα ωμή 2%-Σ Μαύρο 0,25%-Σ
ΔΩσφ2	1 και ¼ χαλαζιακή 1.5-2.5 ¾ μ Silgrit 0.8-1.8 1μ χαλαζιακή M31 180-500μ 1μ χαλαζιακή παιπάλη M4	Τσιμέντο	1:4	0,625 125 ml	CC91 1%-Σ Ωχρα Γαλλίας 2%-Σ Όμπρα ψημένη 0.25%-Σ Μαύρο 0,25%-Σ

### 2.3 Σύνθεση των πειραματικών κονιαμάτων συντήρησης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρασκευάστηκαν τέσσερις διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων. Με βάση τη σύνθεση της μελέτης Γαλανού και Δογάνη 2003 επιλέχθηκαν διαφορετικές αναλογίες πρώτων υλών και χρήση επιπλέον αδρανών πρόσθετων. Ουσιαστικά προστέθηκε επιπλέον χοντρόκοκκο αδρανές χαλαζιακό υλικό σε διάφορες αναλογίες. Οι τιμές τόσο των συνθέσεων των Γαλανού και Δογάνη 2003, όσο και της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζονται στους πίνακες 7 και 8.

Πίνακας 7: Συνθέσεις κονιαμάτων συμπλήρωσης (Γαλανού και Δογάνη 2003).

Αδρανές	Συνδετικό	Συνδετικό /Αδρανές	Νερό/ Συνδετικό	Πρόσμικτα Χρωστική
1 ¼ μέρη Χαλαζιακή 1,5-2,5 ¾ μέρη Silgrit 0.8-1,8 1 μέρος Χαλαζιακή M31 180-500μ 1 μέρος χαλαζιακή παιπάλη M4	Τσιμέντο	1:4	0,625 125 ml	CC 91 1%-Σ Σιέννα ωμή 2%-Σ Μαύρο 1%-Σ
1 ¼ μέρη Χαλαζιακή 1,5-2,5 ¾ μέρη Silgrit 0.8-1,8 1 μέρος Χαλαζιακή M31 180-500μ 1 μέρος χαλαζιακή παιπάλη M4	Τσιμέντο	1:4	0,625 125 ml	CC 91 1%-Σ Ωχρα Γαλλίας 2%- Σ Μαύρο 0.25%-Σ Όμπρα ψημένη 0.25%-Σ



Πίνακας 8: Συνθέσεις πειραματικών κονιαμάτων συμπλήρωσης. Η σύνθεση ΣΥΝ.4 είναι ίδια με τις συνθέσεις του πίνακα 7.

Υλικά	ΣΥΝ.1	ΣΥΝ.2	ΣΥΝ.3	ΣΥΝ.4
Μαζιακή 2-4	1/4	2/4	3/4	—
Μαζιακή 1,5-2,5	1	3/4	2/4	1 ¼
Ugrit 0,8-1,8	3/4	3/4	3/4	3/4
Μαζιακή M31 180-500 μ	1	1	1	1
Μαζιακή παιπάλη M4	1	1	1	1
σιμέντο	1	1	1	1

Αρχικά για την παρασκευή των κονιαμάτων ζυγίζονται οι πρώτες ύλες σε ζυγό ακριβείας και τοποθετούνται σε πλαστικές σακούλες (εικ. 11). Η αναλογία μεταξύ συνδετικού υλικού και αδρανούς είναι 1:4, ενώ χρησιμοποιείται νερό 625 ml και 10 gr CC91 το οποίο δρα ως συνδετικό υγρό.



Εικ. 11: Ζύγιση των πρώτων υλών και τοποθέτηση σε ξεχωριστές σακούλες.

Το βάρος για κάθε σύνθεση υπολογίζεται για εννιά δοκίμια ώστε να χρησιμοποιηθούν σε τρεις διαφορετικές δοκιμές. Στη συνέχεια, οι πρώτες ύλες κάθε

μιας σύνθεσης ανακατεύονται με ηλεκτροκίνητο αναδευτήρα για περίπου 10 min με την προσθήκη της κατάλληλης ποσότητας νερού και CC91, ώστε να γίνει η όσο το δυνατόν καλύτερη ανάμειξη των χοντρόκοκκων και λεπτόκοκκων πρώτων υλών (εικ. 12).



*Εικ. 12:* Χρήση ηλεκτροκίνητου αναδευτήρα για την καλύτερη ανάμειξη των πρώτων υλών.

Έπειτα οι ξύλινες μήτρες, που είχαν ήδη κατασκευαστεί με απόλυτη ακρίβεια διαστάσεων 4x4x16 cm και με λείες εσωτερικές επιφάνειες, γεμίζονται με το παραχθέν κονίαμα. Με μία μεταλλική ράβδο, την οποία εισάγουμε πολλές φορές στο κονίαμα κατά τη διάρκεια της πλήρωσης των μητρών, επιδιώκουμε την ομοιογένεια και την καλύτερη δυνατή συμπύκνωσή τους (εικ. 13). Οι μήτρες με τα κονιαμάτα σκεπάζονται με νωπό χαρτί και λινάτσα, ώστε να γίνει η όσο το δυνατόν καλύτερη ωρίμανση των κονιαμάτων (εικ. 14).

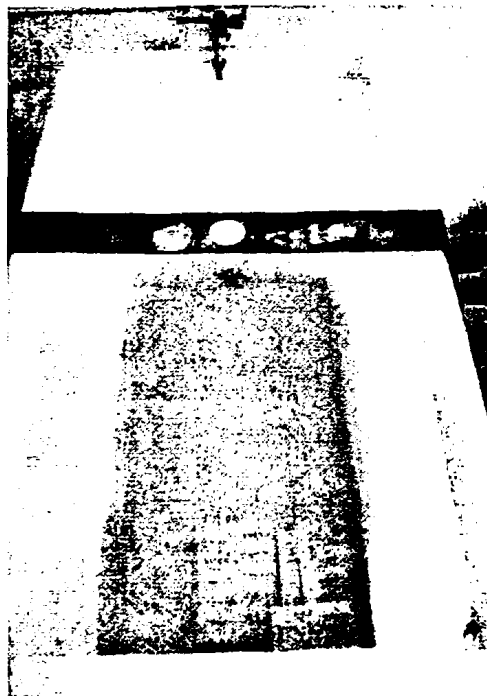


*Εικ. 13:* Πλήρωση των μητρών με κονίαμα.



*Εικ. 14:* Κάλυψη των κονιαμάτων με νωπό χαρτί και λινάτσα για την καλύτερη ενυδάτωσή τους.

Έπειτα από τρεις ημέρες τα κονιάματα αποκτούν αντοχή και αφαιρούνται οι μήτρες. Τα κονιάματα ακολούθως τοποθετούνται σε δεξαμενή συντήρησης όπου παρέμειναν για 28 ημέρες βυθισμένα μέσα σε νερό (εικ. 15) (Περδικάρης και Κάνος 2006).



*Εικ. 15:* Τα κονιάματα καλυμμένα πλήρως από νερό για την καλύτερη δυνατή ωρίμανσή τους.

## 2.4 Εργαστηριακός έλεγχος φυσικοχημικών ιδιοτήτων κονιαμάτων

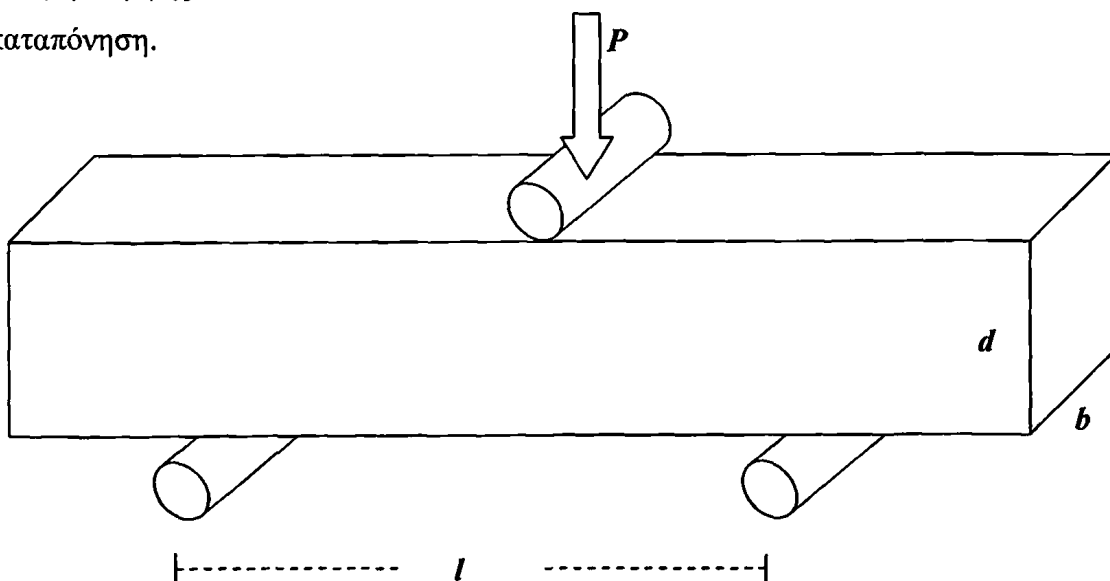
### 2.4.1 Αντοχή στην κάμψη

Ο προσδιορισμός της καμπτικής αντοχής των τεσσάρων συνθέσεων ελέγχθηκε από τρία πρισματικά δοκίμια για κάθε σύνθεση. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια κατάλληλων προτύπων διατάξεων για τον έλεγχο της καμπτικής αντοχής κονιαμάτων.

Η καμπτική καταπόνηση που πραγματοποιείται μέσω αυτής της δοκιμής είναι κάμψη τριών σημείων με αποτέλεσμα οι αναπτυσσόμενες ορθές τάσεις να δίνονται όπως προκύπτει εύκολα από τον τύπο (Σωτηροπούλου κ.ά. 2008):

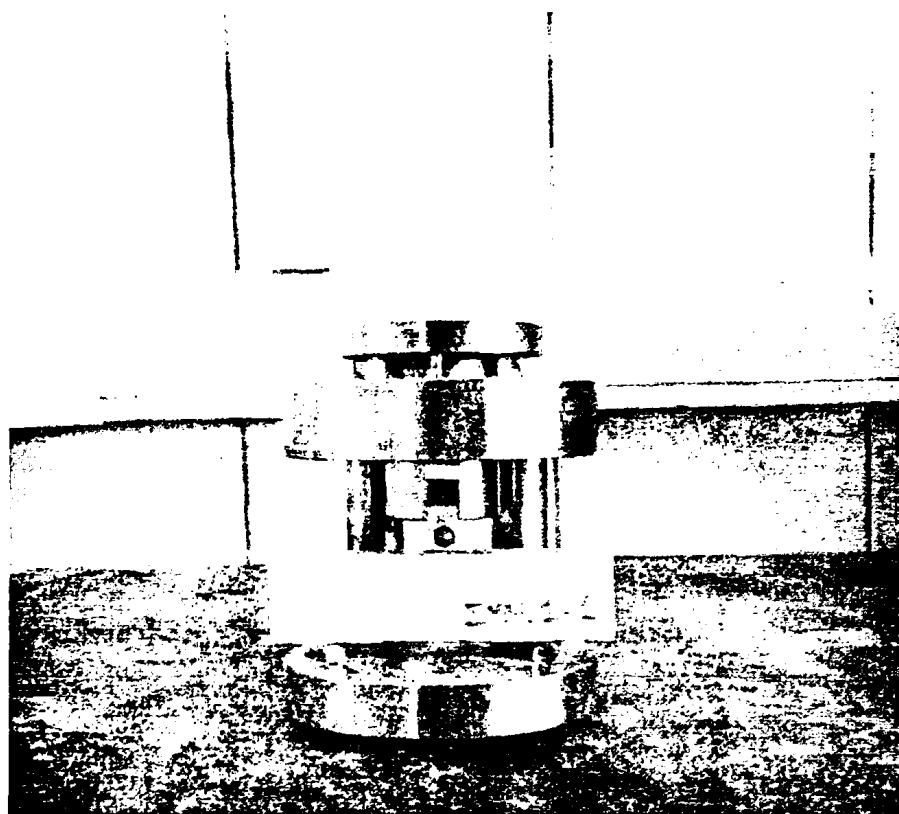
$$\sigma = 1,5 \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot d^2}$$

όπου  $P$  το επιβαλλόμενο φορτίο,  $l$  το μήκος ανάμεσα στα σημεία στήριξης του δοκιμίου (ίσο με 10 cm) και  $b$  και  $d$  η βάση και το ύψος των πρισματικών δοκιμίων τα οποία ισούνται με 4 cm. Ως εφελκυστική αντοχή σε κάμψη προκύπτει η προσδιοριζόμενη από τον ως άνω τύπο τάση για το φορτίο ίσο με το μέγιστο εμφανιζόμενο κατά την διαδικασία της δοκιμής αμέσως μετά τη γραμμική αρχική περιοχή (εικ. 16<sup>7</sup>) (Καττής 2012). Τα δύο τμήματα που προέκυπταν μετά από κάθε δοκιμή κάμψης και τα συνολικά δέκα για κάθε σύνθεση υποβλήθηκαν σε θλιπτική καταπόνηση.



<sup>7</sup> Τα σχέδια των εικόνων 18, 19, 20 έχουν ως υπόδειγμα τα σχέδια από Κυριακόπουλος 2012.

Εικ. 16: Σχηματική αναπαράσταση της δοκιμής κάμψης (σχέδ. Α. Οικονόμου).



Εικ. 17: Κεφαλή που χρησιμοποιείται στη δοκιμή κάμψης τριών σημείων.

Χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα τις αποστάσεις  $D1=40\text{mm}$  και  $D2=40\text{mm}$  (πλάτος και ύψος κονιάματος),  $D3=100\text{mm}$  (απόσταση μεταξύ των δύο σημείων θραύσης),  $\text{area}=160\text{mm}^2$  η επιφάνεια του κονιάματος) και  $\text{pace rate}=0,3\text{Mpa/sec}$  (ο ρυθμός της πίεσης που ασκούνται στο κονίαμα), υπολογίστηκε η αντοχή στην κάμψη για τις τέσσερις διαφορετικές συνθέσεις και για τρία δοκίμια κάθε σύνθεσης (εικ. 17). Οι τιμές παρουσιάζονται στον πίν. 9.

Πίνακας 9: Σε κάθε σύνθεση εφαρμόστηκε η δοκιμή της κάμψης σε τρία δοκίμια και υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε σύνθεση.

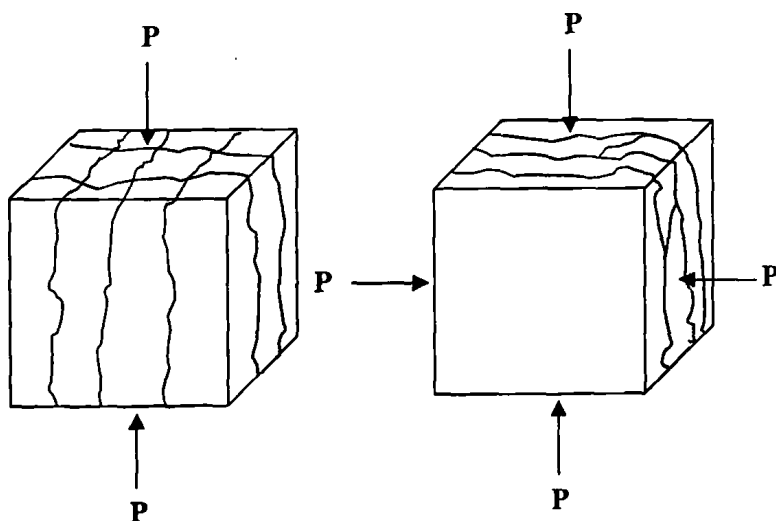
	Σύνθεση 1	Σύνθεση 2	Σύνθεση 3	Σύνθεση 4
Δοκίμιο 1	3,110 (kN)	3,023 (kN)	2,877 (kN)	2,955 (kN)
Δοκίμιο 2	3,075 (kN)	3,069 (kN)	3,001 (kN)	2,883 (kN)
Δοκίμιο 3	2,473 (kN)	2,792 (kN)	2,715 (kN)	2,694 (kN)
Μέσος όρος	2,886 (kN)	2,961 (kN)	2,864 (kN)	2,934 (kN)

## 2.4.2 Αντοχή στη θλίψη

Η δοκιμή σε θλίψη αποτελεί μία από τις πιο κοινές δοκιμές ελέγχου για κονιάματα, κυρίως λόγω του ότι είναι απλή στη διεξαγωγή της, αλλά και επειδή η αντοχή σε θλίψη είναι μία από τις κυριότερες μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων που χρησιμεύει επίσης σε περαιτέρω υπολογισμούς.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή της δοκιμής είναι συνήθως μικρά σε μέγεθος για πρακτικούς λόγους. Οι μετρήσεις της αντοχής σε θλίψη μπορεί να επηρεαστούν από διάφορους παράγοντες, όπως ο ρυθμός επιβολής του φορτίου, η υγρασία, το μηχάνημα στο οποίο γίνεται η δοκιμή, καθώς επίσης και οι επιβαλλόμενες συνθήκες φόρτισης και παραμόρφωσης στα σημεία επιβολής του φορτίου.

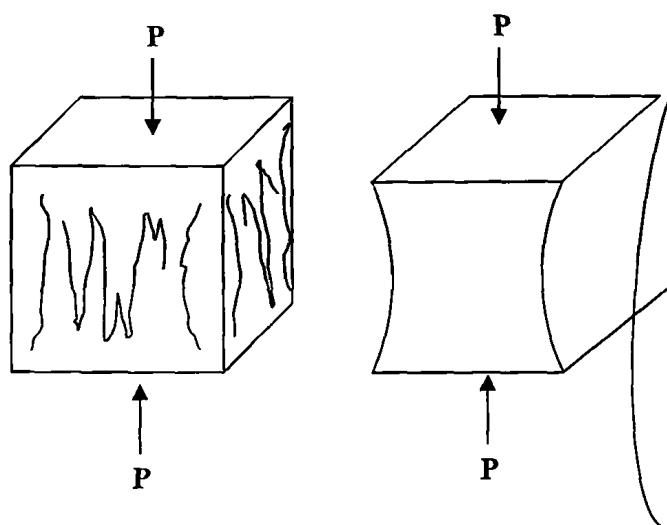
Κατά τη διάρκεια μονοαξονικής θλίψης σε κυβικό δοκίμιο σχηματίζονται ρωγμές κυρίως παράλληλες με τα επιβαλλόμενα φορτία. Οι ρωγμές σχηματίζουν επίπεδα κάθετα μεταξύ τους και τελικά το δοκίμιο αστοχεί σχηματίζοντας κολονάκια. Αντίθετα στη διαξονική θλίψη σχηματίζονται ρωγμές παράλληλες στο επίπεδο που ορίζουν οι δύο φορτίσεις και το δοκίμιο αστοχεί με τον σχηματισμό πλακοειδών στοιχείων (εικ. 18, 19).



Εικ. 18: Σχηματική αναπαράσταση των μορφών θραύσης της μονοαξονικής και διαξονικής θλίψης (σχέδ. Α. Οικονόμου).



Στην πραγματικότητα όμως οι μορφές αστοχίας των δοκιμίων είναι διαφορετικές. Αυτό οφείλεται κυρίως στην επαφή του δοκιμίου με τις μεταλλικές πλάκες της μηχανής στην οποία γίνεται η δοκιμή. Στα κυβικά δοκίμια συνήθως παρατηρείται η ακόλουθη μορφή αστοχίας:

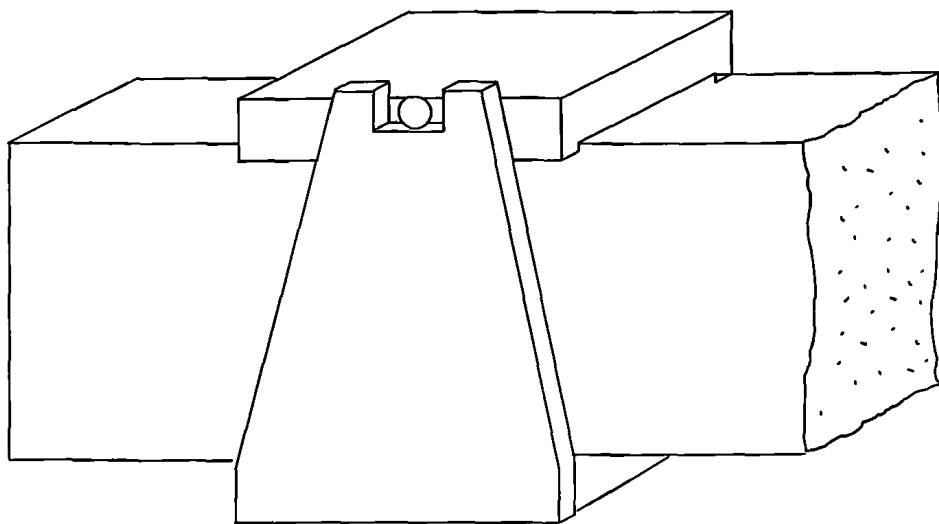


Εικ. 19: Σχηματική αναπαράσταση μορφών αστοχίας κυβικών δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη

(σχέδ. Α. Οικονόμου).

Οι οριζόντιες τάσεις εξασθενούν καθώς κινούμαστε προς το μέσον του δοκιμίου. Οι πλευρές του δοκιμίου είτε εμφανίζουν κατακόρυφες ρωγμές, είτε διασπώνται τελείως και ο πυρήνας παραμένει πρακτικά άθικτος.

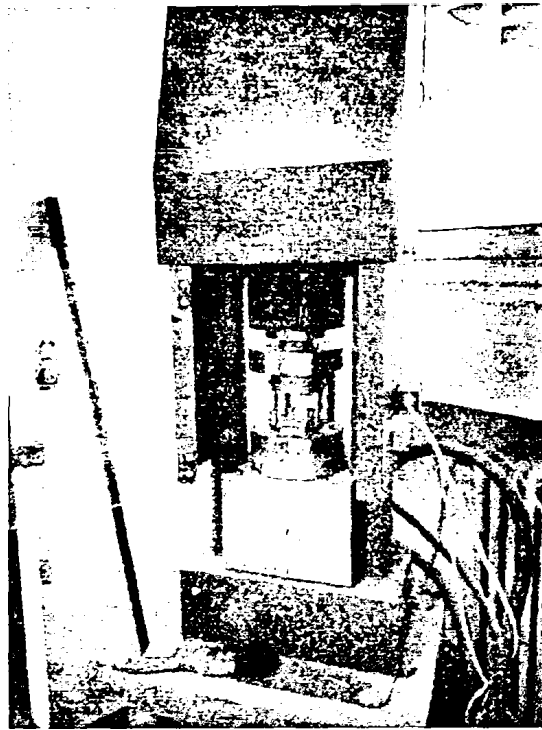
Μία ακόμα περίπτωση είναι η δοκιμή ισοδύναμου κύβου. Τα εναπομένοντα τμήματα της δοκού από τη δοκιμή κάμψης προσφέρονται για δοκιμή σε θλίψη λόγω της τετραγωνικής διατομής τους. Η αντοχή του ισοδύναμου κύβου είναι περίπου ίδια με την αντοχή κύβου ίδιων διαστάσεων. Έχει παρατηρηθεί ότι εξαιτίας των πλεοναζόντων τμημάτων του ισοδύναμου κύβου, τα οποία εμποδίζουν την οριζόντια παραμόρφωση του δοκιμίου, η αντοχή είναι περίπου 5% μεγαλύτερη (Neville 1957). Στην εικ. 20 απεικονίζεται ενδεικτικά μια απλή συσκευή με την οποία μπορούν να γίνουν γρήγορα και με ακρίβεια τοποθέτησης οι δοκιμές ισοδύναμου κύβου.



Εικ. 20: Απλή συσκευή δοκιμής ισοδύναμου κύβου (σχέδ. Α. Οικονόμου).

Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή των δοκιμίων κονιάματος συμπλήρωσης αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού και μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί πειραματικά. Η θλιπτική αντοχή αποτελεί γενικό δείκτη της ποιότητας του κονιάματος, επειδή όλες, σχεδόν, οι ιδιότητές του (υδατοστεγανότητα, αντοχή σε επιφανειακή φθορά, ανθεκτικότητα, κ.λπ.), βελτιώνονται με τη μείωση της διαπερατότητάς του η οποία σχετίζεται άμεσα με το πορώδες του υλικού που είναι καθοριστικός παράγοντας της θλιπτικής αντοχής του. Η αντοχή του δοκιμίου κονιάματος σε μονοαξονική θλίψη ορίζεται ως η μέγιστη τάση θραύσεώς του. Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής για δοκίμια που έχουν ωριμάσει σε χρόνο > 28 ημερών και για συμβατικές συνθήκες παρασκευής και συντήρησης, χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την ποιότητα του υλικού.

Στην παρούσα εργασία το δοκίμιο κάθε σύνθεσης υπεβλήθη σε δύο δοκιμές θλίψης. Έπειτα από τη δοκιμή κάμψης τριών σημείων, κάθε δοκίμιο αποτελούνταν από δύο σπασμένα κομμάτια. Κάθε κομμάτι από το ίδιο δοκίμιο υποβλήθηκε στη δοκιμή θλίψης. Η δοκιμή θλίψης έγινε με συσκευή Cyber-Tronic (εικ. 21).



Εικ. 21: Συσκευή θλίψης – κάμψης Cyber-Tronic.

Οι πειραματικές συνθήκες ήταν: διαστάσεις δοκιμίου ύψος  $D1=40\text{mm}$  και πλάτος  $D2=40\text{mm}$ , επιφάνεια δοκιμίου  $1600\text{mm}^2$  και ρυθμός άσκησης πίεσης στο δοκίμιο  $1,50\text{ MPa/sec}$ . Από τη δοκιμή προέκυψαν οι τιμές του πίν. 10:

**Πίνακας 10:** Σε κάθε σύνθεση εφαρμόστηκε η δοκιμή της θλίψης σε τρία δοκίμια και σε κάθε δοκίμιο στα δύο μέρη που προέκυψαν από τη δοκιμή της κάμψης.

	Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3
ΣΥΝ.1	51,117 (kN)	47,726 (kN)	47,575 (kN)
	50,303 (kN)	51,925 (kN)	48,369 (kN)
ΣΥΝ.2	54,873 (kN)	49,012 (kN)	49,969 (kN)
	52,248 (kN)	44,465 (kN)	51,664 (kN)
ΣΥΝ.3	52,947 (kN)	50,510 (kN)	39,573 (kN)
	46,605 (kN)	43,273 (kN)	41,186 (kN)
ΣΥΝ.4	45,902 (kN)	44,665 (kN)	44,999 (kN)
	52,151 (kN)	50,874 (kN)	45,017 (kN)



Από τις τιμές παρατηρείται ότι κάποιες μετρήσεις της ίδιας σύνθεσης και του ίδιου δοκιμίου παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους (ΣΥΝ.4, Δοκίμιο 1 και 2). Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στην μέτρια έως κακή συμπύκνωση των πρώτων υλών. Για το λόγο αυτό στον πίν. 11 παρουσιάζεται η επί τοις % διαφορά μεταξύ των δύο τιμών της αντοχής θλίψης του ίδιου δοκιμίου για την ίδια σύνθεση.

**Πίνακας 11:** Η επί τοις % διαφορά μεταξύ των τιμών αντοχής θλίψης του ίδιου δοκιμίου για την ίδια σύνθεση.

	Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3
ΣΥΝ.1	1,59 %	8,08 %	1,64 %
ΣΥΝ.2	4,7 %	9,27%	3,28 %
ΣΥΝ.3	11,97 %	14,33 %	3,9 %
ΣΥΝ.4	11,98 %	12,20 %	0,03 %

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι τα δείγματα ΣΥΝ.1-Δοκίμιο 2, ΣΥΝ.2-Δοκίμιο 2, ΣΥΝ.3-Δοκίμιο 1-2 και ΣΥΝ.4-Δοκίμιο 1-2 παρουσιάζουν διαφορές >5% που σημαίνει ότι στα δείγματα αυτά δεν έγινε καλή συμπύκνωση. Επομένως για τη σύγκριση των δειγμάτων στη δοκιμή της θλίψης χρησιμοποιούνται οι τιμές για το Δοκίμιο 3 όλων των συνθέσεων που παρουσιάζουν πολύ χαμηλές μεταβολές, επομένως και πολύ καλή συμπύκνωση.

Η αντοχή στη θλίψη των τεσσάρων συνθέσεων φαίνεται στον πίν. 12.

**Πίνακας 12:** Τα αποτελέσματα της αντοχής σε θλίψη των τεσσάρων δοκιμίων.

	Αντοχή στη θλίψη
ΣΥΝ.1	47,972 (kN)
ΣΥΝ.2	50,817 (kN)
ΣΥΝ.3	40,380 (kN)
ΣΥΝ.4	45,008 (kN)



### 2.4.3 Υδατοαπορροφητικότητα

Κάθε δομικό υλικό χαρακτηρίζεται από μηχανικές και φυσικές ιδιότητες που καθορίζουν την ποιότητα και την ανθεκτικότητά του. Μερικές από τις σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες ενός υλικού είναι η πυκνότητα, το πορώδες, η υδατοαπορροφητικότητα, η υδατοπερατότητα, η υγροσκοπικότητα, η θερμική διαστολή ή συστολή κ.ά. (Τριανταφύλλου 2005).

Η προσροφητική ικανότητα των δομικών υλικών είναι δυνατό να προσδιοριστεί με διάφορες τεχνικές, όπως η δοκιμή της υδατοπερατότητας, της υγροσκοπικότητας και της υδατοαπορροφητικότητας, τεχνικές που βασίζονται στην πλήρωση των πόρων με υγρά. Η υδατοπερατότητα είναι η ιδιότητα η οποία χαρακτηρίζει την αντίσταση που προβάλλει ένα υλικό στη διέλευση του νερού στο εσωτερικό του όταν βρίσκεται σε επαφή με αυτό υπό συγκεκριμένη πίεση. Η υδατοπερατότητα υπολογίζεται συνήθως μετρώντας τη μάζα του νερού που διαπερνά μία μοναδιαία επιφάνεια μίας πλάκας μοναδιαίου πάχους του εξεταζόμενου υλικού ανά μονάδα χρόνου και υπό ατμοσφαιρική πίεση. Για τον υπολογισμό της υδατοπερατότητας χρησιμοποιείται ο νόμος Darcy:

$$\frac{dq}{dt} = k \cdot \frac{\Delta h \cdot A}{L \cdot \mu}$$

όπου  $\frac{dq}{dt}$ : ρυθμός ροής του ρευστού,  $\mu$ : το ιξώδες του ρευστού,  $\Delta h$ : η διαφορά πίεσης,

$A$ : η επιφάνεια και  $L$ : το πάχος δοκιμίου.

Η υγροσκοπικότητα, από την άλλη μεριά, είναι η ιδιότητα των δομικών υλικών να απορροφούν υγρασία από την ατμόσφαιρα, όταν η σχετική υγρασία αυτής είναι δεδομένη. Η παραμένουσα υγρασία στο δομικό υλικό μετά την εξισορρόπηση με την υγρασία του περιβάλλοντος λέγεται υγρασία ισορροπίας (Τριανταφύλλου 2005).

Ωστόσο, στην παρούσα εργασία δεν προτιμήθηκε η εφαρμογή της δοκιμής της υδατοπερατότητας καθώς υπεισέρχονται δυσκολίες κατά την εφαρμογή πίεσης στα δοκίμια, ενώ παράλληλα, σε πραγματικές συνθήκες, σπάνια ασκούνται τέτοιες πιέσεις πάνω στα υλικά. Επιπρόσθετα, για την εφαρμογή της υγροσκοπικότητας απαιτείται σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα για την απορρόφηση της υγρασίας από το



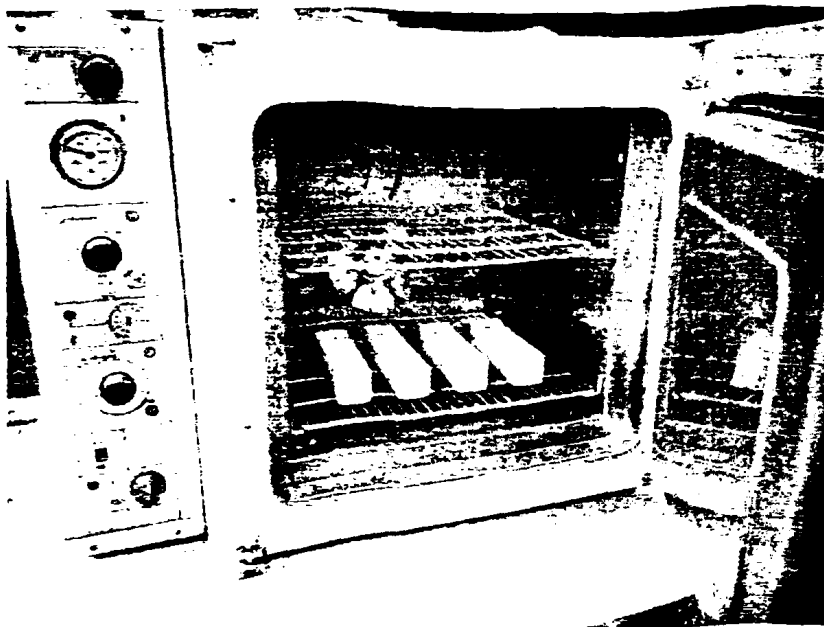
περιβάλλον του εργαστηρίου, ενώ είναι δύσκολο να διατηρηθούν σταθερές αυτές οι συνθήκες του περιβάλλοντος. Επομένως, επιλέχθηκε η υδατοαπορροφητικότητα ως η καταλληλότερη μέθοδος για την εξέταση της προσροφητικής ικανότητας των κονιαμάτων συμπλήρωσης καθώς είναι μια μέθοδος άμεση, γρήγορη και αξιόπιστη. Η απορρόφηση νερού-υγρασίας από ένα δομικό υλικό επηρεάζει σημαντικά την ανθεκτικότητά του, διότι μέσω της απορρόφησης είναι δυνατή η είσοδος διαφόρων υδατοδιαλυτών ιόντων τα οποία ενδέχεται να είναι βλαβερά για τη δομή τους (Ασπρογέρακας 2013).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται διαφορετικές συνθέσεις οι οποίες προέκυψαν από τη μεταβολή των αναλογιών των αδρανών υλικών και εξετάζεται η επίδραση των αλλαγών αυτών στην υδατοαπορροφητικότητα των κονιαμάτων συμπλήρωσης. Παράλληλα γίνεται και μια εκτίμηση του πορώδους των κονιαμάτων εμβαπτίζοντας όλα τα δοκίμια σε νερό όπου και παρέμειναν μέχρι τον κορεσμό τους σε αυτό. Η διαφορά της μάζας (αύξηση του βάρους λόγω απορρόφησης νερού) δίνει ένα κατ' εκτίμηση μέγεθος για το ανοιχτό πορώδες των κονιαμάτων.

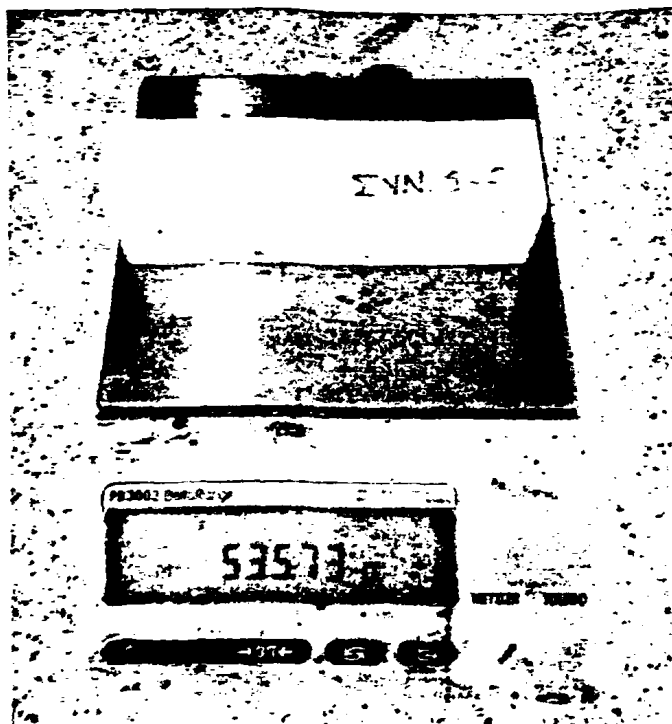
Στη δοκιμή της υδατοαπορροφητικότητας υποβλήθηκαν 4 δοκίμια κονιαμάτων συντήρησης αντίστοιχα με τις τέσσερις συνθέσεις που παρασκευάστηκαν. Η δοκιμή αυτή περιελάμβανε ζύγιση των δοκιμίων για τον προσδιορισμό της αρχικής υγρασίας και έπειτα τοποθέτηση σε πυριαντήριο (εικ. 22) στη θερμοκρασία των  $96 \pm 5$  °C με σκοπό την ξήρανσή τους.

Η διαδικασία ξήρανσης συνεχίστηκε μέχρι να απομακρυνθεί όλη η υγρασία από το εσωτερικό των πόρων των δοκιμίων και τελικά να αποκτήσουν σταθερό βάρος. Έπειτα από 72 h στο πυριαντήριο η μάζα των δοκιμίων παρέμεινε σταθερή και σταμάτησε η ξήρανσή τους. Η συγκεκριμένη θερμοκρασία ξήρανσης έχει ως σκοπό τον περιορισμό της αφυδάτωσης των φυσικών και χημικών προσροφημένων νερών στη δομή των δοκιμίων, η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους (Ασπρογέρακας 2013). Σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες αποβάλλεται μόνο το ελεύθερο νερό το οποίο περιέχεται στους πόρους των δοκιμίων. Οι τιμές των μαζών μετά την ξήρανση αποτέλεσαν τις μάζες αναφοράς των δοκιμίων για τη συγκεκριμένη δοκιμή (εικ.23).





Εικ. 22: Τοποθέτηση των δοκιμών σε πυριαντήριο για 72h.



Εικ. 23: Ζύγιση των δοκιμών για τον υπολογισμό της μάζας αναφοράς.

Μόλις τα δοκίμια ήρθαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, μονώθηκαν στις πλευρικές τους επιφάνειες με parafilm ώστε να εξασφαλιστεί όσο το δυνατόν μονοδιάστατη απορρόφηση του νερού. Σε αυτή την κατάσταση τα δοκίμια ζυγίστηκαν εκ νέου και εμβαπτίστηκαν ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα σε δοχεία νερού σύμφωνα με το σχήμα της εικ. 24. Για την καλύτερη διεξαγωγή των

μετρήσεων το νερό πρέπει να καλύπτει μόνο τη βάση του κάθε δοκιμίου, οπότε αυτά βυθίζονταν σε βάθος μέχρι 5 mm. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα των 10 min μέχρι τις 3 h (10, 20, 30 κ.ο.κ.) τα δοκίμια ζυγίζονταν και καταγράφονταν η διαφορά μάζας τους.

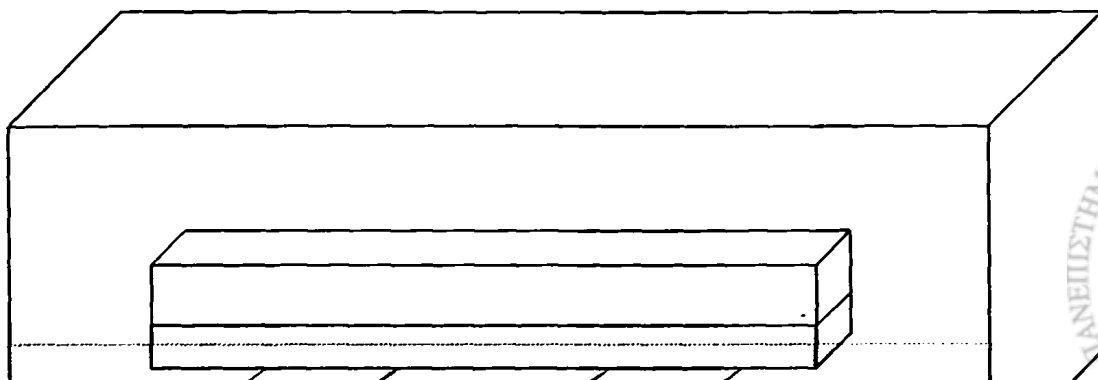
Κατά τη δοκιμή της υδατοαπορροφητικότητας εξετάζεται η ικανότητα του δομικού υλικού να απορροφά, χωρίς εξωτερική πίεση, κάποιο ρευστό, νερό ή Hg. Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία ως ρευστό χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό και η απορρόφηση του από τα δοκίμια αποδίδεται στους τριχοειδείς πόρους που υπάρχουν στο εσωτερικό τους.

Για τον προσδιορισμό της υδατοαπορροφητικότητας των δοκιμίων απαιτείται η μέτρηση του ρυθμού απορρόφησης του νερού σύμφωνα με τη σχέση:

$$i = S \cdot t^{0.5}$$

όπου με  $i$  συμβολίζεται η συνολική αύξηση μάζας δοκιμίου ανά μονάδα επιφάνειας προσρόφησης ( $\text{g}/\text{mm}^2$ ), με  $t$  συμβολίζεται ο χρόνος (min) και με  $S$  συμβολίζεται η υδατοαπορροφητικότητα (sorptivity) ( $\text{mm}/\text{min}^{0.5}$ ). Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι η απορρόφηση του νερού ανά μονάδα επιφάνειας απορρόφησης είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου απορρόφησης. Επομένως η υδατοαπορροφητικότητα  $S$  υπολογίζεται από την κλίση της συνάρτησης  $i=f(t^{0.5})$  με τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων (τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης).

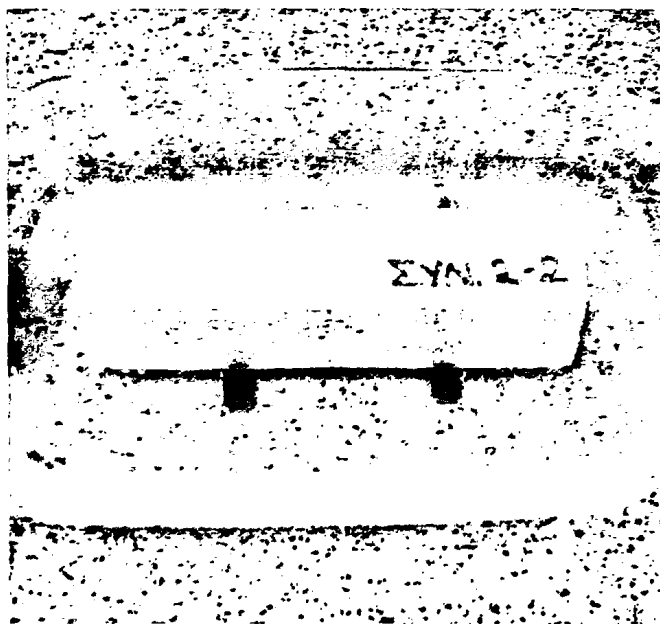
Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν έχουν περίπου ίσες αρχικές μάζες αφού οι ποσότητες των αδρανών, του τσιμέντου και του νερού, ήταν ίδιες και για τις τέσσερις συνθέσεις. Το μόνο που αλλάζει στις συνθέσεις είναι η αναλογία των αδρανών.





*Εικ. 24: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης μέτρησης υδατοαπορροφητικότητας (σχέδ. Α. Οικονόμου).*

Ο σκοπός της δοκιμής της υδατοαπορροφητικότητας στα κονιάματα συμπλήρωσης είναι ο προσδιορισμός της προσροφητικής τους ικανότητας και όχι ο προσδιορισμός του πορώδους τους. Ωστόσο η αύξηση του βάρους των δοκιμίων λόγω της εμβάπτισής τους μέχρι κορεσμού σε νερό, επιτρέπει σε κάποιο βαθμό την εκτίμηση του ανοιχτού πορώδους (βλ. παρακάτω). Το σχετικά μικρό μέγεθος των δοκιμίων (παραλληλεπίπεδα διαστάσεων 4x4x16 cm) ενδεχομένως συμβάλλει θετικά προς την κατεύθυνση αυτή (εικ. 25).



*Εικ. 25: Πειραματική διάταξη μέτρησης υδατοαπορροφητικότητας*

Με τη χρήση αναλυτικού ζυγού ζυγίστηκαν τα τέσσερα δοκίμια μέχρι να αποκτήσουν σταθερό βάρος μετά από 72h σε πυριαντήριο. Τα αποτελέσματα των

μετρήσεων αυτών φαίνονται στον πίν. 13 και οι τιμές των μαζών της τρίτης ημέρας ονομάζονται μάζες αναφοράς.

*Πίνακας 13:* Ζύγιση των δοκιμίων μέχρι σταθεροποίηση του βάρους τους

Δοκίμιο	Αρχική μάζα	Ημέρα 1	Ημέρα 2	Ημέρα 3
ΣΥΝ.1	549,88 (gr)	517,52 (gr)	516,67 (gr)	516,85 (gr)
ΣΥΝ.2	543,91 (gr)	512,08 (gr)	511,28 (gr)	511,46 (gr)
ΣΥΝ.3	546,59 (gr)	513,23 (gr)	512,53 (gr)	512,73 (gr)
ΣΥΝ.4	548,16 (gr)	513,88 (gr)	513,24 (gr)	513,45 (gr)

Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας για τον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας παρουσιάζονται στον πίν. 14.

*Πίνακας 14:* Περιοδικές ζυγίσεις των κονιαμάτων ανά 10 min.

Χρόνος (min)	0	10	20	30	40
ΣΥΝ.1	516,85 (gr)	523,20 (gr)	525,01 (gr)	526,38 (gr)	527,44 (gr)
ΣΥΝ.2	511,46 (gr)	519,23 (gr)	521,86 (gr)	523,78 (gr)	525,29 (gr)
ΣΥΝ.3	512,73 (gr)	518,68 (gr)	520,65 (gr)	522,13 (gr)	523,19 (gr)
ΣΥΝ.4	513,45 (gr)	521,54 (gr)	523,97 (gr)	525,69 (gr)	527,36 (gr)

Χρόνος (min)	50	60	70	80	90
ΣΥΝ.1	528,38 (gr)	529,32 (gr)	530,13 (gr)	530,99 (gr)	531,71 (gr)
ΣΥΝ.2	526,63 (gr)	527,92 (gr)	528,98 (gr)	530,27 (gr)	531,13 (gr)
ΣΥΝ.3	524,17 (gr)	525,18 (gr)	525,98 (gr)	526,88 (gr)	527,69 (gr)
ΣΥΝ.4	528,48 (gr)	529,68 (gr)	530,68 (gr)	531,72 (gr)	532,67 (gr)

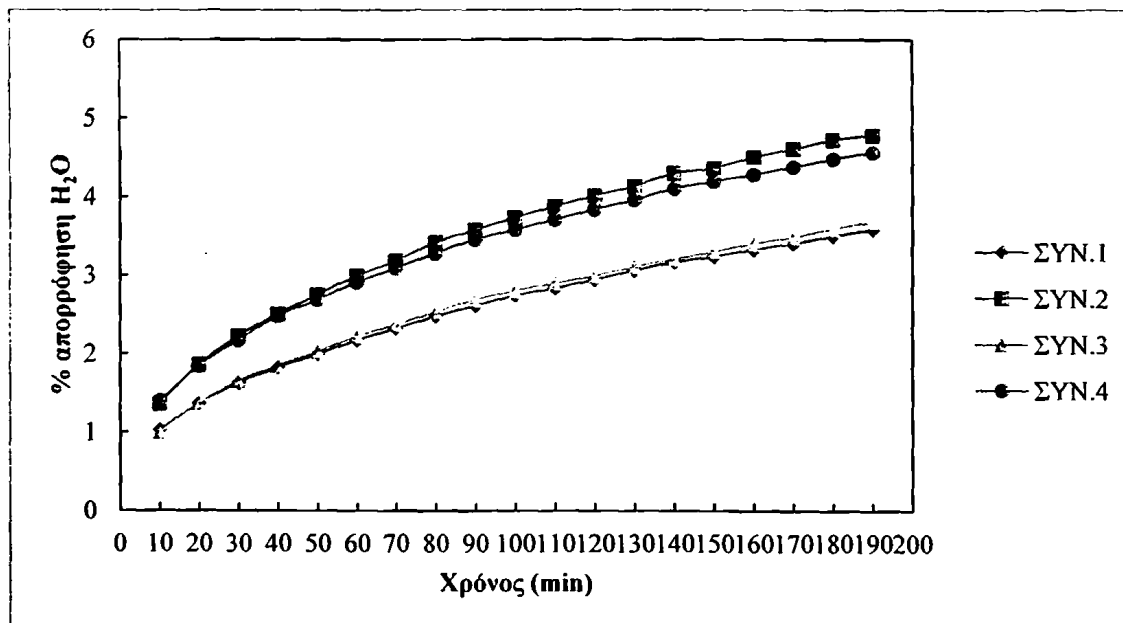
Χρόνος (min)	100	110	120	130	140
ΣΥΝ.1	532,42 (gr)	532,93 (gr)	533,53 (gr)	534,17 (gr)	534,72 (gr)
ΣΥΝ.2	532,01 (gr)	532,80 (gr)	533,56 (gr)	534,24 (gr)	535,12 (gr)



ΣΥΝ.3	528,32 (gr)	528,84 (gr)	529,36 (gr)	529,97 (gr)	530,49 (gr)
ΣΥΝ.4	533,37 (gr)	534,09 (gr)	534,79 (gr)	535,48 (gr)	536,26 (gr)

Χρόνος (min)	150	160	170	180	190
ΣΥΝ.1	535,15 (gr)	535,62 (gr)	536,05 (gr)	536,58 (gr)	537,06 (gr)
ΣΥΝ.2	535,52 (gr)	536,29 (gr)	536,87 (gr)	537,53 (gr)	537,87 (gr)
ΣΥΝ.3	531,02 (gr)	531,59 (gr)	532,04 (gr)	532,65 (gr)	533,15 (gr)
ΣΥΝ.4	536,79 (gr)	537,26 (gr)	537,81 (gr)	538,39 (gr)	538,88 (gr)

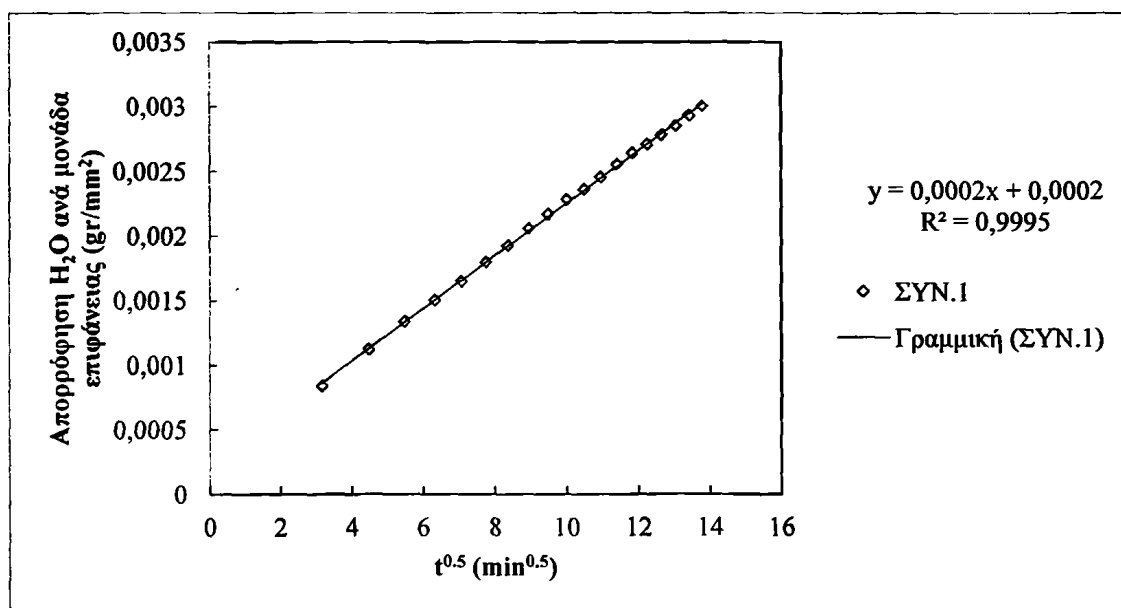
Με τη βοήθεια αυτών των πινάκων σχεδιάζεται το γράφημα της επί τοις % απορρόφησης του νερού σε συνάρτηση του χρόνου (εικ. 26). Από την καμπύλη παρατηρείται μία αυξανόμενη απορρόφηση του νερού καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (190 min) που έχει την τάση να φτάσει σε μία σταθερή τιμή που υπολογίζεται περίπου στο 5%, τιμή στην οποία η υγρασία που έχει απορροφηθεί έχει κορεστεί και το κάθε δοκίμιο παύει να προσλαμβάνει επιπλέον νερό.



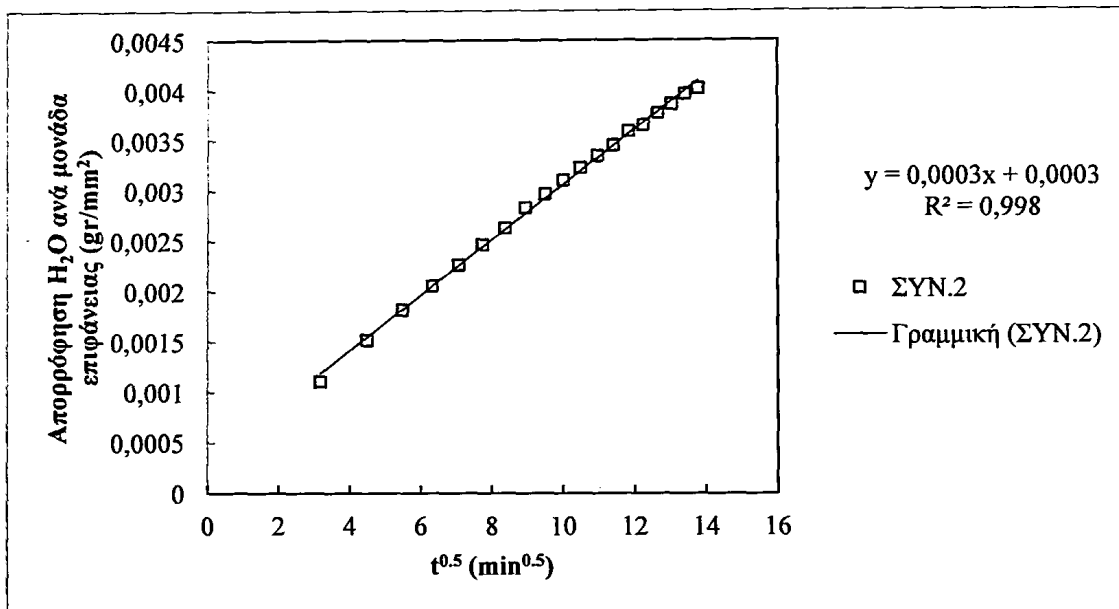
Εικ. 26: Γράφημα απορρόφησης νερού επί τοις % σε συνάρτηση με το χρόνο

Επίσης από το γράφημα παρατηρείται πως σε κάθε χρονική στιγμή τα δοκίμια ΣΥΝ.2 και ΣΥΝ.4 απορροφούν παραπάνω υγρασία που κυμαίνεται από το ~0,5%-~1%, σε σχέση με τα δοκίμια ΣΥΝ.1 και ΣΥΝ.3.

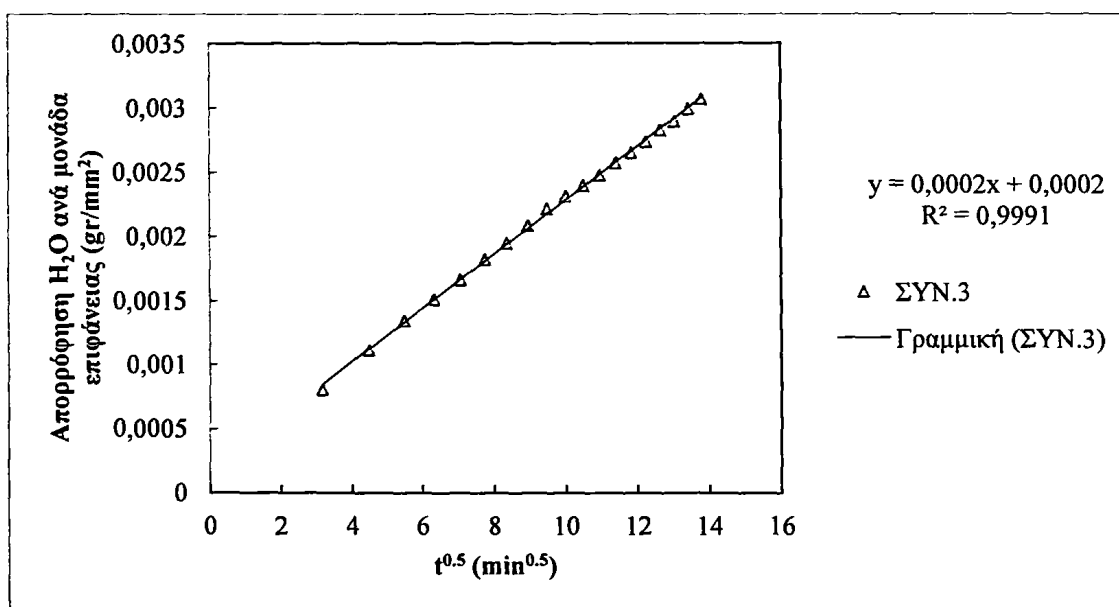
Στη συνέχεια για τον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας του κάθε δοκιμίου έγινε η γραφική παράσταση  $i=f(t^{0.5})$  με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Excel της Microsoft. Οι γραφικές παραστάσεις παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα (εικ. 27, 28, 29, 30). Όπως φαίνεται η προσαρμογή των πειραματικά προσδιοριζόμενων τιμών της υδατοαπορροφητικότητας των δοκιμίων κρίνεται ως εξαιρετική, εφόσον οι τιμές του συντελεστή  $R^2$  ξεπερνούν το 99%.



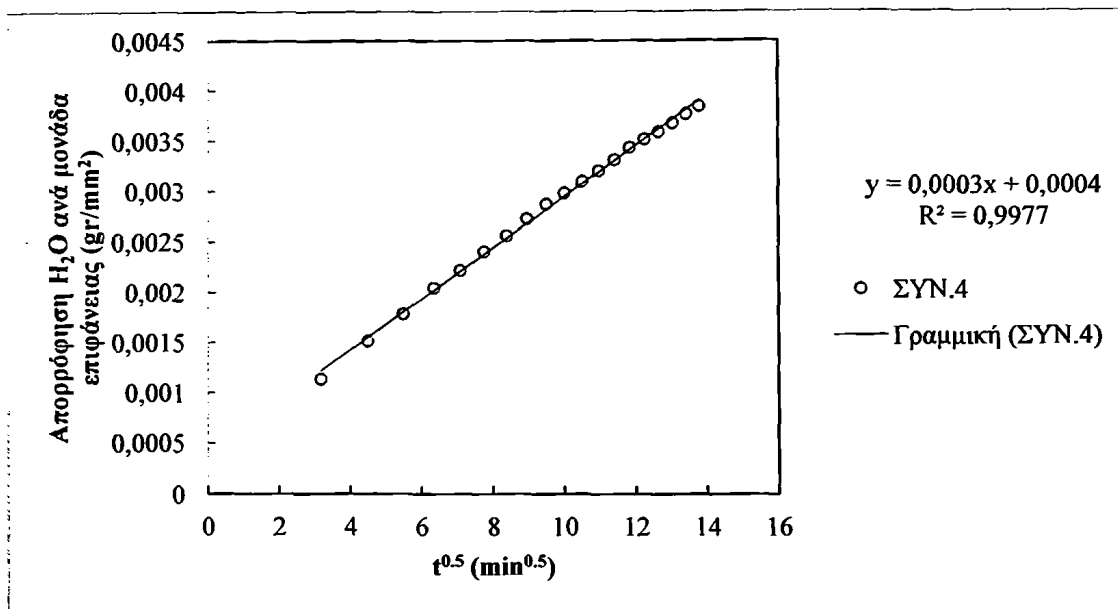
Εικ. 27: Γράφημα απορρόφησης νερού ανά επιφάνεια σε συνάρτηση του  $t^{0.5}$  για το δοκίμιο ΣΥΝ.1.



Εικ. 28: Γράφημα απορρόφησης νερού ανά επιφάνεια σε συνάρτηση του  $t^{0.5}$  για το δοκίμιο ΣΥΝ.2.



Εικ. 29: Γράφημα απορρόφησης νερού ανά επιφάνεια σε συνάρτηση του  $t^{0.5}$  για το δοκίμιο ΣΥΝ.3.



Εικ. 30: Γράφημα απορρόφησης νερού ανά επιφάνεια σε συνάρτηση του  $t^{0.5}$  για το δοκίμιο ΣΥΝ.4.

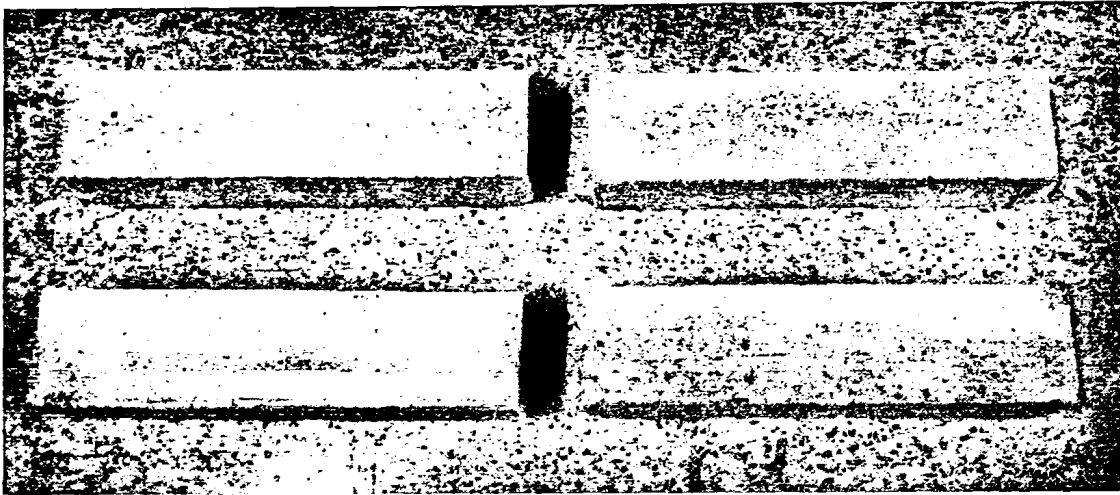
Αναλυτικά οι τιμές της υδατοαπορροφητικότητας κάθε δοκιμίου παρουσιάζονται στον πίν. 15 (πρβλ. παρακάτω το γράφημα της εικ. 33).

Πίνακας 15: Τιμές υδατοαπορροφητικότητας για τα τέσσερα δοκίμια

Δοκίμιο	ΣΥΝ.1	ΣΥΝ.2	ΣΥΝ.3	ΣΥΝ.4
Υδατοαπορροφητικότητα ( $\text{mm}/\text{min}^{0.5} \cdot 10^{-4}$ )	2,03	2,74	2,09	2,53

Συμπερασματικά, η δοκιμή της υδατοαπορροφητικότητας αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο για την εκτίμηση της συνεκτικότητας ενός δομικού υλικού, δηλαδή της ικανότητάς του να δυσχεραίνει ή όχι την είσοδο διαφόρων ιόντων στο εσωτερικό του (εικ.31). Η απορρόφηση όμως του νερού γίνεται από τους τριχοειδείς πόρους των δοκιμίων. Μεγαλύτερη αύξηση μάζας σημαίνει μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητα, άρα και μεγαλύτερη διαπερατότητα του υλικού. Στη μελέτη των συγκεκριμένων δοκιμίων παρατηρείται πως η αλλαγή στην αναλογία των αδρανών υλικών επιφέρει σημαντικές μεταβολές ως προς την απορρόφηση του νερού. Επομένως, κατά την πειραματική μελέτη αποδείχθηκε ότι η πρώτη σύνθεση κονιάματος (ΣΥΝ.1) είναι η καταλληλότερη σε σχέση με το ποσοστό του νερού που απορροφά.





*Εικ. 31: Μετά τη δοκιμή της υδατοαπορροφητικότητας είναι εμφανής η υγρασία που έχει απορροφήσει κάθε δοκίμιο.*

#### 2.4.4 Ανοιχτό πορώδες

Τα κονιάματα δεν είναι συμπαγή υλικά, αλλά συνήθως έχουν πορώδες. Ως πορώδες ορίζονται τα μικρά διάκενα μέσα στα στερεά σώματα, περισσότερο ή λιγότερο εκτεταμένα, που διακρίνονται είτε μακροσκοπικά είτε μικροσκοπικά. Το πορώδες στα κονιάματα αποτελείται κυρίως από εσωτερικές κοιλότητες οι οποίες είναι κενές από στερεό υλικό και συνήθως περιέχουν αέρα ή νερό. Το σύνολο των κοιλότητων αυτών αποτελεί το πορώδες. Η είσοδος του νερού στο εσωτερικό των δοκιμίων γίνεται μέσω του πορώδους τους. Το πορώδες χαρακτηρίζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως το κλάσμα όγκου του υλικού που καταλαμβάνεται από πόρους σε σχέση με το συνολικό όγκο, το μέγεθος, το σχήμα, η κατανομή του μεγέθους των πόρων καθώς επίσης και ο τρόπος σύνδεσης μεταξύ τους. Ως προς τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ τους οι πόροι διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες (Ασπρογέρακας 2013):

- Κλειστοί: πόροι οι οποίοι δεν έχουν καμία σύνδεση μεταξύ τους και δεν είναι διαπερατοί από κάποιο ρευστό.
- Νεκρού άκρου: ανοιχτοί πόροι που έχουν μία είσοδο, αλλά δεν είναι διαπερατοί. Δηλαδή το ρευστό μπορεί να εισχωρήσει σε αυτούς, αλλά δεν μπορεί να εξέλθει εύκολα.
- Πόροι μελανοδοχεία: πόροι που είναι ανοιχτοί με περισσότερα του ενός ανοίγματα, τα οποία όμως είναι πολύ στενά, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολα διαπερατοί από ρευστά.
- Πόροι κανάλια: πόροι οι οποίοι είναι διαπερατοί από ρευστά.
- Πόροι τηλεσκόπια: πόροι οι οποίοι έχουν το σχήμα του τηλεσκοπίου και η διαπερατότητά τους είναι μεταξύ αυτής των καναλιών και των μελανοδοχείων.

Ως ολικό πορώδες ενός υλικού ορίζεται το ποσοστό του κενού χώρου στο σύνολο του όγκου του υλικού. Το ολικό πορώδες αποτελείται από το ανοιχτό και το κλειστό πορώδες. Ως κλειστό πορώδες ορίζεται το σύνολο των πόρων οι οποίοι δεν είναι διαπερατοί από ρευστά, ενώ ως ανοιχτό πορώδες ορίζεται το ποσοστό των πόρων του υλικού οι οποίοι είναι διαπερατοί από κάποια ρευστά (συνήθως Hg, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O). Για τον χαρακτηρισμό του ανοιχτού πορώδους συμμετέχουν οι πόροι νεκρού άκρου, καθώς και οι πόροι τηλεσκόπια, μελανοδοχεία και κανάλια. Με τη δοκιμή της





υδατοαπορροφητικότητας και με την εμβάπτιση και τον κορεσμό των δοκιμίων σε νερό δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός του κλειστού πορώδους διότι δεν είναι δυνατή η πλήρωση των συγκεκριμένων πόρων από το νερό. Αντίθετα, με τη δοκιμή εμβάπτισης σε νερό μέχρι κορεσμού επιτρέπεται ένας κατ' εκτίμηση υπολογισμός μόνο του ανοιχτού πορώδους, δηλαδή του ποσοστού του όγκου των πόρων, οι οποίοι είναι διαπερατοί σε μια ποικιλία ρευστών, στο σύνολο του όγκου του υλικού. Από το ανοιχτό πορώδες ένα μέρος αποτελεί το ενεργό πορώδες, δηλαδή το ποσοστό του όγκου των πόρων, οι οποίοι είναι μεταξύ τους συνδεδεμένοι, με αποτέλεσμα ένα ρευστό να μπορεί να κινηθεί μέσα σε αυτούς και να διαπεράσει από άκρου σε άκρο το δείγμα στο σύνολο του όγκου του υλικού. Ο πλήρης χαρακτηρισμός της πορώδους δομής των υλικών είναι δυνατός με τον προσδιορισμό ιδιοτήτων, όπως το πορώδες (ανοιχτό και κλειστό), η κατανομή του πορώδους στα διάφορα μεγέθη των πόρων, το μέσο μέγεθος και σχήμα των πόρων και ο προσανατολισμός τους. Για τον προσδιορισμό των μεγεθών αυτών, θα πρέπει να αναζητηθούν άλλοι τρόποι προσδιορισμού τους όπως π.χ. ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM (Ρηγοπούλου κ.ά. 1998, Τριανταφύλλου 2005).

Για την εκτίμηση του πορώδους των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δείγματα αφού πρώτα ξηράνθηκαν για 24h μετά το πέρας της δοκιμής της υδατοαπορροφητικότητας. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής αυτής όλα τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε νερό όπου και παρέμειναν για χρονικό διάστημα 24 h. Τα δοκίμια στη συνέχεια ζυγίστηκαν πρώτα μέσα στο νερό και στη συνέχεια ζυγίστηκαν μαζί με το νερό που είχαν απορροφήσει τις τελευταίες 24 h συνεχώς μέχρι η μάζα τους να σταθεροποιηθεί, ώστε να θεωρηθούν κορεσμένα. Πριν από κάθε ζύγιση, τα δοκίμια σκουπίζονταν επιμελώς έτσι ώστε να απομακρυνθεί το νερό από την επιφάνειά τους. Με βάση αυτές τις μετρήσεις υπολογίστηκαν τα εξής μεγέθη: Ξηρή μάζα (g), υδροστατική μάζα (g), μάζα μαζί με την κορεσμένη υγρασία (g), όγκος πόρων ( $\text{cm}^3$ ), φαινόμενος όγκος ( $\text{cm}^3$ ), πραγματικός όγκος ( $\text{cm}^3$ ), πραγματική πυκνότητα ( $\text{g}/\text{cm}^3$  ή  $\text{g}/\text{ml}$ ), φαινόμενη πυκνότητα ή φαινόμενο ειδικό βάρος ( $\text{g}/\text{cm}^3$  ή  $\text{g}/\text{ml}$ ), όπως παριστάνονται στον πίν. 16.



**Πίνακας 16:** Υπολογισμός της ξηρής μάζας, της υδροστατικής μάζας, της μάζας με την κορεσμένη υγρασία, του όγκου των πόρων, του φαινομένου όγκου, του πραγματικού όγκου, της πραγματικής πυκνότητας και της φαινόμενης πυκνότητας.

Δοκίμιο		ΣΥΝ.1	ΣΥΝ.2	ΣΥΝ.3	ΣΥΝ.4
% Πορώδες		15,2	16,2	16,6	16,2
M1	Ξηρή μάζα (g)	516,85	511,46	512,73	513,45
M2	Υδροστατική μάζα (g)	303,53	302,09	303,73	302,28
M3	Μάζα μαζί με το νερό (g)	555,08	551,86	554,39	554,33
V <sub>p</sub> (M3-M1)	Όγκος πόρων (cm <sup>3</sup> )	38,23	40,4	41,66	40,88
V <sub>a</sub> (M3-M2)	Φαινόμενος όγκος (cm <sup>3</sup> )	251,55	249,77	250,66	252,05
V <sub>r</sub> (M1-M2)	Πραγματικός όγκος (cm <sup>3</sup> )	213,32	209,37	209	211,17
ρ <sub>r</sub>	Πραγματική πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> ή g/ml)	2,42	2,44	2,45	2,43
ρ <sub>a</sub>	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> ή g/ml)	2,05	2,05	2,05	2,04

Στον πίν. 16 (πρβλ. παρακάτω το γράφημα της εικ. 34) είναι σαφές πως το δοκίμιο με το μικρότερο πορώδες είναι το ΣΥΝ.1 πράγμα το οποίο συμπίπτει και επιβεβαιώνει με ακρίβεια τις μετρήσεις της υδατοαπορροφητικότητας. Η αύξηση του βάρους σε όλα τα δοκίμια, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του ανοιχτού πορώδους τους, οφείλεται στο νερό που έχει διεισδύσει μέσω των τριχοειδών – ανοιχτών πόρων στο εσωτερικό των δοκιμίων. Επομένως ο περιορισμός των πόρων στη σύνθεση των κονιαμάτων έχει ως αποτέλεσμα να απορροφάται στο εσωτερικό τους λιγότερο νερό.



### 3. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΤΙΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΗΔΗ ΕΦΑΡΜΟΣΘΕΝΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.

Στην παρούσα εργασία έχουν διερευνηθεί τα χαρακτηριστικά τεσσάρων διαφορετικών πειραματικών συνθέσεων κονιαμάτων συμπλήρωσης (δοκίμια ΣΥΝ.1, ΣΥΝ.2, ΣΥΝ.3, ΣΥΝ.4), εκ των οποίων η σύνθεση του τέταρτου δοκίμιου (ΣΥΝ.4) είναι όμοια με τις συνθέσεις των κονιαμάτων που έχουν ήδη εφαρμοστεί κατά τη συντήρηση του αρχαίου λίθου στο θέατρο της Δωδώνης με βάση τη μελέτη των Γαλανού και Δογάνη 2003<sup>8</sup>.

Από την εργαστηριακή έρευνα των πειραματικών κονιαμάτων συνάγονται σημαντικά στοιχεία που διαφοροποιούν επί το βέλτιον και κατατάσσουν γενικά σε υψηλότερες θέσεις αξιολόγησης τα κονιάματα (δοκίμια ΣΥΝ.1, ΣΥΝ.2, ΣΥΝ.3) των οποίων η σύνθεση είναι διαφορετική σε σχέση με τη σύνθεση των ήδη εφαρμοσθέντων κονιαμάτων κατά τις πρόσφατες αναστηλωτικές προσπάθειες (δοκίμιο ΣΥΝ.4). Οι διαφοροποιήσεις αυτές αφορούν σε όλες τις μηχανικές αλλά και φυσικοχημικές ιδιότητες των πειραματικών συνθέσεων.

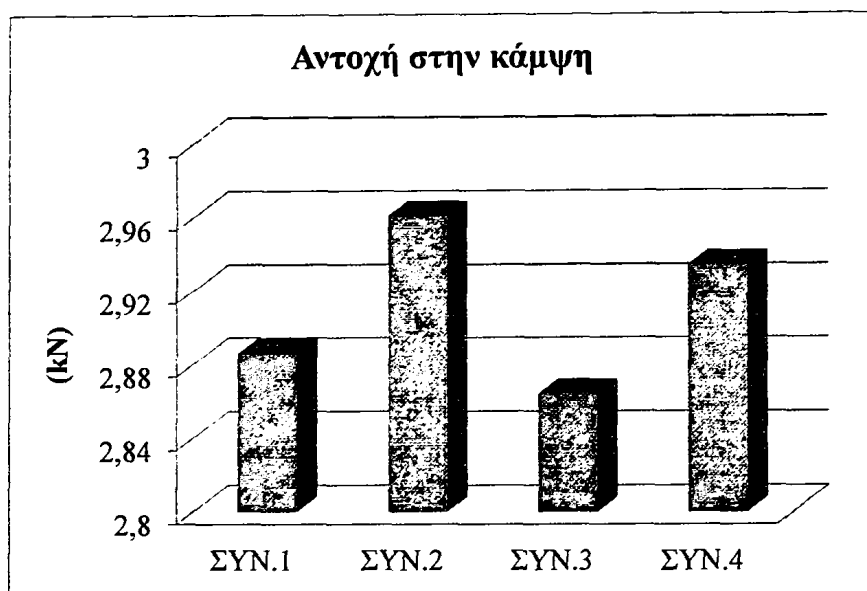
Συγκεκριμένα:

*A. Αντοχή στην κάμψη.*

Κατά τις πειραματικές εφαρμογές για τη διερεύνηση της αντοχής των δοκιμίων στην κάμψη παρατηρείται ότι το δοκίμιο ΣΥΝ.2 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τα άλλα τρία δοκίμια (ΣΥΝ.1, ΣΥΝ.3, ΣΥΝ.4). Ωστόσο η απόκλιση του από το δοκίμιο της τέταρτης σύνθεσης (ΣΥΝ.4), το οποίο είναι και το δείγμα προς επαναξιολόγηση, δεν χαρακτηρίζεται ως σημαντική. Επομένως το δοκίμιο ΣΥΝ.4 επιδεικνύει τη δεύτερη μεγαλύτερη αντοχή στην κάμψη και ακολουθεί η σύνθεση ΣΥΝ.1, ενώ η σύνθεση ΣΥΝ.3 παρουσιάζει την μικρότερη αντοχή στην κάμψη (εικ. 31).

<sup>8</sup> Για τις συνθέσεις των δοκιμίων βλ. παραπάνω, πίν. 8.

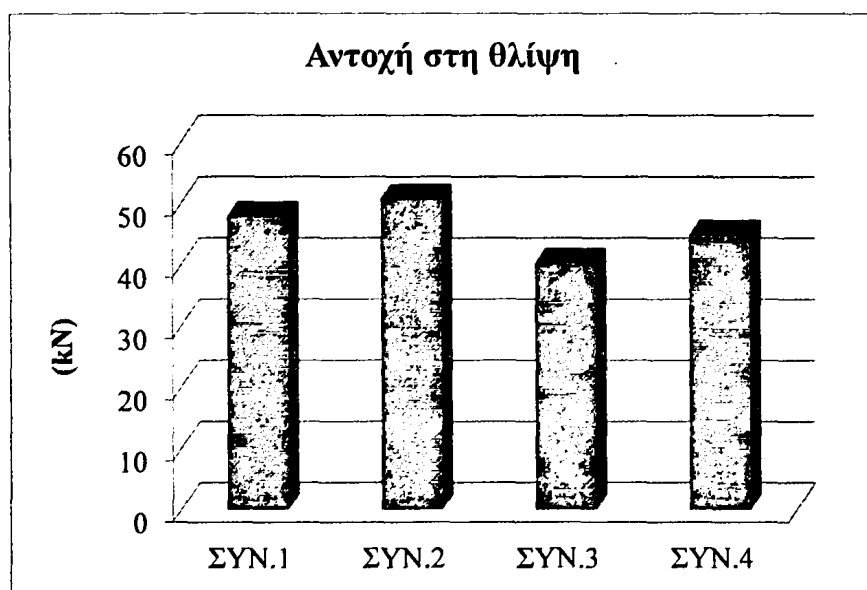




Εικ.31. Γράφημα της αντοχής στην κάμψη.

*B. Αντοχή στη θλίψη.*

Στις δοκιμές της αντοχής των δοκιμίων στη θλίψη τα δείγματα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Δηλαδή, τη μεγαλύτερη αντοχή στη θλίψη εξακολουθεί να επιδεικνύει το δοκίμιο ΣΥΝ.2 και τη μικρότερη το δείγμα ΣΥΝ.3. Ως προς τη συμπεριφορά των άλλων δύο δοκιμίων παρατηρούνται τα εξής: Το δοκίμιο ΣΥΝ.4, που είναι το δείγμα προς επαναξιολόγηση, επιδεικνύει μικρότερη αντοχή στη θλίψη σε σχέση με τα δοκίμια ΣΥΝ.1 και ΣΥΝ.2, αλλά χωρίς ισχυρές αποκλίσεις, ενώ το δείγμα ΣΥΝ.3 επιδεικνύει τη μικρότερη αντοχή σε σχέση με τα υπόλοιπα (εικ. 32).

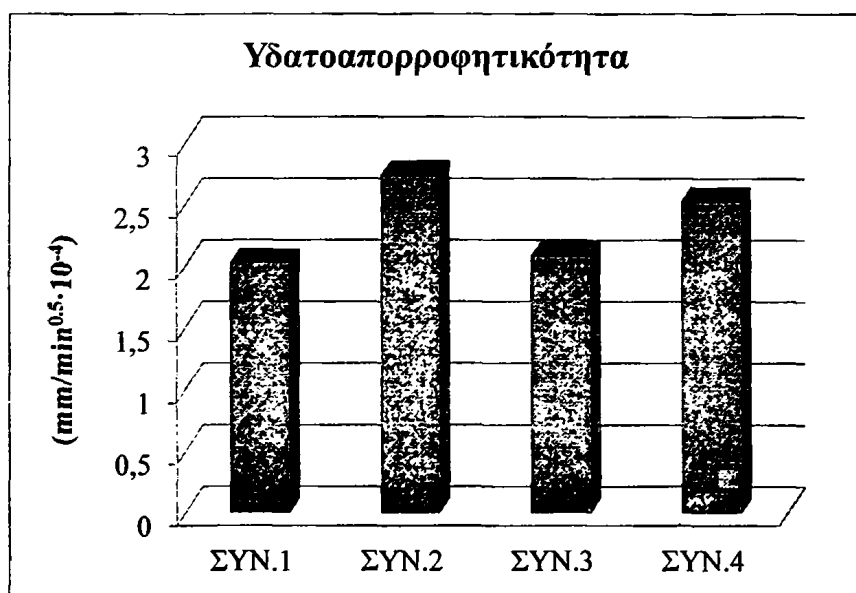


Εικ.32. Γράφημα της αντοχής στη θλίψη.



### Γ. Υδατοαπορροφητικότητα.

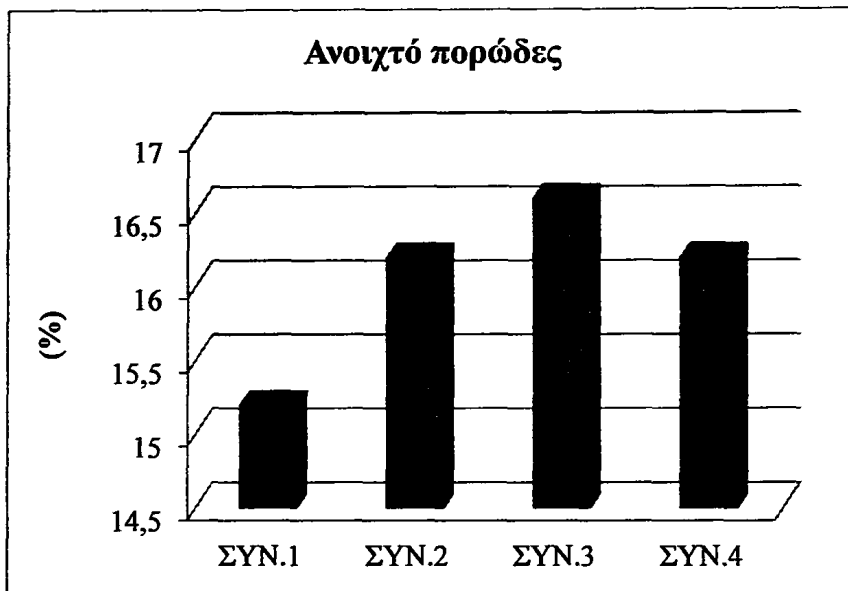
Κατά τις πειραματικές διαδικασίες παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές της υδατοαπορροφητικότητας των δοκιμίων τα οποία μπορούν με βάση την ποσοστό απορρόφησης νερού να διακριθούν σε δύο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα, που επιδεικνύει υψηλή υδατοαπορροφητικότητα, εντάσσονται τα δοκίμια ΣΥΝ.2 και ΣΥΝ.4, ενώ στη δεύτερη ομάδα με χαμηλότερη ικανότητα απορρόφησης νερού εντάσσονται τα δοκίμια ΣΥΝ.1 και ΣΥΝ.3 (εικ. 33).



Εικ.33. Γράφημα της υδατοαπορροφητικότητας.

### Δ. Ανοιχτό πορώδες .

Παράλληλα, η πειραματική διερεύνηση της υδατοαπορροφητικότητας των δειγμάτων επιβεβαιώνει τη δοκιμή του ανοιχτού πορώδους. Παρατηρείται ότι το δοκίμιο με τη μικρότερη υδατοαπορροφητικότητα, δηλ. το δοκίμιο ΣΥΝ.1, παρουσιάζει και τον μικρότερο αριθμό πορώδους (εικ. 34). Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς λιγότεροι πόροι σε ένα υλικό αντιστοιχούν σε μικρότερη ικανότητα απορρόφησης κάποιου υγρού.



Εικ.34. Γράφημα του ανοιχτού πορώδους.

#### 4. ΕΠΑΝΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη Δωδώνη από το 2000 έως σήμερα εκτελούνται σημαντικά έργα τα οποία αποσκοπούν στην αποκατάσταση του αρχαίου θεάτρου και των άλλων μνημείων του Ιερού. Τα έργα αυτά βασίζονται σε ειδικές μελέτες που αφορούν στην τεκμηρίωση, τη συντήρηση και την αναστύλωση του θεάτρου και των άλλων οικοδομημάτων. Μεταξύ αυτών ιδιαίτερης σημασίας είναι η εφαρμογή κονιαμάτων συμπλήρωσης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη συντήρηση των αρχαίων λίθων των εδωλίων του θεάτρου. Η σύνθεση των κονιαμάτων αυτών βασίστηκε στη μελέτη Γαλανού και Δογάνη 2003 (*Ιερό Δωδώνης. Η συντήρηση του αρχαίου θεάτρου. Επιλογή των κονιαμάτων και μεθοδολογία αποκατάστασης του δομικού υλικού*. Τεχνική έκθεση, Αθήνα.).

Για τις ερευνητικές ανάγκες της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκαν πειραματικά κονιάματα με διαφορετικές συνθέσεις. Μεταξύ αυτών ένα δείγμα (ΣΥΝ.4, βλ. παραπάνω πίν. 7, 8) έχει την ίδια σύνθεση με τη σύνθεση των κονιαμάτων της μελέτης Γαλανού και Δογάνη 2003, τα οποία εφαρμόζονται ήδη ως κονιάματα συμπλήρωσης στον αρχαίο λίθο. Ο εργαστηριακός έλεγχος των πειραματικών κονιαμάτων κατέστησε δυνατή τη συγκριτική αντιβολή τους και έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα αξιολόγησής τους.

Από την πειραματική διερεύνηση των κονιαμάτων προκύπτει πως η σύνθεση των εφαρμοσθέντων κονιαμάτων (ΣΥΝ. 4) δεν προτάσσεται ποιοτικά σε σύγκριση με τις συνθέσεις των υπόλοιπων δοκιμίων (ΣΥΝ.1, ΣΥΝ.2, ΣΥΝ.3, βλ. παραπάνω πίν. 8) ως προς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (αντοχές στην κάμψη και τη θλίψη, υδατοαπορροφητικότητα, ανοιχτό πορώδες και φαινόμενο ειδικό βάρος).

Συγκεκριμένα: στις δοκιμές αντοχής στην κάμψη και τη θλίψη το δοκίμιο με την ίδια σύνθεση με το κονίαμα, που έχει ήδη εφαρμοσθεί στο θέατρο, υπολείπεται των άλλων πειραματικών κονιαμάτων της εργασίας, καθώς κατατάσσεται κατά σειρά αξιολόγησης στη δεύτερη και τρίτη θέση αντίστοιχα. Στον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας και του πορώδους έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη τιμή και κατά τις δύο μετρήσεις, επομένως καταλαμβάνει την τρίτη θέση αξιολόγησης σε σχέση με τα υπόλοιπα πειραματικά δείγματα.



Η γενικότερη αξιολόγηση των πειραματικών κονιαμάτων και η κατάταξή τους σε σειρά καλύτερης ποιότητας εξαρτάται από το εκάστοτε ζητούμενο. Εάν βασικό κριτήριο επιλογής του κονιάματος συμπλήρωσης είναι η αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις (κάμψης και θλίψης), τότε το δοκίμιο ΣΥΝ.2 παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αντοχές σε σχέση με τα υπόλοιπα. Αντίθετα, το δοκίμιο ΣΥΝ. 4, του οποίου η σύνθεση είναι ίδια με τη σύνθεση των ήδη εφαρμοσθέντων κονιαμάτων στο θέατρο, έπεται με μικρές όμως αποκλίσεις.

Εάν βασικό κριτήριο επιλογής του κονιάματος συμπλήρωσης είναι η ικανότητά του να απορροφά λιγότερη ποσότητα νερού και κατ' επέκταση και λιγότερη ποσότητα υγρασίας, τότε η καλύτερη σύνθεση είναι του δοκιμίου ΣΥΝ.1 το οποίο παρουσιάζει τη μικρότερη υδατοαπορροφητικότητα και το μικρότερο πορώδες. Αντίθετα το δοκίμιο ΣΥΝ.4, του οποίου η σύνθεση είναι ίδια με τη σύνθεση των εφαρμοσθέντων στο θέατρο κονιαμάτων, πάλι έπεται.

Τελικά ως σχετικά καταλληλότερη σύνθεση κονιάματος, η οποία παρουσιάζει καλά αποτελέσματα συνολικά σε όλες τις πειραματικές δοκιμές που υπεβλήθησαν τα δείγματα, είναι η σύνθεση του δοκιμίου ΣΥΝ.1. Η πειραματική έρευνα αυτής της σύνθεσης υπέδειξε τη μικρότερη υδατοαπορροφητικότητα και αντίστοιχα το μικρότερο πορώδες, σημαντικά χαρακτηριστικά καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις συνθήκες υγρασίας και παγετού και τις καταπονήσεις που υφίσταται το κονίαμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα ο οποίος είναι δριμύς στην κοιλάδα της Δωδώνης. Το δοκίμιο αυτό παρουσίασε επίσης τη δεύτερη μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη και την τρίτη μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη.

Αντίθετα η σύνθεση των κονιαμάτων συμπλήρωσης, που έχουν ήδη εφαρμοστεί στο θέατρο (ΣΥΝ.4), υπολείπεται συγκριτικά, χωρίς ωστόσο οι αποκλίσεις να είναι ισχυρές..





## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΔ: Αρχαιολογικόν Δελτίον

- Αντωνίου Γ.Π., 2005. *Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου Δωδώνης. Α΄ Φάση: Προκαταρκτική μελέτη-πλαίσιο. Γενική κατάσταση & παθολογία. Προτάσεις επέμβασης.* Τεχνική έκθεση.
- Αντωνίου Γ.Π., 2006. *Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου Δωδώνης. Α2΄ Φάση: Αρχιτεκτονική αποτύπωση.* Τεχνική έκθεση.
- Ασπρογέρακας Α.Π., 2013. Συγκριτική αξιολόγηση ανθεκτικότητας γεωπολυμερών από ιπτάμενη τέφρα και τσιμεντοκονιαμάτων. Αδ. Διδ. Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Βλαχοπούλου-Οικονόμου Α., 2003. *Επισκόπηση της τοπογραφίας της αρχαίας Ηπείρου. Νομοί Ιωαννίνων-Θεσπρωτίας και Νότια Αλβανία.* Ιωάννινα.
- Βοκοτοπούλου Ι., 1973. *ΑΔ 28 Χρονικά.* 410.
- Βοκοτοπούλου Ι., 1975. *ΑΔ 30 Χρονικά.* 216-217.
- Γαλανού Α. και Δογάνη Γ., 2003. *Ιερό Δωδώνης. Η συντήρηση του αρχαίου θεάτρου. Επιλογή των κονιαμάτων και μεθοδολογία αποκατάστασης του δομικού υλικού.* Τεχνική έκθεση, Αθήνα.
- Carapanos C., 1878. *Dodone et ses ruines.* Paris.
- Γραβάνη Κ., 2007. Η ανασκαφική έρευνα στο Ιερό της Δωδώνης. *Ηπειρωτικά Γράμματα*, περίοδος β΄, έτος ΣΤ΄, τεύχ. 11, 175-224, Ιωάννινα.
- Γραβάνη Κ., Σούλη Χρ., Βλαχοπούλου Α., 2014. Η ανασκαφική έρευνα στο Ιερό της Δωδώνης. Στο: Κ. Σουέρεφ (επιμ.), *Δωδώνη διαχρονική. Παρελθόν Παρόν και Μέλλον του αρχαίου θεάτρου και του αρχαιολογικού χώρου*, Ιωάννινα, 21-42.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1960. Το Ιερόν της Δωδώνης. *ΑΔ 16*, 4-40.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1961/62. *ΑΔ 17 Χρονικά*, 198.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1963. *ΑΔ 18 Χρονικά*, 149-157.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1964. *ΑΔ 19 Χρονικά.*, 313.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1965. *ΠΑΕ*, 53-65.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1966. *ΠΑΕ*, 71-84.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1973. *ΠΑΕ*, 87-98.
- Δάκαρης Σ.Ι., 1995. *Δωδώνη. Αρχαιολογικός οδηγός*, Ιωάννινα, 4<sup>η</sup> Έκδοση.



- Ευαγγελίδης Δ., 1955. *ΠΑΕ*, 169-173
- Ζάχος Κ., Ντούζουγλη Α., Πλιάκου Γ., Ζωγράφου Ν., Κουμπάρελου Μ., Σμύρης Γ., Πουλογιάννη Ν. και Σιόντη Κ., 1989. *Η προμελέτη αποκατάστασης και συντήρησης αρχαίου θεάτρου Ιερού Δωδώνης*. ΙΒ΄ Ε.Π.Κ.Α., ΥΠ.ΠΟ.
- Hellmann M. Ch., 2003. *Η αρχαία ελληνική αρχιτεκτονική*. Μετ. Μαρία Λεβεντοπούλου, Δαίδαλος, Αθήνα.
- Ηλιάδου Β., 1986. *Η μελέτη των αιτίων φθοράς του ασβεστολίθου που έχει χρησιμοποιηθεί σαν υλικό δομής στον αρχαιολογικό χώρο της Δωδώνης*, ΥΠ.ΠΟ.
- Θεουλάκης Π., 2005. *Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης Αρχαίου θεάτρου Δωδώνης, Α΄ φάση, Προκαταρκτική μελέτη πλαίσιο, Γενική παθολογία του θεάτρου της Δωδώνης. Κατάσταση διατηρήσεως και βασικοί στόχοι της επέμβασης για την συντήρηση των λίθων του θεάτρου*. Επιτροπή Προστασίας, Αποκατάστασης και Ανάδειξης Μνημείων Αρχαιολογικού χώρου Δωδώνης.
- Καττής Μ., 2012. *Τεχνική μηχανική (αντοχή υλικών), σημειώσεις διαλέξεων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα.
- Κατσαδήμα Ι., 2012. *Η Δωδώνη στους αιώνες. Αρχαία θέατρα της Ηπείρου*. εκδ. Διάζωμα, Αθήνα, 49-61.
- Κατσίκης Ι., 2003. *Πετρογραφική εξέταση 3 δειγμάτων από τη Δωδώνη. Γνωμάτευση Ν° 6091, 4/3/03, Ι.Γ.Μ.Ε.*
- Κατσικουδής Ν., 2005. *Δωδώνη. Οι τιμητικοί ανδριάντες*, Ιωάννινα.
- Κατσικουδής Ν., 2006. *Ιστορικό του θεάτρου. Η οικοδομική ιστορία του θεάτρου της Δωδώνης*. Στο: Αντωνίου Γ., *Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης Αρχαίου θεάτρου Δωδώνης. Αρχιτεκτονική Τεκμηρίωση. Α2΄ Φάση: Αρχιτεκτονική αποτύπωση*. Τεχνική έκθεση, 8-39.
- Κατσικουδής Ν., 2012. *Η αγορά και το θέατρο στην αρχαία Ήπειρο*, *Αρχαία θέατρα της Ηπείρου*, εκδ. Διάζωμα, Αθήνα, 21-48.
- Κατσούδας Π., 2014. *Τεκμηρίωση αρχιτεκτονικών και γεωμετρικών στοιχείων του θεάτρου της Δωδώνης με τη χρήση νέων τεχνολογιών*. Στο: Κ. Σουρέφ (επιμ.), *Δωδώνη διαχρονική. Παρελθόν Παρόν και Μέλλον του αρχαίου θεάτρου και του αρχαιολογικού χώρου*, Ιωάννινα, 87-91.
- Κυριακόπουλος Β., 2012. *Σχέση αντοχής σκυροδέματος σε θλίψη και κάμψη για ασβεστολιθικά αδρανή Αττικής*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.



- Λαμπρόπουλος Β., 1993. *Διάβρωση και συντήρηση της πέτρας*, Αθήνα.
- Μαριολάκος Η., 2003. *Παρακολούθηση των χωροχρονικών μεταβολών των μικροκλιματικών παραμέτρων στο αρχαίο θέατρο της Δωδώνης*, Γεωλογικό Τμήμα, Ε.Κ.Π.Α.
- Μοροπούλου Αν. 1.2.5.5. *Κονιάματα και επιχρίσματα στη συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων*, Δ.Π.Μ.Σ. ΕΜΠ «Προστασία Μνημείων» (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις).
- Μπούρας Χ., 1999. *Μαθήματα της ιστορίας της αρχιτεκτονικής*, τόμ. Α, Αθήνα.
- Müller-Wiener W., 1995. *Η αρχιτεκτονική στην αρχαία Ελλάδα*. Μετ. Μπάρμπαρα Σμιτ-Δούνα, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Νακάσης Α., 2006. Το έργο της Επιτροπής Προστασίας, Αποκατάστασης και Ανάδειξης του αρχαίου θεάτρου και των άλλων μνημείων του ιερού της Δωδώνης. Υπουργείο Πολιτισμού- Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε., *Το έργο των Επιστημονικών Επιτροπών αναστήλωσης, συντήρησης και ανάδειξης μνημείων*, Αθήνα, 317-337.
- Neville A.M., 1957. The failure of concrete compression test specimens, *Civil Engineering*, 52, No.613, 773-4.
- ΠΑΕ: Πρακτικά Αρχαιολογικής Εταιρείας.
- Περδικάρης Φ.Κ. και Κάνος Α., 2006. Φαινόμενα κλίμακας στη θλίψη και στον έμμεσο εφελκυσμό σκυροδέματος, *15ο Συνέδριο Σκυροδέματος*, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου, 2006.
- Πλιάκου Γ και Σμύρης Γ., 2012. Το θέατρο, το βουλευτήριο και το στάδιο της Δωδώνης, *Αρχαία θέατρα της Ηπείρου*, εκδ. Διάζωμα, Αθήνα, 62-100.
- Ρηγοπούλου Β., Φτίκος Χ., Μουτσάτσου Α., Κακάλη Γ., Μπεάζη Μ., Βόγκλης Ν., Κωστογλούδης Γ., Μπαδογιάννης Σ., 1998. *Οδηγός Εργαστηριακών Ασκήσεων, Διαδικασίες Υψηλών Θερμοκρασιών*, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Σκαλιστή Ε. και Γεωργούλας Γ., 2014. Ιερό Δωδώνης. Διαμορφώνοντας τη σύγχρονη εικόνα. Στο: Κ. Σουέρεφ (επιμ.), *Δωδώνη διαχρονική. Παρελθόν Παρόν και Μέλλον του αρχαίου θεάτρου και του αρχαιολογικού χώρου*, Ιωάννινα, 93-102.
- Σκουλικίδης Θ.Ν., 2000. *Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- Σμύρης Γ., 2014. Το θέατρο της Δωδώνης. Προβληματισμοί. Στο: Κ. Σουέρεφ (επιμ.), *Δωδώνη διαχρονική. Παρελθόν Παρόν και Μέλλον του αρχαίου θεάτρου και του αρχαιολογικού χώρου*, Ιωάννινα, 81-86.



- Σουρέφ Κ. (επιμ.) 2014. *Δωδώνη διαχρονική. Παρελθόν Παρόν και Μέλλον του αρχαίου θεάτρου και του αρχαιολογικού χώρου*, Ιωάννινα.
- Στυψιανού Ι., Παπαθανασίου Θ., Ράπτη Σ., Τσακρή Κ., 2001. *Η μελέτη συντήρησης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου ιερού Δωδώνης*. Διεύθυνση Συντήρησης Αρχαιοτήτων, ΥΠ.ΠΟ.
- Σωτηροπούλου Α.Β., Πανδερμαράκης Ζ.Γ., Κανελλοπούλου Β., Σκουλικάρη Μ., 2008. Η επίδραση των ιών υάλου και πολυπροπυλενίου στην αντοχή ινοπλισμένων κονιαμάτων με αδρανές μάρμαρο, *1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων*, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008.
- Τριανταφύλλου Α.Χ., 2005. *Δομικά υλικά*, Πανεπιστήμιο Πατρών, 7η έκδοση, Πάτρα.
- Χαρίσης Β., 2010. *Δωδώνη. Αρχιτεκτονικά μελετήματα*, Ιωάννινα.

